INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE RONDÔNIA *CAMPUS* PORTO VELHO CALAMA

COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

SISTEMA DE MONITORAMENTO DE PARÂMETROS DA ÁGUA EM SISTEMA HIDROPÔNICO

IAGO MEDEIROS FLORESTA

LUIZ PAULO MARTINS BELEZA BITTENCOURT

PORTO VELHO/RO

2025

SISTEMA DE MONITORAMENTO DE PARÂMETROS DA ÁGUA EM SISTEMA HIDROPÔNICO

IAGO MEDEIROS FLORESTA
LUIZ PAULO MARTINS BELEZA BITTENCOURT

Artigo publicado como Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), Câmpus Porto Velho Calama, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação, sob a orientação do professor Dr. Kariston Dias Alves e a Coorientadora Dra Iza Reis Gomes.

PORTO VELHO/RO
2025

IAGO MEDEIROS FLORESTA

LUIZ PAULO MARTINS BELEZA BITTENCOURT

Artigo publicado como Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), Câmpus Porto Velho Calama, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação, sob a orientação do professor Dr. Kariston Dias Alves e a Coorientadora Dra Iza Reis Gomes.

Aprovado em: 14/11/2025 pela banca examinadora.

Documento assinado digitalmente
EDUARDO ARAUJO DE SOUSA
Data: 25/11/2025 16:05:34-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Eduardo Araujo de Sousa
Coordenador

Documento assinado digitalmente
KARISTON DIAS ALVES
Data: 25/11/2025 12:38:21-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dr. Kariston Dias Alves
Orientador

Documento assinado digitalmente
IZA REIS GOMES
Data: 25/11/2025 12:29:53-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dra. Iza Reis Gomes
Coorientadora

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Gerador de Ficha Catalográfica do IFRO.

Floresta, Iago Medeiros.
Sistema de monitoramento de parâmetros da água em sistema hidropônico / Iago Medeiros Floresta. - Porto Velho, 2025.
23 f. : il.

Orientador(a): Prof. Dr Kariston Dias Alves.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO, Porto Velho, 2025.

1. Hidroponia. 2. Automação. 3. Sensores. 4. ESP32. 5. Monitoramento Ambiental. I. Alves, Kariston Dias (orient.). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO. III. Título.

Bibliotecário(a) Responsável: Miria Santana Veiga, CRB-11/898

Sistema de monitoramento de parâmetros da água em sistema hidropônico

Hydroponic water quality monitoring system

Sistema de monitoreo de parámetros del agua en sistema hidropónico

DOI: 10.54033/cadpedv22n11-330

Originals received: 8/26/2025
Acceptance for publication: 9/19/2025

Iago Medeiros Floresta
Bacharelando em Engenharia de Controle e Automação
Instituição: Instituto Federal de Rondônia (IFRO)
Endereço: Porto Velho, Rondônia, Brasil
E-mail: iagomdrs15@gmail.com

Luiz Paulo Martins Beleza Bittencourt
Bacharelando em Engenharia de Controle e Automação
Instituição: Instituto Federal de Rondônia (IFRO)
Endereço: Porto Velho, Rondônia, Brasil
E-mail: lmartinsbeleza@gmail.com

Mateus Luiz Rovani da Silva
Bacharelando em Engenharia de Controle e Automação
Instituição: Instituto Federal de Rondônia (IFRO)
Endereço: Porto Velho, Rondônia, Brasil
E-mail: mateusrovani3@hotmail.com

Kariston Dias Alves
Doutorando em Engenharia Elétrica
Instituição: Instituto Federal de Rondônia (IFRO)
Endereço: Porto Velho, Rondônia, Brasil
E-mail: kariston.alves@ifro.edu.br

Iza Reis Gomes
Doutora em Sociedade e Cultura na Amazônia
Instituição: Instituto Federal de Rondônia (IFRO)
Endereço: Porto Velho, Rondônia, Brasil
E-mail: iza.reis@ifro.edu.br

RESUMO

A hidroponia é uma técnica de cultivo que dispensa o uso do solo e utiliza soluções nutritivas controladas, configurando-se como alternativa sustentável frente à escassez de terras cultiváveis, água e mão de obra. A partir disso, este estudo apresenta como objetivo o desenvolvimento de um sistema automatizado para o monitoramento dos parâmetros da água em um sistema hidropônico baseado na técnica Nutrient Film Technique (NFT), visando otimizar a produtividade e o uso racional dos recursos. Para isso, a pesquisa foi conduzida com abordagem qualitativa por meio de revisão bibliográfica e aplicação experimental em bancada. O primeiro passo direcionou-se à análise das variáveis críticas no cultivo hidropônico para a seleção dos sensores, como pH, condutividade elétrica (TDS), temperatura da água e do ambiente e luminosidade. Para que o acompanhamento remoto e em tempo real fosse possível, utilizou-se o uso do microcontrolador ESP32, responsável pela leitura, processamento e transmissão dos dados coletados para que através da integração com uma interface supervisória, , promovesse assim, uma maior autonomia e previsibilidade na gestão do cultivo. Buscando por fim a redução de custos operacionais, aumento da eficiência produtiva e aplicação acessível em contextos educacionais e produtivos de pequeno porte, contribuindo significativamente para a sustentabilidade, produtividade e democratização da agricultura de precisão.

