

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIENCIAS EXATAS
BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

Sistema de Monitoramento Remoto de Estufas Hidropônicas Baseado em IoT para Agricultura Inteligente

Débora Izabel Rocha Duarte

JUIZ DE FORA
AGOSTO, 2025

Sistema de Monitoramento Remoto de Estufas Hidropônicas Baseado em IoT para Agricultura Inteligente

DÉBORA IZABEL ROCHA DUARTE

Universidade Federal de Juiz de Fora

Instituto de Ciências Exatas

Departamento de Ciências da Computação

Bacharelado em Sistemas de Informação

Orientador: Victor Ströele de Andrade Menezes

Coorientador: Fabrício Carvalho Soares

JUIZ DE FORA

AGOSTO, 2025

SISTEMA DE MONITORAMENTO REMOTO DE ESTUFAS HIDROPÔNICAS BASEADO EM IoT PARA AGRICULTURA INTELIGENTE

Débora Izabel Rocha Duarte

MONOGRAFIA SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA, COMO PARTE INTEGRANTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO.

Aprovada por:

Victor Ströele de Andrade Menezes
Doutor em Engenharia de Sistemas e Computação

Fabício Carvalho Soares
Doutor em Engenharia Mecânica

Luciana Conceição Dias Campos
Doutora em Engenharia Elétrica

Ronney Moreira de Castro
Doutor em Informática

JUIZ DE FORA
01 DE AGOSTO, 2025

A minha mãe.

Ao meu padrasto(pai).

Resumo

As mudanças climáticas e o crescimento populacional impõem desafios significativos à segurança alimentar global, exigindo inovações na agricultura. Nesse contexto, as estufas agrícolas surgem como uma solução viável, oferecendo cultivo em condições controladas e potencializando a produtividade. A hidroponia, uma técnica de cultivo sem solo, se destaca por otimizar o uso de recursos, como água e espaço, e permitir o controle preciso de nutrientes. No entanto, essas abordagens demandam investimento inicial, conhecimento técnico e monitoramento contínuo, sendo vulneráveis a falhas de energia, variações climáticas e erros na solução nutritiva, que podem levar à perda de safras inteiras. Para mitigar esses riscos e maximizar o potencial das estufas hidropônicas, a Internet das Coisas (IoT) apresenta-se como uma ferramenta estratégica. A integração de sensores e atuadores permite a coleta e transmissão de dados ambientais e nutricionais em tempo real, facilitando o monitoramento remoto e a automação de processos. Essa abordagem, alinhada ao conceito de *Smart Farming*, pode auxiliar pequenos produtores, que muitas vezes carecem de mão de obra para o acompanhamento constante. Este trabalho propõe o desenvolvimento de um aplicativo mobile para o monitoramento remoto de estufas hidropônicas. A solução utiliza sensores integrados a uma plataforma Arduino com ESP8266 para coletar dados de variáveis críticas (temperatura, pH, condutividade elétrica, umidade do ar, volume da solução, turbidez e fluxo nos perfis hidropônicos) e transmiti-los à plataforma em nuvem ThingSpeak. O aplicativo permite a visualização em tempo real, o acionamento de alertas em caso de desvios dos parâmetros ideais e a calibração remota dos sensores de pH e condutividade elétrica, oferecendo maior segurança, rentabilidade e prevenção de perdas de produção. Os resultados mostram que o sistema proposto é capaz de dar suporte aos produtores com informações precisas e ferramentas de gestão eficientes.

Palavras-chave: Hidroponia, Internet das Coisas, IoT, Análise de Dados.

Abstract

Climate change and population growth pose significant challenges to global food security, necessitating innovations in agricultural practices. In this context, agricultural greenhouses emerge as a viable solution, offering cultivation under controlled conditions and boosting productivity. Hydroponics, a soil-less cultivation technique, stands out for optimizing the use of resources such as water and space and allowing precise control of nutrients. However, these approaches require an initial investment, technical knowledge, and continuous monitoring. They are vulnerable to power failures, climate variations, and errors in the nutrient solution, which can result in the loss of entire crops. To mitigate these risks and maximize the potential of hydroponic greenhouses, the Internet of Things (IoT) presents itself as a strategic tool. The integration of sensors and actuators enables the collection and transmission of environmental and nutritional data in real-time, facilitating remote monitoring and process automation. This approach, aligned with the concept of Smart Farming, can help small producers, who often lack the human resources for constant monitoring. This work proposes the development of a mobile application for remote monitoring of hydroponic greenhouses. The solution utilizes sensors integrated into an Arduino platform with an ESP8266 to collect data on critical variables (temperature, pH, electrical conductivity, air humidity, solution volume, turbidity, and flow in hydroponic profiles) and transmit it to the ThingSpeak cloud platform. The application enables real-time visualization, triggers alerts in the event of deviations from ideal parameters, and facilitates remote calibration of pH and electrical conductivity sensors, thereby enhancing safety, profitability, and preventing production losses. The results show that the proposed system is capable of supporting producers with accurate information and efficient management tools.

Keywords: Hydroponics, Internet of Things, IoT, Data Analysis.

Agradecimentos

À minha mãe, Sueli da Conceição Rocha, e ao meu padrasto, José Geraldo Santana, pela dedicação, paciência e pelos recursos investidos ao longo de toda a minha formação. Por viabilizarem, com esforço e cuidado, que eu chegasse até aqui.

Ao professor Victor Ströele de Andrade Menezes, pela orientação dedicada, pela escuta generosa ao longo de toda a caminhada e, principalmente, pela paciência constante — virtude sem a qual este trabalho não teria sido possível.

Ao professor Fabrício Carvalho Soares, do Instituto Federal de Minas Gerais, pela generosidade com que compartilhou seu tempo, conhecimento e conselhos durante o desenvolvimento deste trabalho. Sua disponibilidade foi essencial para que eu pudesse avançar e alcançar os resultados aqui apresentados. Estendo também minha gratidão ao IFMG, instituição onde concluí minha formação técnica e ensino médio, e que mais uma vez me acolheu, oferecendo os recursos e o espaço necessários para que este projeto se concretizasse.

Aos professores do Departamento de Ciência da Computação, pelos seus ensinamentos, e aos funcionários do curso, que durante esses anos contribuíram, de algum modo, para o nosso enriquecimento pessoal e profissional.

*“Nem tudo o que reluz é ouro, Nem todos
os que vagueiam estão perdidos”*

J.R.R Tolkien

Conteúdo

Lista de Figuras	7
Lista de Tabelas	9
Lista de Abreviações	10
1 Introdução	11
1.1 Descrição do Problema	12
1.2 Justificativa e Motivação	13
1.3 Objetivos	14
1.4 Organização do Trabalho	15
2 Fundamentação Teórica	16
2.1 Hidroponia	16
2.2 IoT	18
2.3 Arduino	20
2.4 ThingSpeak	21
2.5 Data Analytics	23
2.6 Considerações	24
3 Trabalhos Relacionados	25
3.0.1 Propostas de Sistemas IoT para Hidroponia	25
3.0.2 Diferentes Cultivos e Aplicações	27
3.0.3 Revisões e Estudos Amplo-Estratégicos sobre Estufas e IoT	29
3.1 Considerações	30
4 Materiais e Métodos	32
4.1 Ambiente do Estudo	32
4.2 Coleta dos Dados	34
4.3 Transmissão e Armazenamento dos Dados	43
4.4 Análise dos Dados	47
5 Resultados	50
5.1 Visão Geral do Sistema	50
5.2 Interface do Sistema	51
5.3 Aplicação Prática e Relevância para o Produtor	54
5.4 Considerações Finais do Capítulo	58
6 Considerações Finais	59
6.1 Limitações e Potencial para Trabalhos Futuros	59
Bibliografia	62
Appendices	66
.1 Apêndice A - Documentação Fotográfica da Instalação	66

Lista de Figuras

2.1	Esquema simplificado do Sistema de Bancadas Individuais	18
2.2	Placa Arduino UNO	21
2.3	Representação gráfica da relação entre Dado, Informação e Conhecimento .	23
4.1	Foto da Estufa Hidropônica	33
4.2	Esquema simplificado demonstrando a localização dos reservatórios selecionados na estufa.	33
4.3	Placa Mega + WiFi R3 (ATmega2560 + ESP8266).	35
4.4	Diagrama de pinos da placa Mega + WiFi R3 (ATmega2560 + ESP8266). .	36
4.5	Sensor de Umidade e Temperatura DHT22/Am2302.	37
4.6	Sensor de pH Arduino.	37
4.7	Esquemático Medidor de TDS com Arduino.	38
4.8	Sensor de temperatura DS18B20 à prova d'água.	38
4.9	Sensor de presença de líquido capacitivo Y26-PNP.	39
4.10	Sensor de turbidez para avaliação da qualidade da água.	40
4.11	Sensor ultrassônico HC-SR04 para medição de nível.	40
4.12	Fonte para alimentação do sistema.	41
4.13	Esquema simplificado da instalação do sistema.	42
4.14	Diagrama de ligação dos sensores ao Arduino Mega 2560	42
4.15	Foto da montagem da placa Arduino e placa perfurada.	43
4.16	Esquema do fluxo de dados entre sensores, microcontroladores e plataformas.	44
4.17	Fluxo de calibração remota dos sensores via ESP8266	47
5.1	Tela inicial do aplicativo.	52
5.2	Tela inicial do aplicativo com alertas.	53
5.3	Tela de detalhes do reservatório.	53
5.4	Calibração condutividade.	54
5.5	Variação do valor médio diário do pH ao longo do mês de Junho.	55
5.6	Variação do valor médio diário do pH ao longo do mês de Julho.	56
5.7	Variação da média diária da condutividade elétrica ao longo do mês de Junho. .	57
5.8	Variação da média diária da condutividade elétrica ao longo do mês de Julho. .	57
1	Visão geral da instalação do sistema de monitoramento em estufa hidropônica, com destaque para os sensores e cabeamento.	66
2	Detalhe da caixa de proteção contendo a placa de controle e o roteador, com os cabos conectados aos sensores distribuídos pelas bancadas.	67
3	Vista frontal das bancadas hidropônicas com sistema de retorno para o reservatório. É possível observar sensores na saída de solução nutritiva. . .	68
4	Detalhe das bancadas hidropônicas com as hortaliças em desenvolvimento e fios conectados aos sensores de monitoramento.	68
5	Sensor de fluxo instalado na parte inferior do perfil hidropônico, responsável por detectar a passagem da solução nutritiva.	69
6	Outro perfil com sensor de fluxo posicionado no final da linha, monitorando a presença da solução nutritiva.	70

7	Detalhe dos sensores submersos no reservatório.	71
8	Visão geral do reservatório 1 contendo sensores de nível, temperatura, pH e condutividade elétrica da solução nutritiva.	72

Lista de Tabelas

4.1	Exemplo de resposta enviada pelo Arduino e interpretação dos dados . . .	45
-----	--	----

Lista de Abreviações

DCC	Departamento de Ciência da Computação
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora
IoT	<i>Internet of Things</i>
TDS	<i>Total Dissolved Solids</i>
LDR	<i>Light Emitting Diode</i>
CPD	Centro de Processamento de Dados
API	<i>Application Programming Interface</i>
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
MES	<i>Manufacturing Execution System</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
EEPROM	<i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i>

1 Introdução

As mudanças climáticas representam riscos para a produtividade das colheitas e o rendimento das atividades agropecuárias, que vão além do aumento da dificuldade de acesso aos recursos hídricos e das mudanças repentinas e incomuns no clima. A perda de biodiversidade e agentes polinizadores unida ao aumento do risco da proliferação de patógenos e pragas podem levar a perda de safras inteiras, gerando prejuízos aos produtores, escassez de alimentos e aumento nos preços para a população. Ao mesmo tempo, o aumento da população mundial, que segundo a (ONU, 2022) pode saltar dos atuais 8 para 9.7 bilhões de pessoas em 2050, apresenta um grande desafio para a indústria agrícola, que precisa encontrar formas de garantir o abastecimento futuro dessa população sem maiores prejuízos e danos ao meio ambiente.

Uma das soluções possíveis consiste na utilização de estufas agrícolas que possibilitam o cultivo sob condições climáticas controladas, podendo, dessa forma, alcançar a máxima produção. Apesar de possuir maior necessidade de manutenção, conhecimento e investimento inicial por parte do produtor quando comparada com a agricultura tradicional, a técnica de cultivo em estufas pode aumentar a produtividade em até 30% (AGROLINK, 2021), já que se torna possível controlar a penetração de luz solar, emprego de outras fontes de luz, controle da temperatura e umidade, cultivar durante todo o ano, facilitar a prevenção de doenças e ainda controlar a proliferação de insetos.

Relativamente nova e vinda do Japão para o Brasil em 1990 (RODRIGUES, 2002), a Hidroponia tem conquistado cada vez mais produtores no país. A técnica consiste no cultivo de plantas sem o uso do solo, com os nutrientes essenciais fornecidos na forma de uma solução nutritiva, e tem como vantagens controle preciso sobre a composição dos nutrientes fornecidos às plantas, redução do tempo do ciclo das culturas e redução do consumo de água e espaço necessário para a produção. Porém, apesar de suas vantagens, a hidroponia é também uma técnica que exige um alto investimento inicial e conhecimento técnico por parte dos produtores, além de precisar de acompanhamento constante. Episódios de queda de energia, temperaturas elevadas por muito tempo e erros

na composição da solução nutritiva podem levar à perda de safras inteiras em apenas algumas horas (NETO, 2012).

A fim de aproveitar o máximo potencial das estufas hidropônicas e evitar prejuízos, pode-se utilizar a Internet das Coisas (IoT) integrada às estufas, instalando diversos sensores, capazes de coletar dados do ambiente e enviá-los aos produtores e aos controladores capazes de agir automaticamente sobre o ambiente, ou solicitar as ações necessárias. Esses dados ficam também armazenados e disponíveis ao acesso, tanto pelos próprios produtores, quanto por sistemas de apoio a decisão e gerenciamento desse ambiente, diminuindo a mão de obra necessária e auxiliando os produtores.