Palavras-chave: Hidroponia. Automação. Sensores. ESP32. Monitoramento Ambiental.

ABSTRACT

Hydroponics is a soil-free cultivation technique that relies on controlled nutrient solutions, offering a sustainable alternative in the face of limited land, water, and labor resources. This study aimed to develop an automated system for monitoring water parameters in a hydroponic setup based on the Nutrient Film Technique (NFT), with the goal of optimizing productivity and ensuring the efficient use of resources. The research adopted a qualitative approach, combining a bibliographic review with experimental implementation. Initially, critical variables in hydroponic cultivation were analyzed—such as pH, electrical conductivity (TDS), water and ambient temperature, and light intensity. Using the ESP32 microcontroller, which handles the reading, processing, and transmission of data, the system was integrated with a supervisory interface to enable real-time and remote monitoring. This integration enhanced automation and predictability in crop management, ultimately aiming to reduce operational costs, increase production efficiency, and support low-cost applications in both educational environments and small-scale production. The project contributes significantly to sustainability, productivity, and the democratization of access to precision agriculture.

Keywords: Hydroponics. Automation. Sensors. ESP32. Environmental Monitoring.

RESUMEN
La hidroponía es una técnica de cultivo que prescinde del uso del suelo y utiliza soluciones nutritivas controladas, configurándose como una alternativa sostenible frente a la escasez de tierras cultivables, agua y mano de obra. A partir de ello, este estudio tiene como objetivo el desarrollo de un sistema automatizado para el monitoreo de los parámetros del agua en un sistema hidropónico basado en la técnica de la película de nutrientes (NFT), con el fin de optimizar la productividad y el uso racional de los recursos.Para ello, la investigación se llevó a cabo con un enfoque cualitativo a través de una revisión bibliográfica y una aplicación experimental en banco de pruebas. El primer paso se centró en el análisis de las variables críticas en el cultivo hidropónico para la selección de los sensores, como el pH, la conductividad eléctrica (TDS), la temperatura del agua y del ambiente, y la luminosidad.Para que el seguimiento remoto y en tiempo real fuera posible, se utilizó el microcontrolador ESP32, responsable de la lectura, procesamiento y transmisión de los datos recolectados, lo que, a través de la integración con una interfaz de supervisión, promovió una mayor autonomía y previsibilidad en la gestión del cultivo.Finalmente, se busca la reducción de costos operativos, el aumento de la eficiencia productiva y una aplicación accesible en contextos educativos y productivos a pequeña escala, contribuyendo significativamente a la sostenibilidad, la productividad y la democratización de la agricultura de precisión.

Palabras clave: Hydroponics. Automation. Sensors. ESP32. Environmental Monitoring.

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver e analisar um sistema automatizado para o monitoramento dos principais parâmetros da água em sistemas hidropônicos, utilizando sensores e microcontroladores integrados a uma interface supervisória remota. A hidroponia, enquanto técnica agrícola que dispensa o uso do solo, apresenta-se como uma solução eficiente diante dos desafios da produção de alimentos em contextos de escassez de terras cultiváveis e da necessidade de práticas agrícolas sustentáveis.

A adoção da hidroponia exige, contudo, um controle rigoroso e constante de variáveis ambientais, tais como pH, condutividade elétrica, temperatura, umidade e luminosidade, as quais influenciam diretamente na absorção de nutrientes pelas plantas. Nesse cenário, a aplicação de tecnologias de

automação, especialmente aquelas baseadas na Internet das Coisas (IoT), possibilita o monitoramento em tempo real desses parâmetros, assegurando maior precisão no manejo do cultivo e redução do consumo de recursos naturais.

Diversos autores, como Ogata (Engenharia de Sistemas de Controle), Dorf e Bishop (Sistemas de Controle Modernos) e Fitzgerald (Sistemas Embarcados), fornecem os fundamentos teóricos que embasam a integração entre sensores, atuadores e microcontroladores em sistemas automatizados, sustentando a construção do presente protótipo.

Dessa forma, este estudo propõe a construção de um sistema funcional utilizando sensores específicos para cada variável e o microcontrolador ESP32 com conectividade Wi-Fi, permitindo a coleta e análise contínua de dados em um sistema hidropônico baseado na técnica Nutrient Film Technique (NFT). As etapas contemplam levantamento bibliográfico, aquisição e integração dos componentes, programação dos sensores, testes em bancada e aplicação prática.

O objetivo geral consiste em desenvolver um sistema automatizado de monitoramento para uso em hidroponia. Para alcançar este objetivo levantamos os seguintes objetivos específicos: levantar dados técnicos e científicos sobre sistemas semelhantes; adquirir e integrar sensores e controladores adequados; programar os dispositivos de coleta de dados; construir o protótipo físico; aplicar o sistema em ambiente real e analisar os resultados obtidos.