1.1 Descrição do Problema

Por se tratar de uma técnica de cultivo sem a utilização do solo, a hidroponia pode ser verticalizada, o que somado a um sistema mais compacto (devido ao fato dos nutrientes estarem prontamente disponíveis na solução nutritiva), faz com que a produtividade por área seja três ou quatro vezes maior no cultivo hidropônico quando comparado com técnicas tradicionais. A água fornecida às plantas na forma de solução nutritiva é reciclada, sendo recolhida, armazenada e mantida em circulação pelo sistema. O ambiente protegido contribui para a redução da evaporação e eliminação da lixiviação (retirada de nutrientes por fatores naturais), evitando assim a perda de fertilizantes (OCT, 2023).

A redução do espaço necessário e a alimentação por solução nutritiva têm também as suas desvantagens. As bancadas são alimentadas pela solução, que fica armazenada normalmente em uma caixa d'água sendo bombeada pelo sistema. Caso essa solução seja contaminada por algum patógeno, ou se for cometido algum erro no momento do preparo da solução, toda a bancada pode ser perdida em questão de horas. O mesmo pode ocorrer em caso de falta de energia elétrica por períodos prolongados de tempo, pois ela é necessária para o funcionamento das bombas que movimentam a solução pelo sistema.

Outras condições como o pH (potencial hidrogeniônico), temperatura do ambiente, umidade e incidência de luz solar, mesmo não tendo efeitos imediatos como as citadas anteriormente, podem causar perda de qualidade no produto final e até mesmo

a perda completa da produção (HIDROPONIA, 2023). Essas desvantagens demonstram uma necessidade de monitoramento constante, o que pode ser problemático para pequenos produtores que dispõem de pouca mão de obra e recursos.

1.2 Justificativa e Motivação

O aumento da população, somado à crise de abastecimento de água e à perda de áreas de cultivo ocasionada pelas mudanças climáticas (ALPINO MAIRA LOPES MAZOTO, 2020) demonstra a necessidade de encontrar técnicas mais eficientes para a produção de alimentos. Para contribuir com esse objetivo, novas soluções e tecnologias vêm sendo estudadas e aplicadas nesse campo, assumindo um papel importante na coleta e processamento de informações, possibilitando aumentos significativos na produtividade (ABDALA, 2022).

Tecnologias como monitoramento por satélite, computação em nuvem, computação em névoa¹, sensores, IoT, sensoriamento remoto e drones estão cada vez mais presentes e sendo cada vez mais necessários para o agro. Sensores são utilizados para coletar informações sobre aspectos físicos e ambientais, atuadores são configurados para utilizar e reagir a essas informações, atuando sobre o ambiente sem a necessidade de intervenção humana (REHMAN et al., 2014). A integração dessas tecnologias origina o termo *Smart Farming* (Agricultura Inteligente), que se refere à utilização de ferramentas de auxílio à tomada de decisão, monitoramento das lavouras por parte dos agricultores, resultando em aumento da produtividade, qualidade e lucro (TOTVS, 2022).

Estufas hidropônicas, integradas ao conceito de IoT, podem ser uma alternativa de cultivo eficiente e sustentável, unindo a possibilidade de maior controle do ambiente de produção e nutrição das plantas, com a aplicação de sensores para monitoramento do ambiente e das condições da solução nutritiva. Os sensores coletam os dados do ambiente e esses dados podem ser utilizados para automatizar algumas intervenções. Se tratados e processados da forma correta, os dados auxiliam o produtor no processo de tomada de decisões, no planejamento de ações futuras, além de gerar conhecimento útil para a

¹Computação em névoa (*fog computing*) é um modelo de processamento distribuído que estende a computação em nuvem para mais próximo dos dispositivos e sensores da borda da rede, reduzindo a latência e melhorando a eficiência na transmissão de dados (PUSHPA; KALYANI, 2020).

prevenção de doenças nas estufas.

Para pequenos produtores que dispõem de pouca mão de obra, a necessidade de monitoramento constante é um grande desafio no gerenciamento de estufas hidropônicas. Um sistema que forneça informações em tempo real a respeito das condições de cada estufa traria mais segurança, maior rentabilidade (com o uso inteligente dos recursos disponíveis), além de evitar perda da produção por problemas que podem passar despercebidos.

1.3 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma aplicação *mobile* que permita ao produtor monitorar remotamente, em tempo real, as condições de uma estufa hidropônica. A solução integra sensores conectados a uma plataforma Arduino, responsável pela coleta e transmissão dos dados à plataforma em nuvem ThingSpeak, onde ficam armazenados e disponíveis para consulta e análise.

O foco está na visualização e análise dos dados ambientais e nutricionais, bem como na possibilidade de calibração dos sensores diretamente pelo aplicativo. O sistema monitora variáveis críticas como temperatura, pH, condutividade elétrica, umidade do ar, volume da solução nutritiva, turbidez da água e presença de fluxo nos perfis hidropônicos.

Como objetivos específicos desse trabalho pretende-se:

- Projetar e implementar um sistema de aquisição e transmissão de dados adaptado ao ambiente hidropônico;
- Instalar, calibrar e integrar sensores físicos à infraestrutura da estufa;
- Transmitir os dados coletados para a plataforma ThingSpeak em tempo real;
- Desenvolver um aplicativo para dispositivos móveis para o monitoramento remoto das condições da estufa;
- Implementar no aplicativo funcionalidades de visualização, alerta e calibração remota dos sensores de pH e condutividade elétrica;
- Exibir notificações automáticas baseadas em desvios dos parâmetros ideais de cultivo.

1.4 Organização do Trabalho

Além desta introdução, o trabalho apresenta a Fundamentação Teórica no Capítulo 2, os Trabalhos Relacionados no Capítulo 3 e os Materiais e Métodos estão descritos no 4. O Capítulo 5 traz os resultados obtidos com o desenvolvimento da solução; as considerações finais, limitações e sugestões para trabalhos futuros são apresentadas no Capítulo 6.

2 Fundamentação Teórica

Ao longo deste capítulo, serão apresentados alguns termos e conceitos importantes para o entendimento desse trabalho. Na Seção 2.1, é apresentado o termo hidroponia, detalhando o funcionamento de uma estufa hidropônica com sistema ativo de bancadas individuais, e destacando os pontos de interesse para monitoramento e as variáveis do ambiente que precisam ser observadas. A Seção 2.2 explica a definição de IoT, o que é o conceito, sua composição e como funciona. Na Seção 2.3, é feita uma breve descrição do que é a plataforma Arduino. E por último, na Seção 2.5, é feita uma breve introdução à Análise de Dados e como funciona a relação entre dados, informação e conhecimento, sendo este o objetivo motivador por trás desse trabalho. São também apresentados alguns trabalhos e pesquisas que tratam dos temas apresentados em cada seção.

2.1 Hidroponia

Na etimologia², o termo hidroponia (do grego *hydro* = água e *ponos* = trabalho) tem o significado de trabalho com água, mas, hidroponia define um conjunto de técnicas de cultivo de plantas sem o uso do solo, com os nutrientes fornecidos as plantas na forma de uma solução nutritiva (CARIJO, 2000). As primeiras referências em literatura sobre o cultivo de plantas sem o solo são de 1665, porém, o termo hidroponia só foi empregado para definir essa técnica em 1937 pelo pesquisador William Frederick Gericke, que foi também o primeiro a utilizá-la para fins comerciais (NETO, 2012). No Brasil, a hidroponia foi introduzida por Shigueru Ueda e Takanori Sekine, que apresentaram o primeiro projeto comercial para cultura de alface em 1990 (RODRIGUES, 2002). Em princípio, qualquer espécie vegetal pode ser cultivada hidroponicamente, porém, por motivos práticos, e principalmente por motivos econômicos, espécies de pequeno porte são as mais adequadas para esse cultivo.

Segundo (NETO, 2012) a hidroponia pode ser classificada em 4 tipos de acordo

²Etimologia é o estudo da origem e da evolução histórica das palavras, investigando como sua forma e significado se modificaram ao longo do tempo (Encyclopaedia Britannica, 2025).

com seus objetivos:

- **Hidroponia didática:** tem somente a finalidade de demonstrar o funcionamento do sistema, sem necessidade de grande estrutura e investimento;
- **Hidroponia científica:** utilizada no estudo da nutrição mineral das plantas, necessita de um pouco mais de infraestrutura em comparação com a didática, e seus reagentes químicos precisam ter um elevado grau de pureza;
- **Hidroponia ornamental:** semelhante à didática na infraestrutura necessária e investimento para implantação, usada somente para decoração de ambientes;
- **Hidroponia comercial:** utilizada para produção com fins comerciais, e seu objetivo pode ser resumido como obtenção de lucro. Necessita de grande infraestrutura e investimento financeiro elevado, porém os reagentes são mais baratos quando comparados à científica.

Em relação aos sistemas utilizados, pode-se observar dois grupos básicos: os sistemas passivos, onde a solução permanece estática sendo conduzida por um meio de cultura com alta capilaridade, e os sistemas ativos, onde é necessária uma bomba para a circulação da solução nutritiva, sendo este o foco deste trabalho.

Dentre os sistemas ativos, está o Sistema de Bancadas Individuais, vide a Figura 2.1, que consiste em bancadas suspensas, formadas por tubos de material plástico (PVC), com inclinação, onde as plantas são cultivadas sem a necessidade de substrato, utilizando apenas a solução nutritiva aquosa. Essa solução líquida fica armazenada em um reservatório e circula pelo sistema com auxílio de uma bomba. Os nutrientes são diluídos na solução, e a reposição é feita de acordo com a condutividade elétrica, com valores padronizados para cada espécie cultivada.

A solução nutritiva é como os nutrientes são colocados à disposição das plantas, e é também o meio pelo qual é feita toda a irrigação do sistema, sendo uma das partes mais importantes de todo o sistema hidropônico. Toda solução deve conter os nutrientes essenciais, em proporção balanceada, a fim de atender as necessidades específicas de cada espécie, além de apresentar um pH adequado, que influencia diretamente na capacidade

de absorção das raízes. O controle do pH é feito por um peagâmetro³, que precisa ser calibrado em um período determinado pelo fabricante. Já o monitoramento do balanceamento e da composição da solução nutritiva é feito através de um condutímetro, que afere a condutividade elétrica, variável diretamente ligada à concentração total dos nutrientes dissolvidos na solução (NETO, 2012).

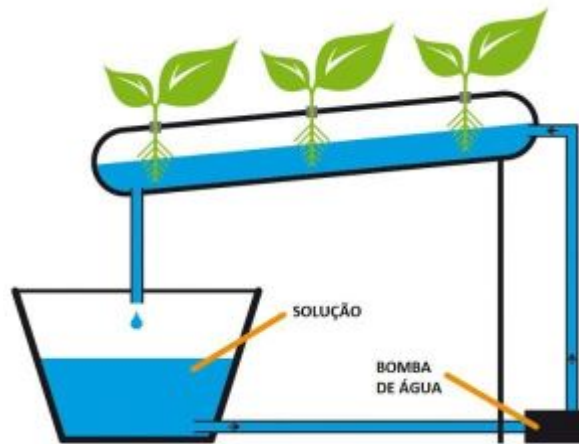


Figura 2.1: Esquema simplificado do Sistema de Bancadas Individuais
<http://casa.umcomo.com.br>

2.2 IoT

Segundo (RODRIGUES, 2019) IoT (*Internet of Things*) é definida como a integração de dispositivos computacionais, conectando os itens usados no dia a dia, como sensores atuadores, objetos, animais e até pessoas, a uma rede computacional, possibilitando a comunicação e transferência de dados sem a necessidade de intervenção humana.

Em 1990, John Romkey desenvolveu o primeiro dispositivo associado à IoT, uma torradeira, interligada a um computador conectado a uma rede TCP/IP, que podia ser ligada ou desligada por meio da internet. O feito foi considerado um grande avanço na época, mesmo que o pão ainda precisasse ser inserido manualmente na torradeira. Para isso, em 1991 foi adicionado um braço robótico ao sistema, e assim, a tarefa foi

³Peagâmetro, ou pHmetro, é o instrumento eletrônico utilizado para medir o pH de soluções, consistindo basicamente em um eletrodo e circuito potenciométrico — amplamente empregado em laboratórios e processos industriais para avaliação da acidez ou alcalinidade de uma amostra (Splash Laboratório, 2024).

totalmente automatizada. Este projeto, estabeleceu as bases para a expansão da IoT, que hoje é aplicada em diversos setores como a indústria, saúde e a agricultura (ELDER, 2019).

A partir do ano de 1999, a disseminação do conceito de IoT ganhou impulso global, tendo como principal catalisador o sistema de identificação por radiofrequência (RFID). O RFID emergiu como uma das tecnologias mais amplamente adotadas para aplicações na cadeia de abastecimento, viabilizando a localização e identificação de mercadorias em trânsito, resultando em melhorias logísticas e redução de custos operacionais (MANCINI, 2018).

No ano de 2005, a IoT conquistou posição de destaque na agenda do *International Telecommunication Union* (ITU), uma agência especializada em tecnologias de informação e comunicação das Nações Unidas (PATEL et al., 2016). Tal ênfase levou governantes a dedicarem atenção especial a questões relacionadas à privacidade e segurança de dados. Nesse contexto, o lançamento do *Nabaztag*⁴ em 2005 merece destaque, uma vez que esse dispositivo, conectado à internet, tornou-se um dos primeiros objetos inteligentes comercializados em larga escala, capaz de ler e-mails, fornecer notícias e previsões meteorológicas (PATEL et al., 2016).

De acordo com (EVANS, 2011) em 2009, objetos como smartphones, tablets e computadores pessoais superaram em número a população mundial em termos de conectividade. Esse marco é amplamente considerado o nascimento oficial da IoT, no qual a conectividade entre objetos e a internet ultrapassou a conectividade humana.