Baseando-se em uma abordagem qualitativa e experimental, a pesquisa busca demonstrar a viabilidade técnica e prática da automação no cultivo hidropônico, contribuindo para avanços na agricultura de precisão, na sustentabilidade e no uso eficiente dos recursos. Os resultados serão discutidos à luz da literatura técnica e científica, com vistas à validação da proposta e à indicação de possíveis melhorias futuras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONCEITO E PRINCÍPIOS DA HIDROPONIA

A hidroponia é uma técnica de cultivo que dispensa o uso do solo, proporcionando o desenvolvimento das plantas em soluções nutritivas balanceadas ou em substratos inertes. Essa metodologia permite maior controle sobre o fornecimento de água, nutrientes e condições ambientais, favorecendo o crescimento vegetal em ambientes controlados. Como alternativa sustentável à agricultura tradicional, a hidroponia contribui para a otimização do uso dos recursos naturais, reduzindo o consumo de água e eliminando a necessidade de grandes áreas de terra cultivável. Além disso, possibilita o cultivo em regiões urbanas e locais com solo inadequado para agricultura convencional, ampliando o acesso à produção de alimentos frescos.

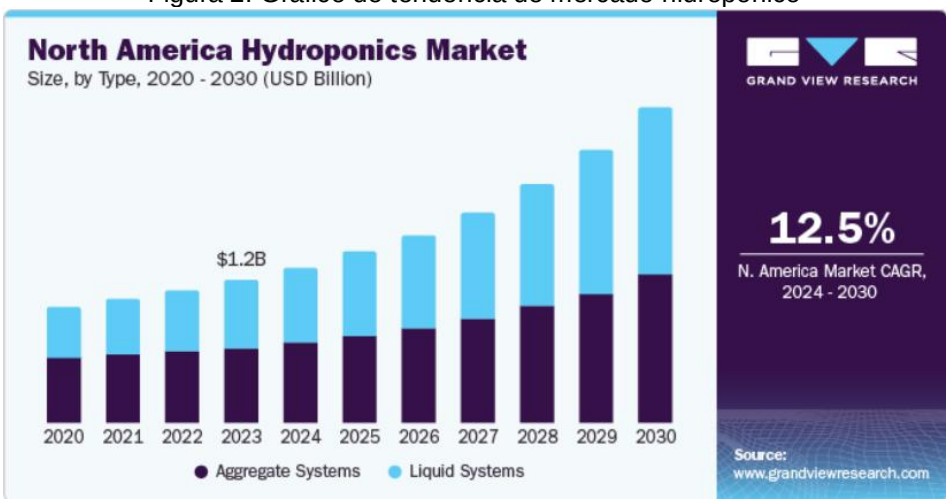
A crescente demanda por soluções sustentáveis na produção de alimentos tem sido impulsionada pelo constante aumento populacional no Brasil. De acordo com estimativas do IBGE divulgadas em agosto de 2024, a população brasileira alcançou 212.583.750 de habitantes, número que representa um expressivo crescimento em relação às décadas anteriores. Tal expansão populacional intensifica a pressão sobre os recursos naturais, como solo e água, exigindo a adoção de tecnologias que promovam o uso racional destes insumos.

Figura 1. Estimativa de crescimento populacional.

Fonte: Poder360

Essa tendência é confirmada por dados do mercado internacional: conforme estudo da *Grand View Research*, o setor de hidroponia na América do Norte apresentou crescimento significativo e deve manter uma taxa média anual de crescimento (CAGR) de 12,5% entre 2024 e 2030, com projeções que indicam forte expansão dos sistemas hidropônicos líquidos em relação aos sistemas agregados. Em 2023, o mercado já havia alcançado um valor de 1,2 bilhão de dólares, com estimativas de crescimento contínuo até 2030. Esses dados reforçam o potencial econômico e tecnológico da hidroponia, bem como a importância de se investir em automação e inovação para viabilizar a expansão sustentável dessa técnica no cenário nacional e internacional.

Figura 2. Gráfico de tendência de mercado hidropônico



Fonte: *Grand View Research*

Nesse cenário, a hidroponia surge como alternativa viável, especialmente em centros urbanos e regiões com escassez de terras cultiváveis, ao permitir o cultivo sem solo e com uso controlado de água e nutrientes. A aplicação de sistemas automatizados de monitoramento, como o proposto neste trabalho, atende diretamente à necessidade de garantir eficiência e sustentabilidade à produção agrícola frente aos desafios impostos pelo crescimento demográfico. Assim, a correlação entre dados populacionais e inovação tecnológica reforça a relevância de pesquisas que busquem soluções integradas entre agricultura e tecnologia, como a desenvolvida neste projeto.

2.2 SISTEMAS HIDROPÔNICOS: ÊNFASE NO MÉTODO NFT

Os sistemas hidropônicos apresentam diferentes configurações técnicas, dentre as quais se destaca o método NFT, sistema este que se caracteriza pela circulação contínua de uma fina lâmina de solução nutritiva pelas raízes das plantas, que estão suspensas em canais ou tubos levemente inclinados. A técnica possibilita que as raízes recebam uma alimentação constante e adequada de nutrientes, além de garantir a oxigenação necessária para o desenvolvimento saudável das plantas.

O sistema NFT é reconhecido por sua eficiência no uso da água e dos nutrientes, visto que o líquido circula em circuito fechado, minimizando desperdícios e permitindo o reaproveitamento da solução nutritiva. Sua simplicidade estrutural e facilidade de automação tornam-no especialmente indicado para o desenvolvimento de protótipos automatizados, como o apresentado neste estudo. A recirculação controlada e a manutenção das condições ideais de cultivo permitem maximizar a produtividade, ao mesmo tempo em que promovem a sustentabilidade do processo agrícola.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 RELAÇÃO DOS MATERIAIS E COMPONENTES UTILIZADOS

Para a montagem do sistema hidropônico automatizado foram selecionados materiais e componentes que garantem precisão no monitoramento, eficiência na automação e adequação às condições do cultivo hidropônico NFT. A escolha dos elementos considerou fatores como custo, disponibilidade, compatibilidade e robustez para operação contínua.

Sensores:

- pH (Ph-4502c): Sensor eletroquímico para medição contínua do pH da solução nutritiva, essencial para controlar a acidez/alcalinidade e garantir a absorção adequada dos nutrientes pelas plantas;

- Condutividade Elétrica (Módulo Medidor TDS): Responsável pela medição da concentração de sais dissolvidos na solução nutritiva, indicador direto da disponibilidade de nutrientes essenciais;
- Temperatura (DS18B20): Termistor ou sensor digital para monitorar a temperatura da solução nutritiva e do ambiente, fator crucial para a absorção de nutrientes e metabolismo das plantas;
- Umidade do Ar e Temperatura (DHT22): Para monitorar as condições ambientais que afetam a transpiração e o desenvolvimento das plantas;
- Luminosidade (Bh 1750): Mede a intensidade da luz ambiente, importante para garantir o período correto de fotossíntese.

Atuadores:

- Bomba submersível elétrica (Mini bomba e Bomba Submersível): Responsável pelo bombeamento e recirculação da solução nutritiva no sistema NFT, controlada por relés para acionamento automático conforme parâmetros pré-definidos.

Módulos Eletrônicos e Controladores:

- Microcontrolador ESP32: Unidade central para aquisição dos dados dos sensores, processamento das informações e controle dos atuadores. Escolhido pela capacidade de conexão WiFi integrada, permitindo monitoramento remoto e integração com plataformas IoT;
- Módulos de Relé: Utilizados para o acionamento da bomba e demais dispositivos elétricos, isolando e protegendo o microcontrolador;
- Fonte de alimentação estabilizada: Para garantir o fornecimento adequado de energia aos sensores, atuadores e controladores, evitando oscilações que possam comprometer o funcionamento.

Estrutura Hidropônica:

- Tubulações e canais PVC: Condutos onde a solução nutritiva flui em filme raso para o contato direto com as raízes das plantas. Construídos em PVC ou material plástico resistente e de fácil limpeza;

- Reservatório da solução nutritiva: Recipiente com capacidade adequada para armazenar o volume necessário da solução nutritiva, equipado com tampa para evitar contaminação e sistema de reposição de água;
- Reservatórios de controle de solução: Recipientes que contém o material de controle do reservatório principal, sendo eles compostos por composições ácidas/alcalinas, base/hidróxido, fertilizante/adubo e água limpa;
- Substrato: Material inerte, como lã de rocha, fibra de coco ou esponjas fenólicas, utilizado para fixação das plantas, especialmente na fase inicial do cultivo ou para suporte estrutural das raízes.

Outros Elementos:

- Cabos e conectores elétricos: Para conexão dos sensores e atuadores ao microcontrolador, garantindo boa isolação e resistência à umidade;
- Suportes e estruturas para fixação dos sensores e tubulações: Para posicionamento correto dos componentes no sistema, facilitando a manutenção e a coleta precisa dos dados.

Essa seleção de materiais foi fundamental para garantir um sistema funcional, preciso e com capacidade de operar em ambiente controlado de cultivo hidropônico, permitindo a coleta e automação dos parâmetros essenciais para o desenvolvimento saudável das plantas.

3.2 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO INICIAL

O desenvolvimento do protótipo inicial do sistema hidropônico foi realizado em etapas progressivas, com o objetivo de validar os conceitos da técnica NFT e testar os componentes eletrônicos e hidráulicos envolvidos. Inicialmente, foram elaborados os esquemas elétricos e hidráulicos que integraram sensores de pH, condutividade elétrica, temperatura e luminosidade ao microcontrolador ESP32.

A montagem física contou com a instalação das tubulações em PVC, conforme as especificações da técnica NFT, permitindo o fluxo contínuo da

solução nutritiva em filme raso sobre as raízes das plantas. A Figura 3 evidencia a estrutura inicial do sistema, montada em bancada com tubos paralelos e orifícios de cultivo dispostos de forma regular.

Figura 3. Protótipo de estrutura com 4 calhas hidropônicas.

Fonte: Elaborado pelos próprios autores

A Figura 4, por sua vez, mostra o protótipo em ambiente externo, simulando o funcionamento real do sistema com a disposição dos canais e a circulação da solução.

Figura 4. Teste de Fluxo de água com 4 calhas hidropônicas.

Fonte: Elaborado pelos próprios autores

Contudo, no desenvolver do projeto foi notada a necessidade de reestruturar a parte mecânica, fazendo com que houvesse a redução de 4 calhas

de transporte de fluído para apenas 2, onde na Figura 5, é visto o retorno do líquido aos reservatórios através da utilização de mangueiras conectadas à extremidade inferior dos tubos. A garantia de transporte da água junto do controle dos dados obtidos pelos sensores foram posicionados estrategicamente nos pontos críticos do sistema, resultando em uma atuação mais eficiente para um trabalho inicial considerando o funcionamento da bomba submersível e demais atuadores controlados pelo ESP32.

Figura 5. Teste de fluxo de água com 2 calhas hidropônicas.