A partir de 2015, a IoT consolidou-se como uma realidade, demonstrando um crescimento significativo. Estimativas indicam que aproximadamente 4,9 bilhões de dispositivos conectados estavam em uso, representando um aumento de 30% em relação a 2014. Projeções indicam que esse número deverá alcançar a marca de 25 bilhões de dispositivos até o ano de 2020 (MANCINI, 2018).

O funcionamento da IoT se baseia em dispositivos que coletam dados de um ambiente (os sensores), conectados a um *gateway* ou outro dispositivo de borda capaz de

⁴Nabaztag (termo armênio para “lebre”) é um dispositivo eletrônico ambiente com conexão Wi-Fi, moldado como um coelho. Criado por Rafi Haladjian e Olivier Mével em 2005, era capaz de fornecer previsões do tempo, ler e-mails, transmitir notícias, acionar alarmes e emitir alertas via luzes e movimento de orelhas — sendo precursor da Internet das Coisas (PATEL et al., 2016).

enviar estes dados para um banco, onde os dados podem ser exibidos e/ou analisados. Outra possibilidade consiste em conectar esses sensores a dispositivos atuadores, capazes de realizar modificações no próprio ambiente, automatizando algumas rotinas, sendo necessário somente fazer a configuração destes dispositivos (JURGENSEN, 2022). Essa coleta, troca e armazenamento gera uma enorme quantidade de dados, que por sua vez são processados e analisados, gerando informação e serviços em uma escala inimaginável.

A arquitetura dos sistemas IoT é formada de quatro elementos básicos: energia, necessária para o funcionamento dos dispositivos, sensores, que coletam os dados do ambiente, processamento, que consiste na captação sensorial dos dados e os envia para armazenamento e a comunicação, definida pela conexão entre os dispositivos, podendo ser feita com ou sem fio (RODRIGUES, 2019).

Na agricultura, o conceito IoT pode ser aplicado de diversas formas, tais como mapeamento de propriedades, rastreamento de rebanho, detecção e alerta para invasões e queimadas, fornecer dados sobre variáveis de campo (condições de solo, umidade e temperatura). Este trabalho tem como foco as aplicações voltadas para o cultivo hidropônico em estufas, com ambiente mais controlado e isolado de mudanças externas, gerando a possibilidade de controle de variáveis como temperatura, umidade, incidência solar e nutrição das plantas.

2.3 Arduino

De acordo com (ARDUINO, 2018), Arduino é uma plataforma programável de prototipagem eletrônica, de código aberto, projetada para simplificar a prototipagem de projetos que envolvam hardware e software. As placas Arduino são projetadas para receber comandos de entrada, permitindo a leitura de informações do ambiente por meio de sensores. Esses comandos são então processados e traduzidos em uma saída, e, dessa forma, faz-se possível a interação com equipamentos externos, como, por exemplo, um atuador. O desenvolvimento de projetos com Arduino é feito por meio de um software específico, o Arduino IDE, responsável por fazer a comunicação entre a placa eletrônica e um computador. O ambiente oferece vários recursos para os desenvolvedores, desde a edição de código, passando pela compilação e o envio das instruções para a placa (ARDUINO, 2018).

Uma placa Arduino típica, Figura 2.2, é composta de um microcontrolador Atmel AVR, um cristal oscilador e um regulador linear. Em alguns tipos de Arduino, pode existir também uma saída USB para conexão com um computador ou smartphone, permitindo a programação e interação em tempo real. O microcontrolador Atmel AVR de 8 bits é programado com a linguagem de programação Arduino, baseada na linguagem C/C++, com o ambiente de desenvolvimento fundamentado na linguagem *Wiring* (MCROBERTS, 2011).

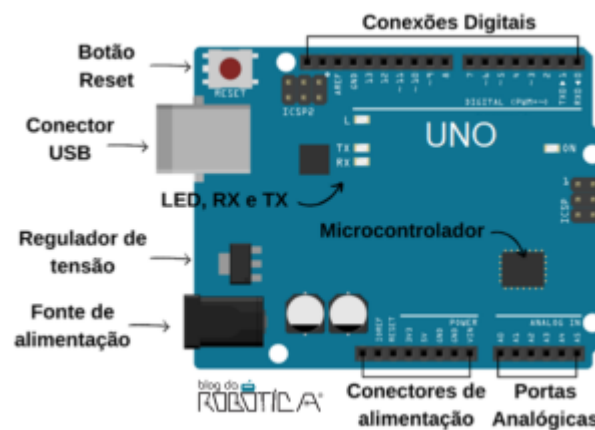


Figura 2.2: Placa Arduino UNO

2.4 ThingSpeak

O ThingSpeak é uma plataforma online desenvolvida pela MathWorks para a Internet das Coisas (IoT), projetada para coletar, armazenar, analisar e visualizar dados provenientes de sensores e dispositivos conectados. A plataforma funciona como um serviço em nuvem que integra dispositivos físicos a aplicações de monitoramento e análise, permitindo que produtores, técnicos ou pesquisadores acessem informações em tempo real a partir de qualquer dispositivo conectado à internet (MATHWORKS, 2025).

Entre as funcionalidades mais relevantes para este trabalho destacam-se:

- **Aquisição de dados:** dispositivos como microcontroladores (Arduino, ESP8266, ESP32, entre outros) podem enviar informações diretamente à plataforma por meio de requisições HTTP ou MQTT (MATHWORKS, 2025).

- **Armazenamento na nuvem:** os dados recebidos são automaticamente registrados em *canais*, que servem como contêineres para organizar e manter o histórico das leituras (MATHWORKS, 2025).
- **Visualização:** a plataforma fornece gráficos e dashboards personalizáveis, facilitando o acompanhamento de tendências, anomalias e variações nos parâmetros monitorados (MATHWORKS, 2025).
- **Processamento e alertas:** o ThingSpeak possui integração com o MATLAB, possibilitando a aplicação de algoritmos de análise, aprendizado de máquina ou estatística diretamente na nuvem. Além disso, permite o envio de notificações automáticas quando determinados limites ou condições são atingidos (MATHWORKS, 2025).

O conceito central do ThingSpeak é a organização em **canais**. Cada canal representa um conjunto de dados associado a um dispositivo ou grupo de sensores. Os canais possuem os seguintes elementos principais:

- **Campos (fields):** cada canal pode conter até 8 campos numéricos ou textuais, que correspondem às variáveis monitoradas (por exemplo: temperatura, pH, condutividade, turbidez) (MATHWORKS, 2025).
- **Dados suplementares:** além dos campos principais, é possível incluir informações como localização geográfica, status do dispositivo e anotações adicionais (MATHWORKS, 2025).
- **Controle de acesso:** canais podem ser configurados como públicos ou privados, permitindo restringir a visualização e o envio de dados apenas a usuários autorizados (MATHWORKS, 2025).

No contexto deste projeto, os canais foram utilizados para organizar as variáveis críticas ao cultivo hidropônico, como a temperatura e umidade do ambiente, pH, condutividade elétrica, volume da solução nutritiva e presença de fluxo nos perfis de cultivo. Os dados registrados em tempo real no ThingSpeak alimentam tanto a análise histórica

quanto o aplicativo mobile desenvolvido, que consome essas informações para exibir alertas e possibilitar calibrações remotas.

2.5 Data Analytics

Data Analytics ou Análise de Dados define o processo de explorar, transformar e analisar informações a fim de encontrar tendências e padrões, revelando *insights* significativos para o suporte à tomada de decisões (ANTERYX, 2023).

O aumento da capacidade de armazenamento de dados, e a crescente automação dos processos gera um volume crescente de informações. Esse grande volume de dados é propício para a criação de ambientes analíticos. Porém, para que estes dados possam ser utilizados de forma estratégica, é necessário transformá-los em seu conteúdo e forma, se transformando em informação, que por sua vez permite a criação de um processo de inferência e reconhecimento de regras e padrões, que por meio de modelos de agrupamento e preditivos, são transformados em conhecimento (ARBEX, 2023).

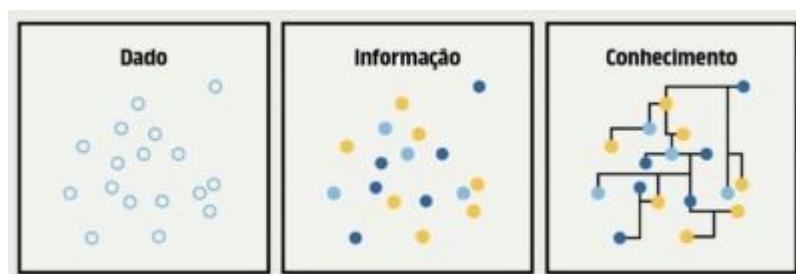


Figura 2.3: Representação gráfica da relação entre Dado, Informação e Conhecimento
<https://alfakini.com>

Nesse cenário, de grande aumento na capacidade de obtenção e armazenamento de dados, a agricultura passa a ser cada vez mais dependente de soluções baseadas em dados e informações para geração de diferencial e elaboração de estratégias para maior eficiência na produção (EMBRAPA, 2018). Os dados gerados no ambiente agrícola podem apresentar os mais variados modelos, pois o conjunto de objetos que geram esses dados é muito grande e diverso, podendo representar informações como qualidade química e física do solo, dados climáticos, infestação de pragas e nível de produtividade, dentre várias outras (QUEIROZ et al., 2022). Tornam-se necessárias abordagens mais eficientes a fim

de se evitar que estes dados se tornem apenas um enorme acúmulo, no lugar de serem traduzidos em percepções concretas e monetizáveis.

2.6 Considerações

O capítulo de Fundamentação Teórica apresentou alguns conceitos e pontos fundamentais para a compreensão do trabalho proposto. Iniciando com uma explicação simplificada do que é a Hidroponia, ressaltando pontos, conceitos e explicando processos importantes que fazem parte do escopo. Foi também apresentado o conceito de IoT e sua aplicação na agricultura, ficando a seção final, Data Analytics, responsável por discutir brevemente a análise dos dados obtidos no ambiente. Essas definições evidenciam a importância do monitoramento e da análise de dados no cultivo hidropônico, que, apesar de apresentar muitas vantagens em relação ao cultivo tradicional, tem sua complexidade além de demandar monitoramento constante.

3 Trabalhos Relacionados

Ao longo desta sessão, são apresentados trabalhos que exploram o uso da Internet das Coisas (IoT) em contextos relacionados à agricultura, com ênfase no monitoramento automatizado de estufas e cultivos hidropônicos. O objetivo é situar o presente projeto em meio a outras propostas já desenvolvidas, identificando aproximações técnicas, diferenças de abordagem e contribuições relevantes para sua concepção.

Na Seção 3.0.1, são discutidos sistemas voltados especificamente à hidroponia, com o uso de sensores e microcontroladores para acompanhar variáveis como temperatura, pH, condutividade e fluxo da solução nutritiva. A Seção 3.0.2 reúne estudos aplicados a outros tipos de cultivo e ambientes — como agricultura em solo, aquaponia e avicultura — que, embora distintos, oferecem soluções tecnológicas que podem inspirar adaptações ao contexto hidropônico. Por fim, a Seção 3.0.3 apresenta revisões e estudos mais amplos, que abordam tendências, arquiteturas e estratégias relacionadas ao uso de IoT em ambientes agrícolas controlados.

3.0.1 Propostas de Sistemas IoT para Hidroponia

Nos últimos anos, diferentes pesquisas têm explorado o uso da Internet das Coisas (IoT) para monitorar sistemas hidropônicos. Um exemplo é o trabalho de (NOVAES, 2022), que desenvolve uma horta vertical de dois andares equipada com sensores para acompanhar parâmetros como pH, temperatura, condutividade, iluminação e nível da água. A estrutura utiliza um Arduino Uno em conjunto com um módulo ESP8266, enviando os dados por meio do protocolo MQTT para uma API desenvolvida em ASP.NET. As informações são armazenadas em um banco PostgreSQL e podem ser acessadas via *end-points* HTTP. A proposta mostrou bons resultados em testes iniciais, especialmente para pequenos produtores, e ainda pode ser expandida com novos recursos.

O estudo de (DHALL et al., 2023) segue por outro caminho e investiga o controle de metais pesados no cultivo de alface. O sistema usa sensores ópticos, que convertem

variações de luz em sinais elétricos interpretáveis pelo sistema, e um ESP32 ligados a um espectrofotômetro⁵, e conta com um modelo de aprendizado de máquina (Linear SVM) que roda no Firebase⁶. Com isso, é possível estimar níveis seguros de ferro, cobre e zinco e realizar ajustes automáticos quando necessário. Os testes em estufas mostraram que o sistema conseguiu manter os nutrientes dentro dos limites recomendados, contribuindo para o bom desenvolvimento das plantas.

Já (MEGANTORO et al., 2022) propõem um sistema com ESP32 voltado ao monitoramento de variáveis como pH, turbidez, temperatura e umidade. Os dados são apresentados em um *display* local e também enviados para o Firebase, podendo ser consultados por meio de um aplicativo Android. Embora o desempenho geral tenha sido satisfatório, o sensor de pH apresentou algumas limitações durante os testes. Ainda assim, os usuários avaliaram positivamente a interface do sistema, destacando sua simplicidade e utilidade.

Por fim, (SILVA; MARIANO; SOUSA, 2022) propõem um protótipo de baixo custo para monitoramento de temperatura em hidroponia, combinando um Arduino Nano com módulos ESP8266-01. Os dados são enviados à plataforma DT4.0 por meio de conexão Wi-Fi. Após calibração, os sensores demonstraram alta confiabilidade, com perdas mínimas. O custo reduzido torna a solução bastante atrativa para aplicações em pequena escala.

O sistema proposto neste trabalho tem em comum com essas propostas a ideia de utilizar sensores acessíveis e microcontroladores para monitoramento hidropônico. No entanto, adota uma arquitetura diferente, baseada na plataforma ThingSpeak para coleta em tempo real, com posterior armazenamento em um banco de dados PostgreSQL local. Além de medir temperatura, umidade, pH e condutividade elétrica, o projeto inclui o monitoramento do fluxo de solução nutritiva nos perfis hidropônicos e do nível de água nos reservatórios — o que permite identificar falhas de irrigação com antecedência. Embora mais simples do ponto de vista computacional, a proposta busca atender produtores que

⁵Espectrofotômetro é um equipamento óptico usado para medir a intensidade da luz em diferentes comprimentos de onda, permitindo identificar e quantificar substâncias em uma solução a partir da absorção ou transmissão da radiação eletromagnética(SKOOOG; HOLLER; CROUCH, 2020)

⁶Firestore é uma plataforma de desenvolvimento de aplicações móveis e web criada pelo Google, que oferece serviços como banco de dados em tempo real, autenticação, hospedagem e processamento em nuvem(Google Firestore, 2025).

precisam de uma solução funcional, de baixo custo e fácil de operar no dia a dia.

3.0.2 Diferentes Cultivos e Aplicações

Esta seção reúne estudos que, embora também empreguem tecnologias da Internet das Coisas (IoT), têm como foco cultivos distintos da hidroponia, como agricultura em solo, aquaponia e avicultura. Essas propostas ampliam a compreensão sobre diferentes aplicações de monitoramento automatizado e trazem soluções tecnológicas que podem ser adaptadas ou inspirar melhorias em sistemas hidropônicos.

O trabalho de (ABDALA, 2022) propõe uma plataforma IoT para monitoramento de cultivos de trigo em zonas de manejo, com uso de sensores de temperatura do ar, umidade relativa e dados agroclimáticos. A arquitetura utiliza computação em névoa, com o Raspberry Pi⁷ atuando como *broker* MQTT⁸ e realizando o pré-processamento local dos dados antes de encaminhá-los à nuvem. A plataforma também se integra ao AgDataBox⁹, permitindo análises temáticas e suporte à decisão mesmo em ambientes com conectividade limitada. Os resultados demonstraram boa estabilidade, geração de mapas agroclimáticos e apoio eficaz ao manejo em propriedades rurais de pequeno porte.

Em (KARIMANZIRA; RAUSCHENBACH, 2019), é apresentada uma solução modular e distribuída para o gerenciamento de sistemas aquapônicos em cinco localidades distintas. O sistema coleta dados de qualidade da água, crescimento dos organismos e consumo energético, centralizando-os em uma plataforma denominada GrowWatch, desenvolvida pelos próprios autores para esse fim. Essa plataforma integra-se aos níveis SCADA¹⁰,

⁷Raspberry Pi é um microcomputador de baixo custo, do tamanho de um cartão de crédito, desenvolvido pela Raspberry Pi Foundation. É amplamente utilizado em ensino, prototipagem e projetos de Internet das Coisas devido à sua versatilidade e suporte a sistemas operacionais baseados em Linux (Raspberry Pi Foundation, 2025).

⁸Um *broker* MQTT é o servidor responsável por gerenciar a comunicação no protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), recebendo mensagens publicadas por dispositivos e distribuindo-as aos assinantes correspondentes, permitindo comunicação eficiente em aplicações de IoT (OASIS, 2019).

⁹AgDataBox é uma plataforma brasileira de integração e análise de dados agroclimáticos desenvolvida pela Embrapa, que permite centralizar informações de diferentes fontes para apoiar o processo de tomada de decisão no agronegócio (Embrapa, 2023).

¹⁰SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) é um sistema de supervisão e aquisição de dados usado em processos industriais e de infraestrutura, permitindo monitorar e controlar equipamentos em tempo real (International Society of Automation, 2023)

MES¹¹ e ERP¹². O uso de aprendizado de máquina, aliado à simulação de Monte Carlo, permitiu prever eventos críticos e otimizar o desempenho dos filtros biológicos. A proposta se destaca pela escalabilidade, automação das decisões e redução da dependência da experiência humana, além de ganhos significativos na eficiência operacional.

Já o estudo de (HUANG et al., 2023) propõe um sistema de monitoramento modular com arquitetura baseada em *edge computing* para aplicações em aquaponia. Os dados coletados por sensores de temperatura, pH, condutividade elétrica, nível da água e luz são processados localmente em um Raspberry Pi e enviados à nuvem via MQTT. A visualização é feita por meio de *dashboards* em Node-RED¹³ e Grafana¹⁴. O sistema é dividido em módulos independentes (aquisição, processamento e visualização), o que permite manutenção simplificada, reconfiguração dinâmica dos sensores e alta tolerância a falhas. Os testes demonstraram estabilidade e resposta ágil, com média de 0,7 segundos.

No campo da pecuária, (FITRI et al., 2021) desenvolvem uma solução de baixo custo voltada à avicultura, utilizando ESP32, sensores DHT22, microfones e sensores infravermelhos para monitoramento ambiental e comportamental em granjas. Os dados são enviados ao Firebase e visualizados por meio de um aplicativo Android construído no App Inventor. A proposta prioriza acessibilidade e robustez em ambientes rurais, com funcionamento offline temporário, alertas de ruído fora do padrão e gráficos em tempo real. Os resultados indicam que mesmo com uma infraestrutura simples, o sistema é capaz de oferecer funcionalidades úteis e potencial de adaptação para outras áreas da produção animal.

Mesmo que aplicados a diferentes tipos de cultivos, os estudos desta seção apresentam abordagens e soluções técnicas que dialogam diretamente com os desafios enfrentados no desenvolvimento de sistemas de monitoramento para estufas hidropônicas. A escolha

¹¹MES (Manufacturing Execution System) é um sistema de execução da manufatura que conecta o planejamento da produção com a operação em chão de fábrica, permitindo rastrear e otimizar processos produtivos em tempo real(KLETTI, 2007)

¹²ERP (Enterprise Resource Planning) é um sistema integrado de gestão empresarial que centraliza informações de diferentes áreas — como finanças, logística e produção — para apoiar a tomada de decisões estratégicas(MONK; WAGNER, 2012)

¹³Node-RED é uma ferramenta de programação visual baseada em fluxos, desenvolvida pela IBM, utilizada para conectar dispositivos de hardware, APIs e serviços online em aplicações de Internet das Coisas(IBM, 2025)

¹⁴Grafana é uma plataforma de código aberto para monitoramento e visualização de dados, permitindo a criação de painéis interativos e personalizáveis a partir de diversas fontes de dados(Grafana Labs, 2025).

de arquiteturas modulares e escaláveis, o uso de computação em névoa para garantir operação local em ambientes com conectividade limitada, e a integração com plataformas em nuvem são estratégias altamente pertinentes à realidade de pequenos e médios produtores.

3.0.3 Revisões e Estudos Amplo-Estratégicos sobre Estufas e IoT

Diversos estudos têm buscado sistematizar o conhecimento sobre o uso de tecnologias digitais aplicadas à agricultura em ambientes controlados, como estufas e sistemas hidropônicos. As revisões a seguir apresentam panoramas amplos e estratégicos sobre o tema, oferecendo subsídios conceituais e técnicos relevantes para esta pesquisa.

Rajaseger et al. (2023) apresenta uma revisão abrangente sobre o uso de tecnologias inteligentes na hidroponia, partindo de uma contextualização histórica que vai dos Jardins Suspensos da Babilônia até os sistemas modernos baseados em sensores e Internet das Coisas (IoT). O artigo destaca a hidroponia como alternativa viável diante da escassez de recursos naturais e do crescimento urbano, evidenciando sua eficiência no uso da água (com até 90% de economia em relação ao cultivo tradicional) e a capacidade de produção em tempo integral ao longo do ano. Os autores discutem a aplicação de sensores para monitoramento de temperatura, pH e condutividade elétrica, além da integração com domótica¹⁵, inteligência artificial e sistemas de cultivo remoto. O estudo enfatiza o potencial de escalabilidade da hidroponia em ambientes urbanos, apontando benefícios como menor uso de defensivos agrícolas, aproveitamento vertical do espaço e maior retorno econômico. Também são descritos diferentes tipos de sistemas hidropônicos (como NFT, DWC e Ebb e Flow) e suas aplicações conforme o tipo de cultivo. O artigo inclui exemplos práticos, com destaque para protótipos desenvolvidos com Arduino e ThingSpeak, e conclui que a hidroponia representa uma ferramenta estratégica para o enfrentamento da insegurança alimentar e promoção de uma agricultura urbana sustentável.

Já Borba et al. (2022) traz uma revisão sistemática voltada para estufas intelligen-

¹⁵Domótica é o conjunto de tecnologias aplicadas ao controle e automação de residências, permitindo integrar sistemas de iluminação, climatização, segurança e outros dispositivos, de forma centralizada e inteligente.

tes com foco em eficiência energética. A partir da análise de 20 artigos extraídos de bases como Scopus, IEEE e Web of Science, os autores mapeiam as principais soluções aplicadas, especialmente em países como Índia e Indonésia. O conceito de “estufa inteligente” é descrito como sistemas que integram sensores e atuadores controlados remotamente, capazes de monitorar variáveis como temperatura, umidade, luminosidade, pH e até velocidade do vento. O uso de algoritmos de controle, como lógica fuzzy, e de sistemas de aprendizado para tomada de decisão automatizada aparece com frequência nos trabalhos analisados. As estufas são apontadas como alternativa viável para regiões com clima extremo ou pouca terra agricultável, com ganhos como redução no uso de defensivos e aumento da produtividade. Embora o texto tenha um foco mais metodológico — detalhando a construção do portfólio de artigos — ele também levanta pontos importantes sobre tendências tecnológicas, além de destacar a necessidade de políticas públicas e formação de mão de obra qualificada para ampliar o uso dessas soluções.

3.1 Considerações

O capítulo 3 abordou o emprego de ferramentas de análise de dados na agricultura e o impacto resultante dessa aplicação. Os trabalhos discutidos destacaram a relevância da análise de dados na tomada de decisões agrícolas, fornecendo *insights* valiosos para otimizar o processo de cultivo e aumentar a produtividade. Além disso, salientaram a necessidade de adaptação das empresas do setor agrícola, que devem incorporar a análise de dados em suas estratégias de negócio para manterem-se competitivas no mercado. Em síntese, os estudos relacionados analisados nesta sessão evidenciam a importância da utilização de Internet das Coisas (IoT) e análise de dados na agricultura. Os projetos de infraestrutura IoT para coleta de dados, tanto em estufas hidropônicas como em outros contextos agrícolas, demonstraram resultados positivos e viabilidade técnica. Adicionalmente, a análise de dados mostrou-se uma ferramenta poderosa para aprimorar o processo de cultivo e impulsionar o êxito das empresas agrícolas. Essas pesquisas fornecem uma base sólida para o desenvolvimento do presente trabalho, contribuindo para a compreensão e aplicação dessas tecnologias na agricultura contemporânea.

Neste trabalho, é descrita a implementação de um sistema de coleta de dados

em uma estufa hidropônica utilizando IoT, bem como o desenvolvimento de um sistema mobile para a realização do tratamento, processamento e análise dos dados obtidos.

4 Materiais e Métodos

Neste capítulo, é apresentada uma visão geral dos procedimentos adotados para a realização deste trabalho. Para alcançar os objetivos apontados na introdução, esse projeto foi dividido em 3 etapas principais: (i) projeto do sistema para coleta dos dados; (ii) instalação dos instrumentos no ambiente das estufas; e (iii) coleta e análise dos dados dos sensores.

Essas etapas são apresentadas nas próximas subseções. A Seção 4.1 descreve o ambiente de coleta dos dados, o seu contexto, características relevantes e quais partes foram escolhidas para este estudo. A Seção 4.2 trata dos métodos utilizados para a coleta dos dados, descrevendo as estratégias e instrumentos necessários. A Seção 4.3 descreve como é feita a transmissão, a interpretação e o armazenamento dos dados gerados pelos sensores. Por fim, a Seção 4.4 descreve como os dados devem ser analisados, os parâmetros utilizados e como o sistema deve responder a esses parâmetros.

4.1 Ambiente do Estudo

O ambiente de estudo é uma estufa comercial, localizada na cidade de Congonhas, no estado de Minas Gerais. A Figura 4.1 mostra a produção de hortaliças na estufa.

O ambiente da estufa foi construído em 2020, originalmente com 120m^2 , e, após algumas expansões, conta atualmente com aproximadamente 350m^2 . Possui um total de 31 bancadas, com cada bancada contendo 8 canos de 12m, ou 6m, e um reservatório de água para armazenamento da solução nutritiva. Para este estudo, foram selecionados dois reservatórios e suas respectivas bancadas, vide a planta simplificada da estufa na Figura 4.2. Essa seleção foi baseada em critérios como relevância do reservatório na estrutura e praticidade para instalação dos sensores.



Figura 4.1: Foto da Estufa Hidropônica

Fonte: Arquivo Pessoal.

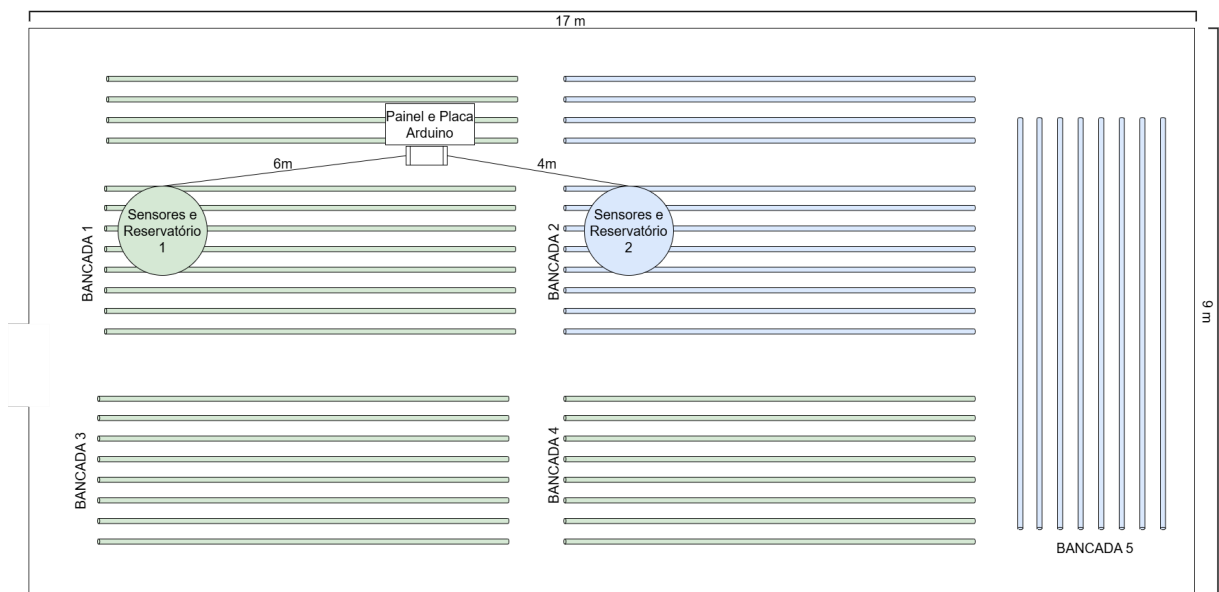


Figura 4.2: Esquema simplificado demonstrando a localização dos reservatórios selecionados na estufa.