Fonte: Elaborado pelos próprios autores

A Figura 6 ilustra o momento de teste da atuação da bomba submersível, junto à integração entre sensores, cabos, relés, o microcontrolador e o sistema de alimentação, todos conectados em um arranjo de bancada que simula o ambiente hidropônico automatizado, objetivando identificar a necessidade de mudanças em componentes, caso necessário ou método de organização que seria levantado para o prosseguir do desenvolvimento.

Figura 6. Ambiente de teste do protótipo.

Fonte: Elaborado pelos próprios autores

Paralelamente, a comunicação Wi-Fi do ESP32 foi testada com êxito, garantindo o envio dos dados coletados para um servidor local ou ambiente em nuvem. Esses testes iniciais foram fundamentais para identificar falhas de hardware, inconsistências nos sinais dos sensores e eventuais interferências na transmissão dos dados, possibilitando ajustes imediatos antes da implementação definitiva do protótipo em ambiente real.

A Figura 7 apresenta um exemplo das leituras obtidas pela interface serial durante esta fase de testes, onde, os sensores registraram com precisão os valores de temperatura ambiente (26,40 °C), umidade relativa do ar (55,50 %), temperatura da água (26,12 °C), luminosidade (28,33 lux), pH da solução nutritiva (6,77) e sólidos totais dissolvidos (TDS) (27,12 ppm). Além disso, os sensores de nível de líquido indicaram que o tanque de solução estava devidamente abastecido ("TO COM ÁGUA") e que o sensor de nível superior estava funcionando corretamente e com um nível de água suficiente para não ocorrer o transborde ("SENSOR OK").

Figura 7. Teste de Validação do funcionamento dos sensores

```
===== LEITURA DE SENSORES =====
Nível Baixo: TQ COM AGUA
Nível Alto: SENSOR OK
Temperatura Ambiente: 26.40 °C
Umidade Ambiente: 55.50 %
Temperatura da Água: 26.12 °C
Luminosidade: 28.33 lux
pH da Água: 6.77
TDS (ppm): 27.12
--------------------------------
```

Fonte: Elaborado pelos próprios autores

Através das Figuras 4 a 6, a evolução prática da proposta foi enfim observada a possibilidade da continuidade no desenvolvimento do projeto, pois, pela coleta precisa destas variáveis que são essenciais para o controle da solução nutritiva e para o sucesso do cultivo em sistemas hidropônicos, concluiu-se a etapa de teste e validação do protótipo inicial, estabelecendo as bases para sua implementação em escala experimental e permitindo assim a análise para futuras melhorias estruturais e funcionais.

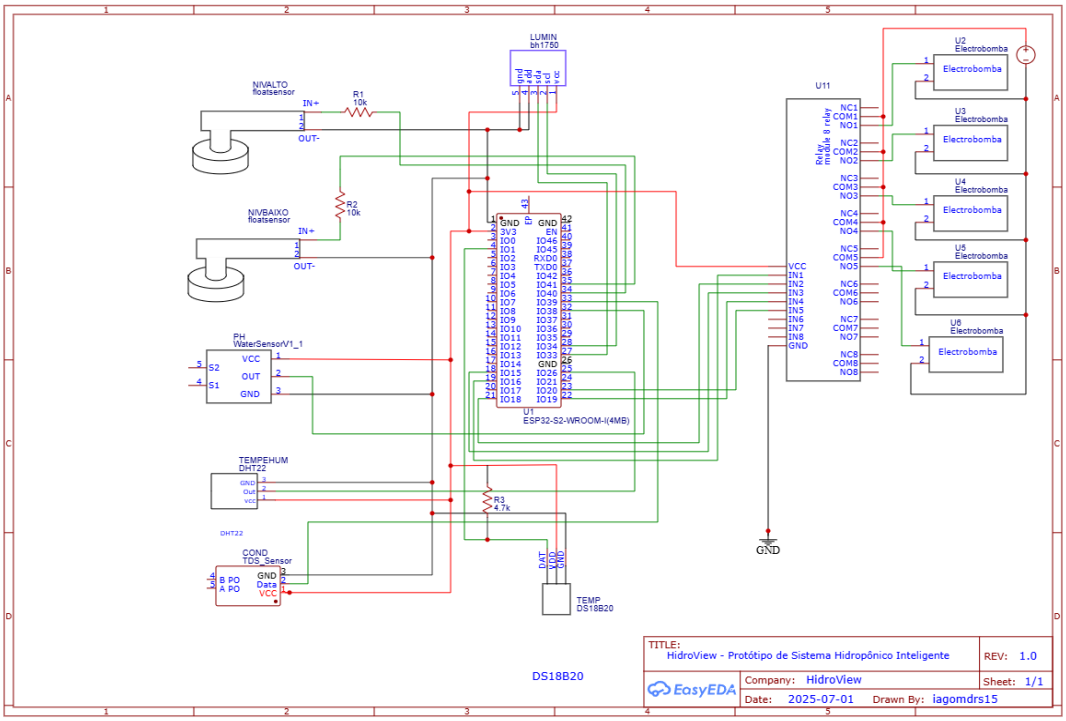
3.3 DESENVOLVIMENTO DO DIAGRAMA ESQUEMÁTICO

A estrutura de hardware que sustentaria o protótipo como um todo iniciou-se após a garantia da funcionalidade dos materiais anteriormente selecionados, através disso, o diagrama esquemático da Figura 8 foi elaborado, onde é possível visualizar a integração dos principais sensores utilizados no sistema, como os de pH, condutividade elétrica (TDS), temperatura (DS18B20), luminosidade (BH1750), umidade e temperatura ambiente (DHT22), bem como os sensores de nível. Todos esses componentes estão conectados ao microcontrolador ESP32, que atua como unidade central de processamento e comunicação.