Fonte: Arquivo Pessoal.

A Figura 4.2 apresenta a disposição dos reservatórios e bancadas escolhidos para a instalação do protótipo. Foram selecionados dois reservatórios principais: o Reservatório 1, responsável pelo abastecimento das bancadas destacadas em verde, e o Reser-

vatório 2, que alimenta as bancadas destacadas em azul. A placa Arduino foi posicionada em uma localização central entre os dois reservatórios, de modo a facilitar a instalação elétrica e reduzir o comprimento dos cabos de conexão. Para o monitoramento de fluxo, foram escolhidos cinco perfis hidropônicos (tubos) pertencentes à Bancada 1, alimentada pelo Reservatório 1, devido às limitações do protótipo. Essa configuração permitiu validar o funcionamento do sistema em condições reais, sem a necessidade de instrumentar todas as bancadas da estufa.

4.2 Coleta dos Dados

Para a realização da etapa de coleta de dados, foram utilizados sensores de pH, temperatura, condutividade, nível do reservatório, presença de fluxo e umidade, conectados a uma placa Arduino. Essa placa foi configurada como um dispositivo de aquisição de dados, estando conectada a uma rede Wi-Fi local. Dessa forma, foi possível capturar os dados dos sensores e transmiti-los para a plataforma Thingspeak, onde os dados foram armazenados e processados. Os dispositivos utilizados nesta etapa foram:

- **Placa:** A placa utilizada neste projeto é a *Mega + WiFi R3* da RobotDyn, que integra o microcontrolador ATmega2560 com o módulo WiFi ESP8266 na mesma estrutura física, compartilhando os pinos de comunicação serial (Figura 4.3). Essa integração permite programar e operar os dois chips independentemente ou de forma combinada, sendo ideal para aplicações IoT. O modelo conta ainda com interface USB-serial baseada no chip CH340G e pode ser programado via Arduino IDE utilizando cabo micro-USB. A escolha por essa placa deve-se à sua maior quantidade de pinos digitais e analógicos disponíveis (Figura 4.4), o que facilita a conexão de múltiplos sensores no sistema de monitoramento da estufa hidropônica (ROBOTDYN, 2023). O módulo ESP8266, por sua vez, é um microcontrolador com conectividade Wi-Fi integrada, amplamente utilizado em projetos de Internet das Coisas por oferecer baixo custo, boa capacidade de processamento e suporte a protocolos de rede como TCP/IP (ARDUINO, 2018).

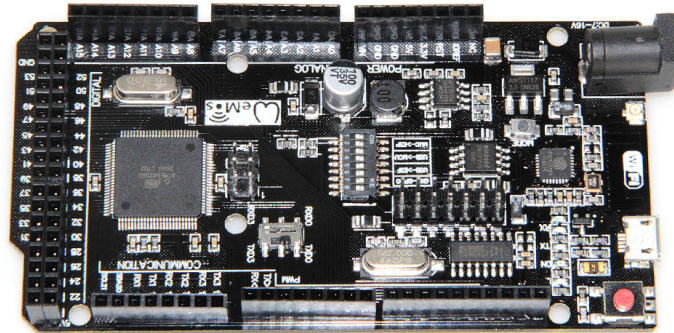
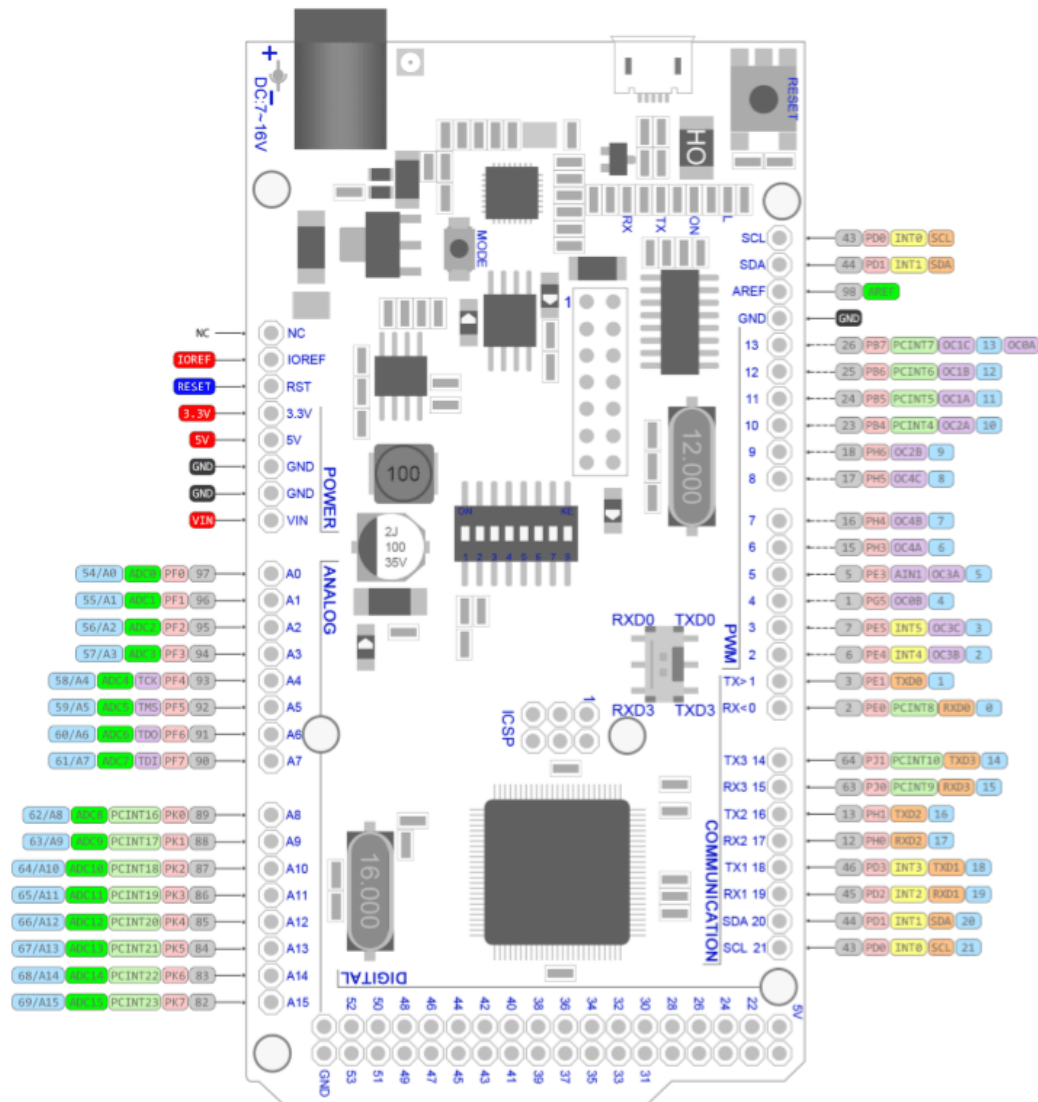


Figura 4.3: Placa Mega + WiFi R3 (ATmega2560 + ESP8266).



2023b).



Figura 4.5: Sensor de Umidade e Temperatura DHT22/Am2302.

- **Sensor de pH:** o sensor de pH Arduino (Figura ??) foi desenvolvido para trabalhar em conjunto com microcontroladores. É formado por um eletrodo e um módulo eletrônico que faz a intermediação com o Arduino, com um design que permite manter o eletrodo submerso na solução nutritiva (USINAINFO, 2023c).



Figura 4.6: Sensor de pH Arduino.

- **Sensor de condutividade:** como sensor para monitoramento da condutividade, foi escolhido o Medidor de TDS Sensor de Condutividade da Água (Figura 4.7). O TDS (*Total Dissolved Solids*) indica quantos miligramas de sólidos solúveis são dissolvidos em um litro de água. As canetas TDS não podem transmitir os dados captados para um sistema de controle, e os instrumentos profissionais que fazem essa transmissão podem ter um custo inacessível para pequenos produtores, e, para contornar esse

problema, é possível adquirir um kit que adiciona um microcontrolador Arduino a esse módulo de leitura (USINAINFO, 2023b).

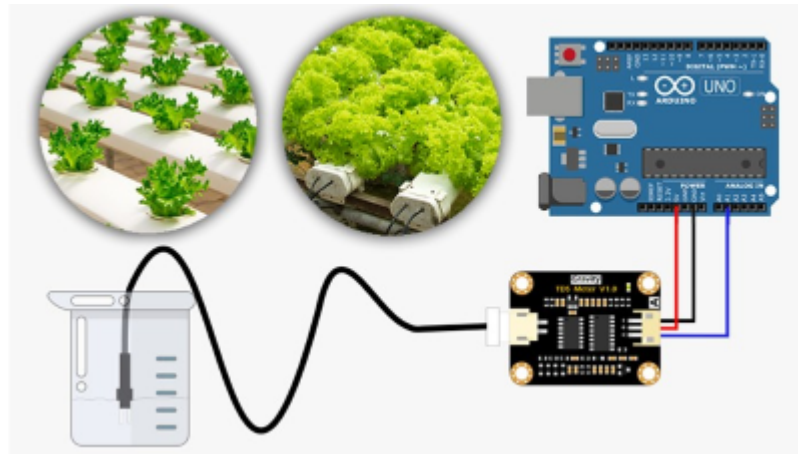


Figura 4.7: Esquemático Medidor de TDS com Arduino.

- **Sensor de temperatura da solução:** Para medir a temperatura diretamente na solução nutritiva, foi utilizado o sensor DS18B20 (Figura 4.8), encapsulado em aço inox e à prova d'água. Este sensor digital possui boa precisão ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$) e utiliza protocolo 1-Wire, permitindo a comunicação com o Arduino através de um único pino de dados. É adequado para medições em meios líquidos e apresenta boa estabilidade térmica, sendo amplamente utilizado em projetos de monitoramento hidropônico (USINAINFO, 2023a).



Figura 4.8: Sensor de temperatura DS18B20 à prova d'água.

- **Sensor de presença de fluxo:** Para detectar a presença de solução nutritiva nos tubos de cultivo, foi utilizado o sensor XKC-Y26-PNP (Figura 4.9). Este modelo

opera por detecção capacitiva, técnica em que o sensor monitora a variação da capacitância causada pela aproximação de um material com propriedades dielétricas diferentes — no caso, o líquido condutivo dentro do tubo. Assim, é possível identificar a presença de líquidos em tubos de PVC sem necessidade de contato direto com o fluido. É especialmente útil para sistemas hidropônicos, pois reduz o risco de contaminação e facilita a instalação. O sensor possui saída do tipo PNP e opera com tensão de 5V a 24V, sendo compatível com microcontroladores como o Arduino (XKC-SENSOR, 2023).



Figura 4.9: Sensor de presença de líquido capacitivo Y26-PNP.

- **Sensor de turbidez:** O sensor de turbidez utilizado neste projeto permite medir a qualidade da água com base na quantidade de partículas em suspensão (Figura 4.10). Ele opera por meio de um feixe de luz infravermelha que, ao atravessar a água, sofre dispersão conforme a presença de impurezas. A saída analógica pode ser lida diretamente por microcontroladores como o Arduino utilizado neste trabalho, possibilitando a identificação de alterações na transparência da água. É especialmente útil no monitoramento da água de reposição dos reservatórios hidropônicos, pois avalia a qualidade da água proveniente do abastecimento externo (USINAINFO, 2023d).



Figura 4.10: Sensor de turbidez para avaliação da qualidade da água.

- **Sensor de nível do reservatório:** O sensor ultrassônico HC-SR04 (Figura 4.11) foi utilizado para medir a distância entre o topo do reservatório e a superfície da solução nutritiva, permitindo estimar o volume disponível. O sensor opera com base na emissão e recepção de pulsos ultrassônicos e calcula a distância a partir do tempo de resposta. Apresenta boa precisão para distâncias curtas e é amplamente utilizado em projetos de baixo custo com Arduino (ELETROGATE, 2023a).

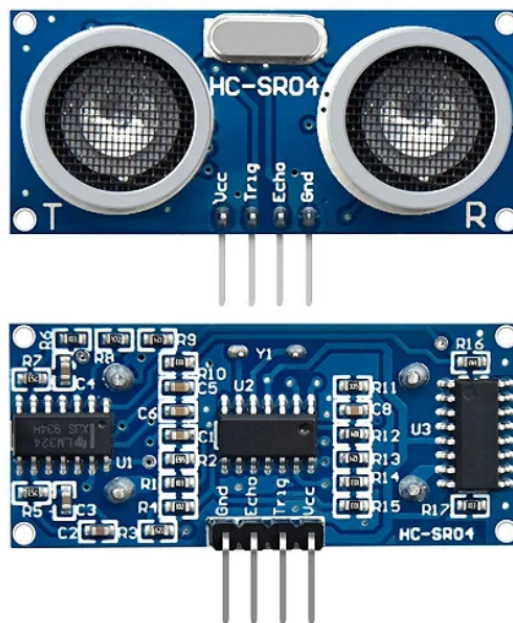


Figura 4.11: Sensor ultrassônico HC-SR04 para medição de nível.

- **Fonte de alimentação:** O sistema é alimentado por uma fonte chaveada de 5V com

corrente nominal de 3A, modelo com plugue P4 (5,5x2,1 mm), conforme mostrado na Figura 4.12. Essa fonte fornece energia estável para o Arduino Mega 2560 e para os demais componentes do sistema, incluindo sensores analógicos e digitais. A escolha dessa fonte se deu por sua alta disponibilidade, baixo custo e capacidade de fornecer corrente suficiente mesmo com diversos sensores operando simultaneamente.



Figura 4.12: Fonte para alimentação do sistema.

Além da seleção dos sensores, foi necessária a criação de uma estrutura física adequada para garantir robustez, modularidade e facilidade de manutenção.

Os sensores de pH, condutividade e temperatura da solução foram instalados diretamente nos reservatórios (Apêndice .1, Figura 7), enquanto os sensores de fluxo foram fixados nos perfis hidropônicos (tubos de cultivo), conforme ilustrado na Figura 6. A ligação dos sensores foi feita com cabos coaxiais bipolares de 4 mm e comprimento de 6 metros (Figura 4.13), o que possibilitou posicionar a central de controle em um local protegido, sem comprometer a qualidade das medições. Após o posicionamento, todos os sensores foram conectados ao Arduino Mega 2560, conforme apresentado na Figura 4.14.

A montagem modular facilita a manutenção do sistema e permite a substituição individual de sensores em caso de falhas, sem a necessidade de intervenção direta no cabeamento principal ou na controladora.

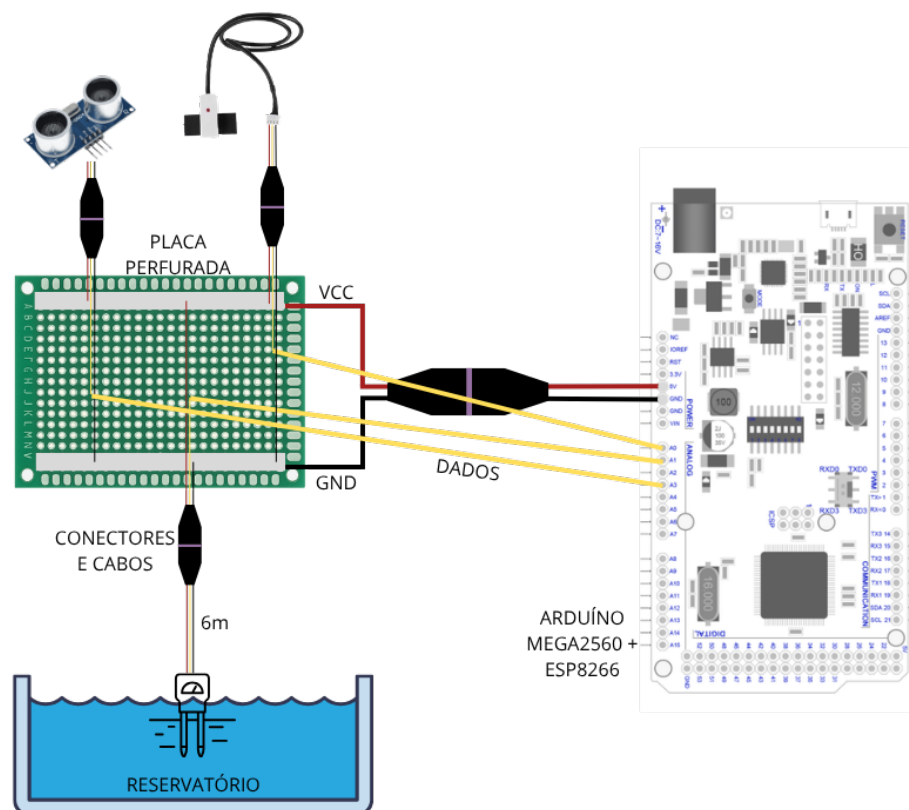


Figura 4.13: Esquema simplificado da instalação do sistema.

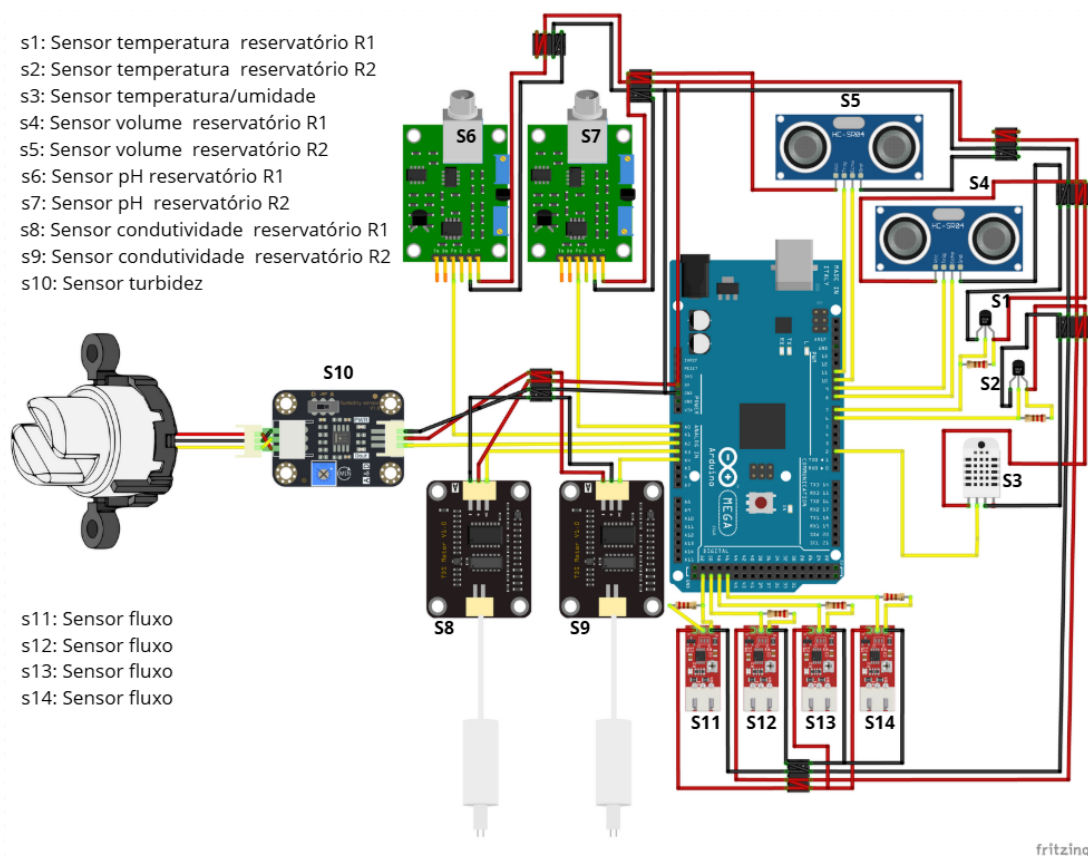


Figura 4.14: Diagrama de ligação dos sensores ao Arduino Mega 2560

Para assegurar conexões confiáveis e permitir substituições rápidas, foram adotados conectores do tipo engate rápido macho-fêmea (modelo utilizado com fitas de LED RGB), tanto entre sensor e cabo quanto entre o cabo e a placa perfurada. Esta atua como intermediária, recebendo os sinais dos sensores e distribuindo os dados para o Arduino Mega 2560 por meio de *jumpers* padrão. A alimentação dos sensores é fornecida diretamente da placa Arduino, por meio de um conector P4 conectado à placa perfurada (Figura 4.15).



Figura 4.15: Foto da montagem da placa Arduino e placa perfurada.

4.3 Transmissão e Armazenamento dos Dados

A coleta automatizada dos dados ambientais e nutricionais na estufa foi viabilizada por meio da integração entre uma placa Arduino Mega 2560 e um módulo ESP8266. O Arduino é responsável pela leitura dos sensores instalados nos reservatórios e nas bancadas, enquanto o ESP8266 atua na comunicação com a internet, transmitindo os dados coletados para a plataforma em nuvem ThingSpeak. A comunicação entre os dois microcontroladores ocorre por meio da interface serial, utilizando protocolo simples baseado em comandos e respostas textuais. A Figura 4.16 apresenta uma visão esquemática do fluxo completo de dados no sistema.

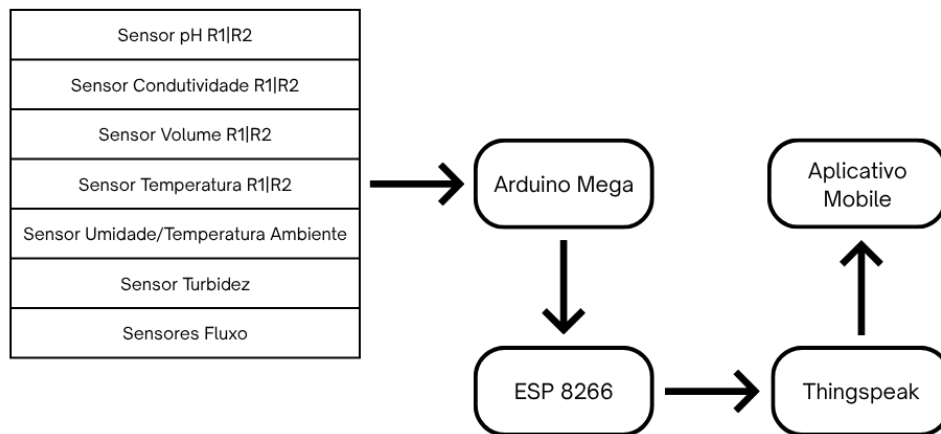


Figura 4.16: Esquema do fluxo de dados entre sensores, microcontroladores e plataformas.

A aquisição dos dados é realizada integralmente na placa Arduino Mega 2560, que está conectada aos sensores responsáveis por monitorar as variáveis relevantes ao cultivo, como pH, temperatura da solução, condutividade elétrica, umidade relativa do ar, turbidez da água de abastecimento, volume dos reservatórios e presença de fluxo nos perfis hidropônicos.

A cada 20 segundos, o módulo ESP8266 envia um comando simples — o caractere ‘L’ — via comunicação serial, solicitando uma nova leitura completa. Ao receber esse comando, o Arduino executa todas as rotinas de leitura dos sensores, processa os valores obtidos e monta uma string única contendo os dados, com cada valor precedido por uma chave de identificação específica. Essa string é então enviada de volta ao ESP8266, que se encarrega de interpretá-la e realizar o envio à plataforma ThingSpeak. A Tabela 4.1 apresenta um exemplo de resposta gerada pelo Arduino.

Tabela 4.1: Exemplo de resposta enviada pelo Arduino e interpretação dos dados

String resposta: T:25.3 U:61.7 TUR:321.5 TRESR1:24.9 TRESR2:25.1 PHR1:6.4 PHR2:6.5 CR1:1021.7 CR2:980.4 VOLR1:312.7 VOLR2:308.4 B1C1:0 B1C2:0 B1C3:1 B1C4:0 B1C5:1 #		
Chave e valor	Tradução da chave	Valor recuperado
T:25.3	Temperatura ambiente (°C)	25.3
U:61.7	Umidade relativa do ar	61.7
TUR:321.5	Turbidez da água de abastecimento (NTU)	321.5
TRESR1:24.9	Temperatura da solução no reservatório 1 (°C)	24.9
TRESR2:25.1	Temperatura da solução no reservatório 2 (°C)	25.1
PHR1:6.4	pH da solução no reservatório 1	6.4
PHR2:6.5	pH da solução no reservatório 2	6.5
CR1:1021.7	Condutividade elétrica no reservatório 1 (µS/cm)	1021.7
CR2:980.4	Condutividade elétrica no reservatório 2 (µS/cm)	980.4
VOLR1:312.7	Volume da solução no reservatório 1 (litros)	312.7
VOLR2:308.4	Volume da solução no reservatório 2 (litros)	308.4
B1C1:0	Fluxo no perfil 1 da bancada 1 (1 = fluxo presente)	1
B1C2:0	Fluxo no perfil 2 da bancada 1 (0 = fluxo ausente)	0
B1C3:1	Fluxo no perfil 3 da bancada 1	1
B1C4:0	Fluxo no perfil 4 da bancada 1	0
B1C5:1	Fluxo no perfil 5 da bancada 1	1

Durante a aquisição, cada valor lido pelos sensores passa por uma etapa de verificação para garantir sua validade. Essa verificação é feita diretamente no código do Arduino, por meio de uma função que identifica leituras inválidas, como valores *NaN* (*not a number*) ou fora dos intervalos esperados, e os substitui por um marcador padrão de erro: -999. Esse valor sentinela é utilizado em todo o sistema como indicador de falha de leitura, permitindo que tanto o ESP8266 quanto os sistemas posteriores consigam ignorar ou sinalizar adequadamente os dados comprometidos. Além de cobrir falhas ocasionais de

leitura, o valor sentinela também contempla situações de falha física dos sensores (como queima) ou problemas de transmissão de dados causados por cabos e conectores. Essa abordagem evita a propagação de valores corrompidos ou inconsistentes, preservando a integridade da base de dados e evitando interpretações equivocadas no momento da análise ou visualização dos dados.

Para organização e melhor controle das variáveis monitoradas, foram utilizados dois canais distintos na plataforma ThingSpeak. O primeiro canal é responsável por armazenar dados de ambiente e de infraestrutura, como temperatura e umidade do ar, turbidez da água de abastecimento e os estados dos sensores de fluxo nos perfis hidropônicos. O segundo canal concentra as informações relacionadas à solução nutritiva, incluindo temperatura, pH, condutividade elétrica e volume de cada reservatório. Essa separação facilita tanto a visualização dos dados em tempo real quanto sua posterior análise individualizada.