O foco no desenvolvimento deste diagrama foi para que houvesse um melhor entendimento do como deveria ser estabelecido a comunicação entre os

componentes elétricos para que então o acionar as eletrobombas por meio de um módulo relé e o processamento dos dados pelos sensores possibilitasse o controle automatizado das soluções nutritivas.

Figura 8. Esquema elétrico.



Fonte: Elaborado pelos próprios autores

4 AUTOMAÇÃO E MONITORAMENTO DO SISTEMA HIDROPÔNICO NFT

4.1 PROCESSO DE MODERNIZAÇÃO DO CULTIVO HIDROPÔNICO NFT

A modernização do cultivo hidropônico NFT consiste na incorporação de tecnologias digitais e automáticas para aprimorar o controle ambiental e nutricional das plantas, que se encontram tradicionalmente de maneira manual, o cultivo passou a contar com sistemas embarcados capazes de monitorar parâmetros em tempo real, aumentando a precisão e a eficiência na gestão do cultivo, além de reduzir desperdícios e custos operacionais permitindo a adaptação dinâmica das condições do cultivo conforme as necessidades específicas das plantas, promovendo maior produtividade e qualidade do produto final.

4.2 APLICAÇÃO DO MICROCONTROLADOR ESP32 NO PROJETO

O microcontrolador ESP32 foi selecionado devido à sua capacidade de processamento, baixo consumo energético e conectividade Wi-Fi integrada, podendo assim atuar como o núcleo do sistema, recebendo dados de múltiplos sensores, processando essas informações e acionando dispositivos como bombas e válvulas para ajustar automaticamente os parâmetros da solução nutritiva e do ambiente.

Além disso, o ESP32 permite o envio dos dados para plataformas externas via comunicação de Protocolo de Transferência de Hipertexto - *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP), facilitando o controle e monitoramento remoto, junto a análise de tendências de crescimento, possibilitando ajustes antecipados e evitando falhas no sistema.

4.3 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA CONTROLE E MONITORAMENTO REMOTO

Para garantir a usabilidade e a eficiência do sistema, foi desenvolvido um sistema supervisório com interface web responsiva, utilizando o framework Laravel, escolhido por sua robustez, ferramentas integradas e características simplificadas, o que agilizou o processo de desenvolvimento. O acesso remoto por meio de smartphones, tablets ou computadores, bem como a exibição em tempo real dos dados coletados pelos sensores, a geração de alertas em caso de desvios dos parâmetros ideais e o controle manual ou automático dos atuadores foram viabilizados por essa tecnologia, cuja escolha também se baseou no conhecimento prévio da equipe, o que contribuiu para o bom desempenho na construção da aplicação.

O sistema supervisório utiliza o protocolo de comunicação HTTP, estabelecido pelo microcontrolador via Interface de Programação de Aplicações (API), para integrar os recursos de histórico e análise gráfica. Os dados são coletados pelos sensores e processados no ESP32, o que contribui para uma tomada de decisão mais informada e para o planejamento estratégico do cultivo,

assegurando segurança, confiabilidade e baixa latência na transmissão das informações.

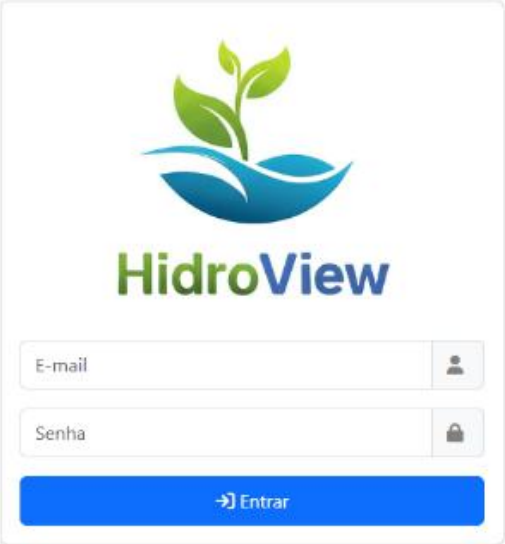
Na Figura 9, apresenta o nome do sistema *HidroView* demonstrando a página inicial onde é construído a informação do projeto semelhante a um projeto comercial, fornecendo um ambiente comunicativo e detalhado, além de permitir um seguro de autenticação para os usuários já autorizados, permitindo a gestão de múltiplas variáveis relacionadas ao cultivo hidropônico.

Figura 9. Tela Inicial sistema (*HidroView*)

Fonte: Elaborado pelos próprios autores

A Figura 10 apresenta a tela de login para o acesso ao controle de dados, bem como à área gerencial do sistema, voltada à gestão de usuários e das plantações a serem monitoradas durante a utilização da aplicação. O acesso aos campos de gestão é permitido apenas a usuários específicos, garantindo a segurança e o controle das informações no ambiente do sistema.