Além da coleta e transmissão dos dados, o sistema permite a calibração remota dos sensores de pH e de condutividade elétrica. A calibração é iniciada por meio de uma requisição HTTP ao ESP8266 (servidor local), que valida os parâmetros recebidos e retransmite o comando ao Arduino via serial utilizando o protocolo textual do sistema (por exemplo, `CALPH:4`, `CALPH:7` ou `CALPH:10` para pH; e `CALEC:1413` para condutividade). Ao receber o comando, o Arduino pausa temporariamente a aquisição regular, realiza um período de estabilização do sensor e executa a leitura de múltiplas amostras, calculando a média (ou mediana) para reduzir ruído. No caso do pH, o valor de referência da solução padrão é usado para ajustar os coeficientes do modelo de conversão tensão→pH; na condutividade, o valor de referência (por exemplo, solução padrão de 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$) é utilizado para estimar e atualizar o fator de calibração do sensor. Os parâmetros resultantes são gravados na EEPROM¹⁷, garantindo persistência após reinicializações. Ao final, o Arduino envia uma resposta padronizada contendo a confirmação e os novos parâmetros, que o ESP8266 repassa ao solicitante. Esse fluxo de calibração remota representado na Figura 4.17, aumenta a precisão das leituras e viabiliza ajustes periódicos conforme o desgaste dos sensores e as condições de operação.

¹⁷EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) é uma memória não volátil presente em microcontroladores, que pode ser gravada e apagada eletricamente. Permite armazenar dados de forma permanente, mesmo após desligar o dispositivo, sendo utilizada neste projeto para manter os parâmetros de calibração dos sensores.

Considerando o escopo definido para este trabalho, optou-se por utilizar exclusivamente a plataforma ThingSpeak para a transmissão e o armazenamento dos dados coletados. Embora o sistema desenvolvido já disponha de uma estrutura de banco de dados local (PostgreSQL) devidamente configurada e com tabelas prontas para uso, essa funcionalidade será explorada em trabalhos futuros.

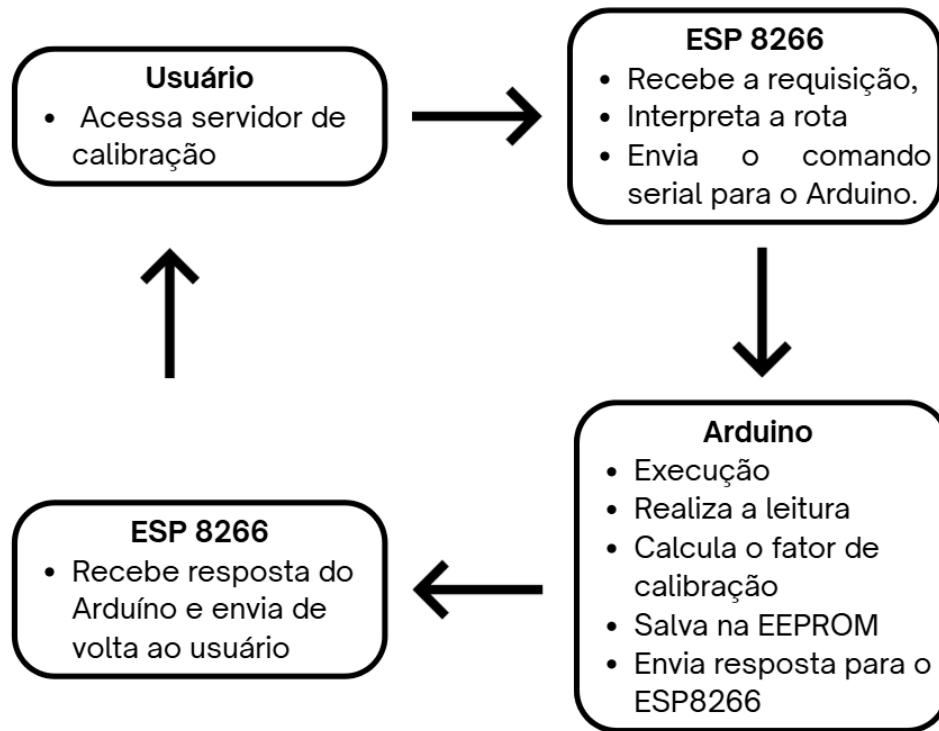


Figura 4.17: Fluxo de calibração remota dos sensores via ESP8266

4.4 Análise dos Dados

A análise dos dados coletados utilizando o sistema proposto neste trabalho desempenha um papel fundamental para atingir os objetivos propostos na Seção 1.3. Dados como a temperatura da solução nutritiva, a condutividade elétrica e o pH da solução, e a umidade relativa do ar, estão intrinsecamente relacionados ao desenvolvimento das plantas, ao controle de pragas e à qualidade do produto final, essencial em cultivos hidropônicos voltados para fins comerciais (RODRIGUES, 2002). Os efeitos de cada parâmetro na qualidade do cultivo e os valores ideais para cada um deles no cultivo hidropônico de hortaliças são apresentados em detalhes a seguir:

- **Temperatura da solução nutritiva:** a temperatura da solução nutritiva deve ser

mantida em torno de 25°C. Temperaturas mais baixas impedem a absorção de água e nutrientes, enquanto temperaturas acima de 38°C faz baixar o nível de oxigênio da solução (SANTOS et al., 2012);

- **pH da solução nutritiva:** a faixa de pH ideal para a maioria das plantas está entre 6,0 e 6,5. Além de afetar a solubilidade dos nutrientes, o pH fora da faixa ideal pode afetar diretamente as células das raízes das plantas. Valores abaixo de 4,0 (solução ácida) comprometem a permeabilidade das membranas nas células das raízes e o crescimento radicular, e valores acima de 7,5 (solução alcalina) afetam o potencial eletroquímico transmembrana e o funcionamento celular nas raízes. Nos dois casos, a absorção de nutrientes é prejudicada (RODRIGUES, 2002);
- **Umidade relativa do ar:** deve permanecer em torno de 70%. Umidade mais alta pode favorecer o desenvolvimento de doenças. Pode também causar o aparecimento de sintomas de deficiência de nutrientes, mesmo com os nutrientes disponíveis nos níveis ideais, isso devido a como a alta umidade reduz a transpiração, dificultando o deslocamento de nutrientes até as extremidades das folhas (SANTOS et al., 2012);
- **Condutividade elétrica da solução:** a condutividade elétrica interfere na quantidade de nutrientes dissolvidos na solução nutritiva e pode ser expressa em Siemens por cm (s/cm), *Microsiemens* por cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Milisiemens por cm (ms/cm) ou em p.p.m (partes por milhão). A faixa dos valores de condutividade ideal é dada em razão da espécie cultivada. Uma solução com condutividade muito baixa pode resultar em deficiência de nutrientes, prejudicando o crescimento das plantas e reduzindo a qualidade do produto. Por outro lado, uma condutividade muito alta pode levar a um acúmulo excessivo de sais na solução, danificando as raízes, prejudicando o desenvolvimento e podendo levar à morte dessa planta (RODRIGUES, 2002).
- **Volume do reservatório:** o volume da solução nutritiva disponível nos reservatórios deve ser mantido em níveis adequados para garantir o suprimento contínuo às bancadas hidropônicas. Volumes muito baixos podem indicar falhas no reabastecimento, vazamentos ou consumo excessivo, colocando em risco o fornecimento de nutrientes e água às plantas. A redução drástica do volume pode também causar

variações abruptas na concentração da solução, afetando o pH e a condutividade elétrica. O monitoramento constante do volume permite o acionamento de alertas em casos de queda significativa, prevenindo perdas e promovendo maior estabilidade no sistema (RODRIGUES, 2002).

Outro parâmetro monitorado pelo sistema proposto neste trabalho é o intervalo entre os acionamentos das bombas responsáveis por movimentar a solução nutritiva no sistema de cultivo hidropônico. Esse intervalo de acionamento é crucial para manter as raízes das plantas constantemente úmidas, garantindo a absorção contínua de água e nutrientes. As bombas devem ser acionadas a cada 30 minutos, e atrasos nesse acionamento podem resultar em danos para as plantas. A cada minuto em que as raízes ficam sem acesso à solução nutritiva, os danos ficam mais graves, podendo levar à perda da produção em um curto período, muitas vezes em questão de poucas horas (RODRIGUES, 2002).

O sistema proposto neste trabalho gera alertas aos produtores sempre que algum dos limites pré-estabelecidos for atingido. Estes limites são definidos com base nos parâmetros apresentados. Os alertas notificam os produtores sobre quaisquer desvios ou condições críticas detectadas no ambiente de cultivo. Quando um limite é ultrapassado ou um valor fora da faixa desejada é registrado, o sistema aciona automaticamente um alerta, por meio de notificações e diretamente nos *dashboards* para visualização dos dados coletados.

5 Resultados

Este capítulo apresenta os principais resultados obtidos com o desenvolvimento da solução proposta para o monitoramento de estufas hidropônicas. Inicialmente, é apresentada a visão geral do sistema, ressaltando os seus componentes e o objetivo central de fornecer ao produtor uma ferramenta simples e eficaz para o acompanhamento remoto das variáveis críticas da estufa. Em seguida, são detalhados o aplicativo mobile desenvolvido, suas funcionalidades, arquitetura de funcionamento, interface e o processo de calibração remota dos sensores. Por fim, são apresentadas algumas visualizações geradas por meio da plataforma ThingSpeak, que permitem observar a evolução dos dados ao longo do tempo, com destaque para eventos como variações na condutividade elétrica e ausência prolongada de fluxo nos canos hidropônicos.

5.1 Visão Geral do Sistema

A solução desenvolvida neste trabalho integra sensores físicos instalados em uma estufa hidropônica, uma plataforma de comunicação baseada em IoT e um aplicativo mobile para visualização e gerenciamento remoto dos dados. O sistema foi projetado com foco na simplicidade de uso, atendendo especialmente pequenos e médios produtores que, muitas vezes, não possuem familiaridade com tecnologias digitais ou recursos técnicos avançados.

Os sensores monitoram variáveis ambientais e nutricionais críticas ao cultivo hidropônico, como temperatura do ar, umidade relativa, pH, condutividade elétrica, volume da solução nutritiva, turbidez da água e presença de fluxo nos canos de cultivo. Cada um desses sensores é lido ciclicamente pelo Arduino Mega, que utiliza um intervalo de aproximadamente 15 segundos entre as leituras para equilibrar precisão e eficiência. Após cada ciclo de aquisição, os valores passam por verificações de consistência e são enviados ao módulo ESP8266, responsável pela transmissão via HTTP para a plataforma em nuvem ThingSpeak.

Na plataforma, os dados são atualizados em tempo quase real e ficam disponíveis

para consulta e análise. O aplicativo mobile consome essas informações diretamente do ThingSpeak, com o mesmo intervalo de 15 segundos, garantindo que as visualizações apresentadas ao produtor estejam sempre sincronizadas com os valores mais recentes coletados na estufa. Dessa forma, há um encadeamento contínuo: leitura no Arduino → transmissão ao ThingSpeak → atualização no aplicativo, com tempos de espera (delays) controlados para evitar sobrecarga do sistema e respeitar os limites de envio da plataforma.

Nos tópicos a seguir, são apresentadas em detalhes as funcionalidades, arquitetura e interface do aplicativo, bem como exemplos de visualizações históricas geradas na plataforma ThingSpeak, demonstrando o funcionamento completo da solução desenvolvida e implantada.

5.2 Interface do Sistema

A interface do sistema foi desenvolvida visando fornecer uma experiência simples, direta e funcional para o produtor rural, mesmo em contextos de baixa familiaridade com tecnologias digitais. Todos os elementos visuais foram pensados para comunicar rapidamente o estado da estufa, permitindo que o usuário identifique eventuais problemas com uma rápida observação.

A tela inicial do aplicativo apresenta um conjunto de *cards* que reúnem os dados mais relevantes sobre os dois reservatórios monitorados, incluindo temperatura da solução nutritiva, pH, condutividade elétrica e volume disponível. Os valores são atualizados em tempo real, com base nas leituras enviadas para a plataforma ThingSpeak, e exibidos com destaque, acompanhados por ícones temáticos que facilitam a associação de cada variável com seu respectivo parâmetro. A Figura 5.1 mostra a tela inicial com seus *cards*.

As informações exibidas na tela são atualizadas automaticamente a cada 15 segundos, com base nos dados mais recentes disponíveis na plataforma ThingSpeak. Quando um dos valores monitorados ultrapassa os limites considerados aceitáveis, o aplicativo exibe um alerta visual (Figura 5.2), e o tempo de duração da não conformidade passa a ser contabilizado. Esse tempo representa quanto tempo o sistema permanece em condição crítica, sendo reiniciado assim que uma nova leitura indica que o valor voltou ao intervalo adequado. Com isso, o produtor não somente é alertado imediatamente, mas também



1. Condutividade elétrica
2. Temperatura da solução nutritiva
3. pH da solução nutritiva
4. Volume do reservatório
5. Temperatura do ambiente
6. Umidade relativa do ar
7. Data/Hora da última atualização
8. Menu para calibração

Figura 5.1: Tela inicial do aplicativo.

pode acompanhar por quanto tempo cada problema persistiu, facilitando a priorização de ações corretivas no ambiente da estufa.

Para facilitar a identificação de desvios, cada *card* altera sua cor de fundo conforme o estado do sistema. Quando todos os valores estão nas faixas aceitáveis, o *card* permanece em azul-claro, indicando normalidade. Caso algum dos parâmetros ultrapasse os limites pré-definidos, o *card* assume uma coloração alaranjada e exibe um ícone de atenção, acompanhado de um texto explicativo indicando a causa do alerta (por exemplo, “pH abaixo do ideal” ou “ausência de fluxo em B1C3”).