Figura 10. Tela de Login sistema (*HidroView*)



Fonte: Elaborado pelos próprios autores

5 RESULTADOS OBTIDOS

5.1 ESTRUTURAÇÃO E APERFEIÇOAMENTO DO PROTÓTIPO FINAL

Com base nas análises dos testes preliminares, foi realizada a estruturação do protótipo final, visando maior robustez e funcionalidade do sistema. Os ajustes estruturais incluíram a otimização da disposição dos canais NFT para maximizar o contato da solução nutritiva com as raízes e garantir uniformidade na distribuição do fluxo; A consolidação da integração entre sensores, atuadores e microcontrolador, com melhoria na organização dos cabos e proteção dos componentes contra umidade e poeira, assegurando maior durabilidade e por fim, a interface de comunicação foi aprimorada para possibilitar o monitoramento em tempo real via aplicativo web ou plataforma *IoT*.

Adicionalmente, foi levantada a necessidade de implementar algoritmos de controle para ajustar automaticamente parâmetros como o tempo e frequência da irrigação, baseados nos valores medidos de pH, CE e temperatura, aumentando a eficiência do sistema. O protótipo final passou por ciclos de validação em ambiente controlado, simulando condições reais de cultivo, para confirmar a estabilidade do sistema e a confiabilidade dos dados obtidos.

A Figura 11, demonstra o sistema em pleno funcionamento com mudas de alface em crescimento ao longo das calhas de PVC, podendo também ao fundo, observa a central de controle eletrônico conectada ao microcontrolador, operando em tempo real e evidenciando a interação contínua entre os componentes físicos e lógicos do projeto.

Figura 11. Protótipo montado já com os alfaces

Fonte: Elaborado pelos próprios autores

Além disso, observa-se que a figura acima apresenta a estrutura de monitoramento da solução nutritiva do sistema. É possível visualizar os reservatórios conectados por mangueiras de silicone (com maior detalhamento na Figura 12), utilizados para o armazenamento e a circulação da solução, bem como os sensores submersos responsáveis pela medição contínua dos parâmetros de pH, condutividade elétrica (CE) e temperatura.

Figura 12. Sistema de Alimentação do reservatório principal.

Fonte: Elaborado pelos próprios autores

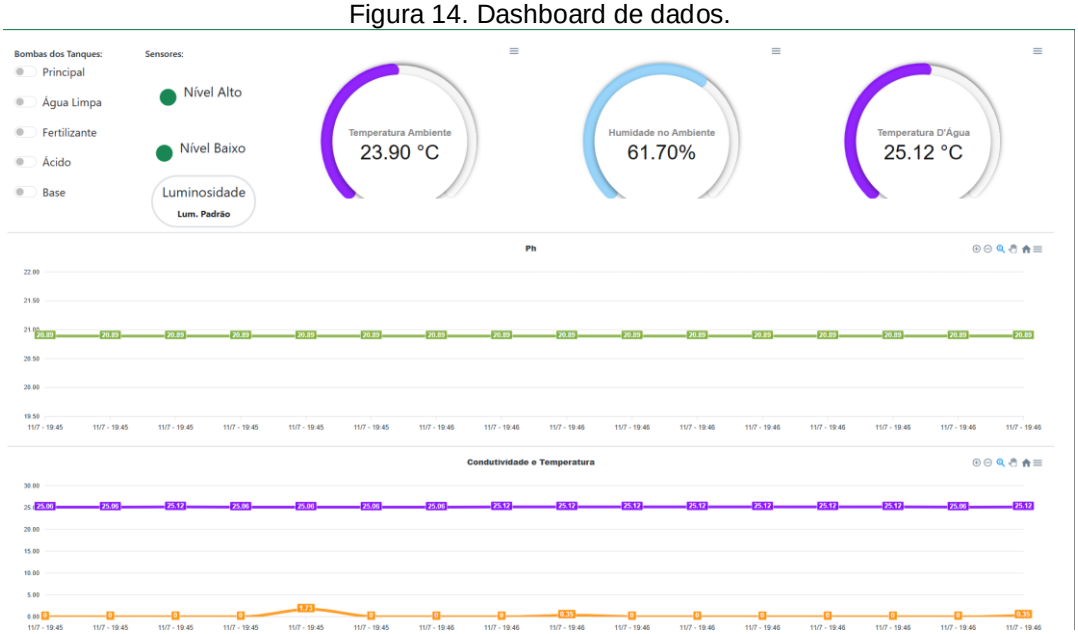
A partir disso, a Figura 13 representa a integração entre os subsistemas hidráulico, eletrônico e lógico, em um ambiente de demonstração que atende aos requisitos técnicos e funcionais propostos. Essa integração mostra-se eficaz para aplicações didáticas e experimentais em ambientes controlados de agricultura urbana e de precisão.

Figura 13. Protótipo pronto já em teste.

Fonte: Elaborado pelos próprios autores

Por fim, a interface supervisória do sistema pode ser observada na Figura 14, já com o sistema em funcionamento. A imagem ilustra o papel principal da plataforma *HidroView*: a apresentação dos dados dos sensores em tempo real, juntamente com a indicação dos atuadores ativos no momento da leitura. Essa visualização permite o acompanhamento gráfico e intuitivo das alterações nas variáveis monitoradas, possibilitando uma análise temporal precisa e a rápida identificação de desvios nos parâmetros ideais, o que facilita a execução de diagnósticos sempre que necessário.

Figura 14. Dashboard de dados.



Fonte: Elaborado pelos próprios autores

A consolidação do projeto resultou, portanto, em um sistema hidropônico automatizado, capaz de monitorar e controlar os principais parâmetros do cultivo. A solução desenvolvida facilita a tomada de decisões e promove um ambiente favorável ao desenvolvimento das plantas, com base em dados precisos e em tempo real, tendo como foco de atuação o sistema de fluxo laminar de nutrientes (NFT).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do sistema hidropônico automatizado apresentado neste trabalho demonstrou a viabilidade técnica, funcional e prática da integração entre sensores, atuadores, microcontroladores e uma interface supervisória para o monitoramento em tempo real de variáveis essenciais ao cultivo NFT. A partir da aplicação do microcontrolador ESP32, aliado à conectividade via Wi-Fi e ao uso de sensores específicos para a medição dos parâmetros da água, foi possível garantir o controle preciso das condições ambientais e nutricionais, fundamentais para o desenvolvimento saudável das plantas.

A implementação do sistema supervisório *HidroView*, com interface responsiva e acesso remoto, ampliou significativamente a usabilidade do protótipo, permitindo o acompanhamento contínuo dos dados e a atuação imediata sobre desvios nos parâmetros ideais. Esse avanço representa um passo importante rumo à modernização da agricultura urbana e de precisão, contribuindo não apenas para a produtividade, mas também para a sustentabilidade, por meio da redução do consumo de água, nutrientes e energia.

O crescimento saudável das mudas, aliado à estabilidade do sistema, comprova que a automação aplicada à hidroponia pode ser uma ferramenta estratégica para enfrentar os desafios impostos pelo aumento populacional, escassez de recursos naturais e demanda por alimentos saudáveis e sustentáveis.

Em termos acadêmicos e tecnológicos, o trabalho contribui com uma proposta concreta de inovação, integrando fundamentos teóricos da engenharia de controle, sistemas embarcados e agricultura de precisão, além de abrir maiores possibilidades para futuras pesquisas e aperfeiçoamentos, como a inclusão de métodos de previsão de falhas, automação da reposição de nutrientes com base em aprendizado de máquina, integração com sistemas de energia solar e expansão para cultivos de maior complexidade.

Em conclusão temos que o projeto reforça o potencial transformador da automação no setor agrícola, apontando que soluções acessíveis, modulares e escaláveis podem contribuir de forma decisiva para a sustentabilidade alimentar, especialmente em contextos urbanos e em regiões com restrições ambientais. O protótipo desenvolvido aqui é, portanto, mais do que uma prova de conceito: trata-se de um instrumento educativo, técnico e social que aproxima a tecnologia com a produção responsável.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos, em especial, ao nosso orientador, Prof.º Me. Kariston Dias Alves, à Prof.ª Dra. Iza Reis Gomes, ao IFRO - Campus Porto Velho Calama e ao Departamento de Pesquisa, por todo o suporte e colaboração durante este trabalho.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. L. de. **Automação e Controle de Sistemas Hidropônicos Utilizando IoT**. São Paulo: Editora Ciência Moderna, 2020.

BRAZ, Aline. **Metodologia científica:** guia completo para estudantes e pesquisadores. Disponível em: https://doity.com.br/blog/metodologia-cientifica/. Acesso em: 18 abr. 2025.

CERVANTES, C. R.; MARTINS, J. D. **Agricultura de Precisão e Internet das Coisas:** aplicações práticas com Arduino e ESP32. 2. ed. São Paulo: Novatec, 2021.

CHAGAS, L. A. das; RODRIGUES, E. G. **Sistemas Hidropônicos Automatizados:** princípios, montagem e aplicações. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2019.

ESPRESSIF. **ESP32 Technical Reference Manual.** [S. l.]: Espressif Systems, 2023. Disponível em: https://www.espressif.com. Acesso em: 14 jul. 2025.

FERREIRA, A. M. M.; SOUSA, D. S. de. Monitoramento Remoto com ESP32 e Protocolos MQTT/HTTP. **Revista de Tecnologias Aplicadas,** v. 10, n. 2, p. 45–60, 2022.

MIRANDA, R. de S.; SANTOS, G. A. dos. Uso de Sensores em Ambientes Agrícolas Controlados. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 14, n. 4, p. 847–860, 2020.

PEREIRA, Mylla. **Plantio sem o uso de solo**: conheça a primeira produção hidropônica de Rondônia. 2023. Disponível em: https://g1.globo.com/ro/rondonia/rondonia-rural/noticia/2023/05/27/plantio-sem-o-uso-de-solo-conheca-a-primeira-producao-hidroponica-de-rondonia.ghtml. Acesso em: 24 abr. 2025.

PEREIRA, Mylla. **Produtores apostam na produção hidropônica em RO**: 'É um método altamente sustentável e que funciona'. 2023. Disponível em: https://g1.globo.com/ro/rondonia/rondonia-rural/noticia/2023/06/03/produtores-apostam-na-producao-hidroponica-em-ro.ghtml. Acesso em: 22 abr. 2025.

SILVA, J. P. da; OLIVEIRA, T. M. de. **Hidroponia**: teoria e prática da produção agrícola sem solo. 5. ed. Viçosa: UFV, 2018.

VARGAS, H. G.; LOPES, R. C. **Introdução à Automação de Processos com Microcontroladores.** Rio de Janeiro: LTC, 2021.