Ao tocar sobre o nome de um reservatório, o aplicativo redireciona o usuário para uma nova tela dedicada, onde são apresentados, de forma mais detalhada, os dados coletados daquele reservatório específico. Essa tela exibe os valores atuais de condutividade elétrica, pH, temperatura da solução e volume disponível, além do status individual dos canos hidropônicos (Cano 1 a Cano 5), permitindo identificar rapidamente a presença ou ausência de fluxo em cada linha de cultivo (Figura 5.3). Assim que recebe do ThingSpeak



Figura 5.2: Tela inicial do aplicativo com alertas.

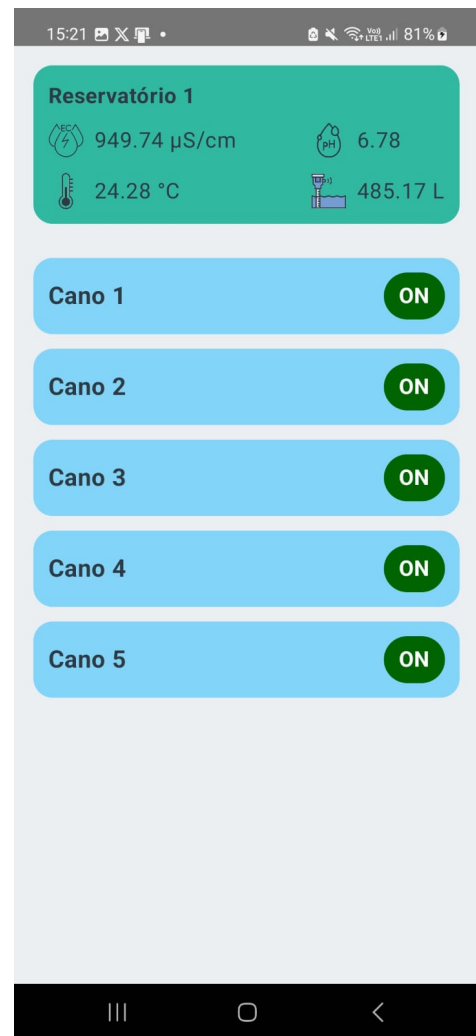


Figura 5.3: Tela de detalhes do reservatório.

a informação indicando ausência de fluxo em um dos canos, o aplicativo inicia automaticamente a contagem do tempo de duração dessa condição. Esse tempo é exibido na interface, permitindo que o produtor acompanhe há quanto tempo a falha persiste, o que contribui para intervenções mais rápidas e evita períodos prolongados sem passagem da solução nutritiva. Essa abordagem facilita a tomada de decisões em tempo real e fornece ao produtor uma visão clara e segmentada do funcionamento da estufa.

Em situações de falha prolongada de um dos sensores, ou ainda na ausência de atualização dos dados provenientes da plataforma ThingSpeak, o sistema emite automaticamente um alerta ao produtor. Dessa forma, ele é informado em tempo hábil sobre a interrupção no monitoramento, podendo identificar se a origem do problema está no sensor, na transmissão ou na própria infraestrutura de rede, e adotar as medidas corretivas necessárias.

Além do monitoramento, o aplicativo também oferece ao produtor a possibilidade de realizar calibrações remotas nos sensores de pH e condutividade elétrica. Ao selecionar a opção de calibração, o usuário é direcionado para um menu, onde pode escolher qual sensor deseja calibrar e com qual solução padrão ou valor de referência. Essa função foi incluída para reduzir a dependência de intervenções manuais diretas no sistema, oferecendo maior comodidade ao produtor e contribuindo para a manutenção da precisão das leituras ao longo do tempo. O processo completo é realizado com poucos toques, reforçando a proposta de simplicidade e praticidade no uso do sistema.

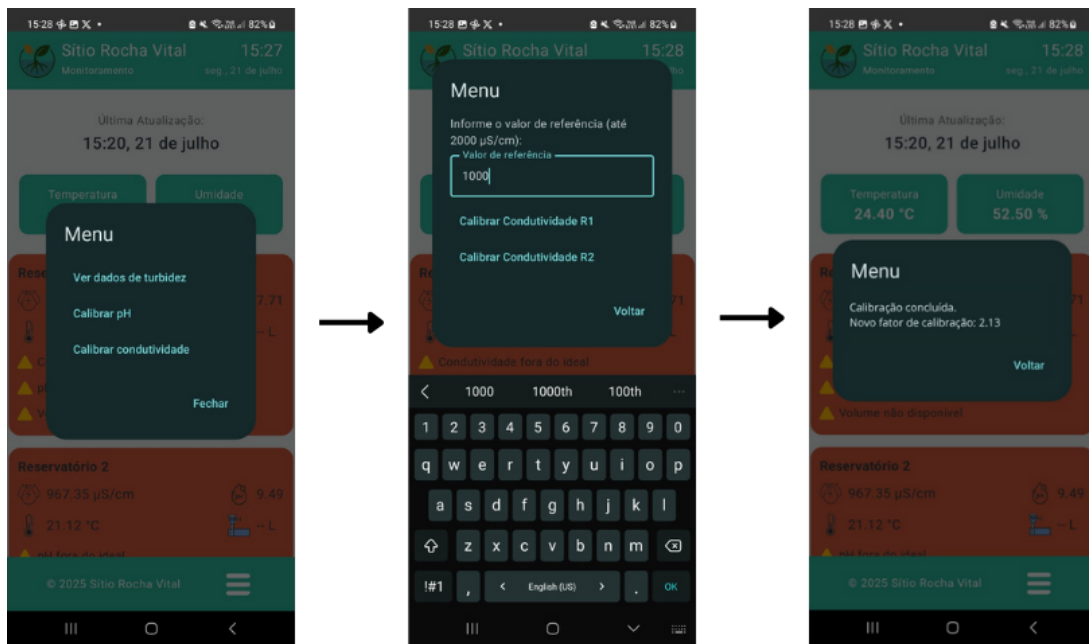


Figura 5.4: Calibração condutividade.

5.3 Aplicação Prática e Relevância para o Produtor

O sistema desenvolvido foi aplicado de forma experimental em uma estufa hidropônica real, como protótipo, monitorando dois reservatórios e uma bancada de cultivo com sensores instalados para acompanhar o fluxo da solução nutritiva. Essa aplicação parcial permitiu testar a funcionalidade completa do sistema — incluindo aquisição de dados, transmissão via ThingSpeak, visualização no aplicativo e resposta a situações críticas em um ambiente produtivo, aproximando a tecnologia da realidade do produtor.

Mesmo em fase inicial, a solução demonstrou impacto direto na rotina da propriedade. O monitoramento contínuo permitiu identificar, por exemplo, episódios de ausência

de fluxo em um dos canos por tempo superior ao limite seguro, possibilitando ação corretiva antes que ocorressem perdas significativas. Também foi detectada a entrada de ar no sistema de bombeamento, o que comprometia a distribuição da solução nutritiva.

O sistema ainda alertou o produtor sobre discrepâncias nos valores de pH, que estavam muito acima do ideal. A partir desses alertas, foi iniciada uma investigação sobre a qualidade da água utilizada no sistema. O produtor identificou que, anteriormente, a água de abastecimento possuía pH mais baixo, o que contribuía naturalmente para manter a solução nutritiva dentro da faixa adequada. No entanto, observou-se um aumento no pH da água de entrada (Figura 5.5), o que impediu que esse efeito compensatório continuasse ocorrendo. Como medida corretiva, o produtor passou a realizar ajustes manuais no pH da solução nutritiva de forma periódica, estabelecendo uma rotina de correção semanal. Essa adaptação permitiu restabelecer os níveis adequados e evitar prejuízos ao cultivo. O gráfico da Figura 5.6 mostra a redução nos níveis de pH no mês de Julho, após as intervenções feitas pelo produtor.

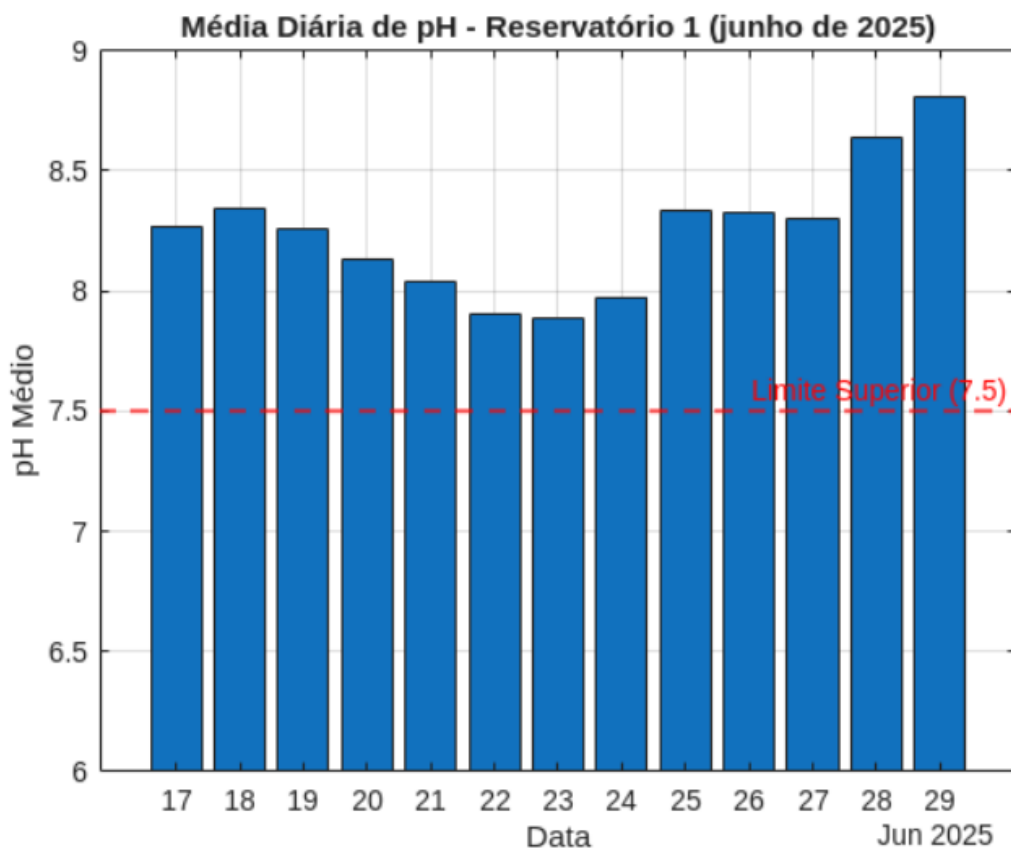


Figura 5.5: Variação do valor médio diário do pH ao longo do mês de Junho.

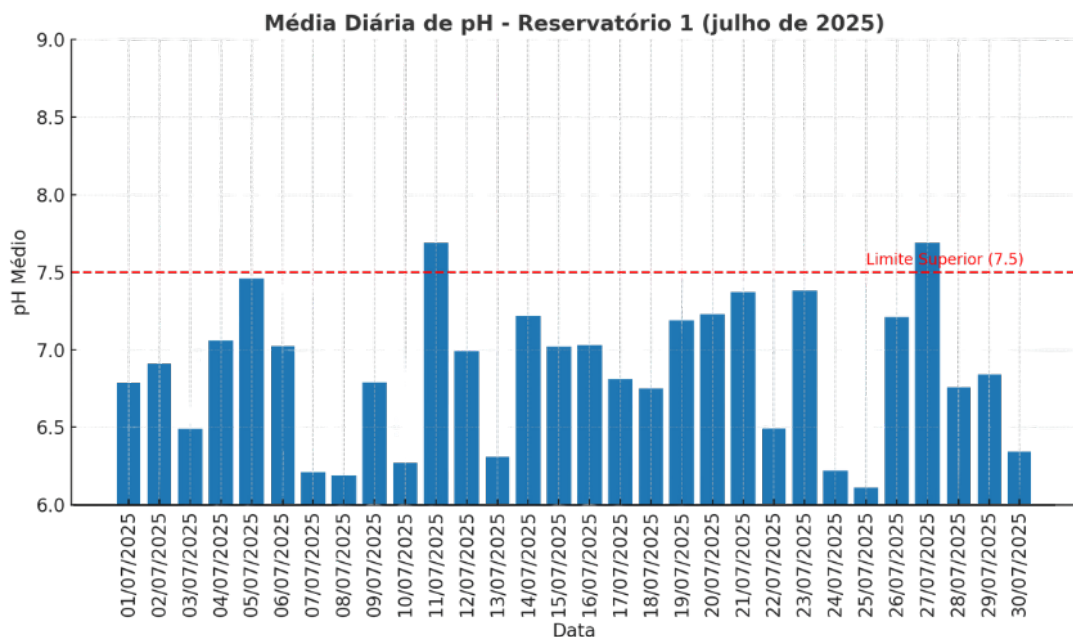


Figura 5.6: Variação do valor médio diário do pH ao longo do mês de Julho.

Além disso, foi identificada uma falha na estratégia de manutenção da condutividade elétrica (EC), uma vez que os valores estavam consistentemente elevados, conforme evidenciado na Figura 5.7. Condutividade elétrica acima dos limites ideais é particularmente prejudicial ao cultivo hidropônico, pois pode provocar queima das raízes, dificultar a absorção de nutrientes pelas plantas e favorecer o surgimento de patógenos.

O alerta visual exibido no aplicativo permitiu ao produtor perceber o problema com antecedência e buscar orientação especializada. Após consultar um profissional do ramo da hidroponia, foi recomendado ao produtor que mantivesse os valores de EC mais baixos, especialmente durante períodos de clima frio, como forma de evitar o agravamento dos sintomas de estresse nas plantas. Essa orientação foi motivada por episódios observados de amarelamento das folhas e podridão radicular, atribuídos aos altos valores de EC registrados anteriormente.

Como resultado, o produtor passou a adotar uma nova estratégia de controle, reduzindo a concentração da solução nutritiva em dias mais frios. A Figura 5.8 mostra a média diária da condutividade elétrica no mês seguinte, evidenciando uma queda significativa nos valores e um maior controle sobre o parâmetro, alinhando-se às boas práticas recomendadas para o cultivo.

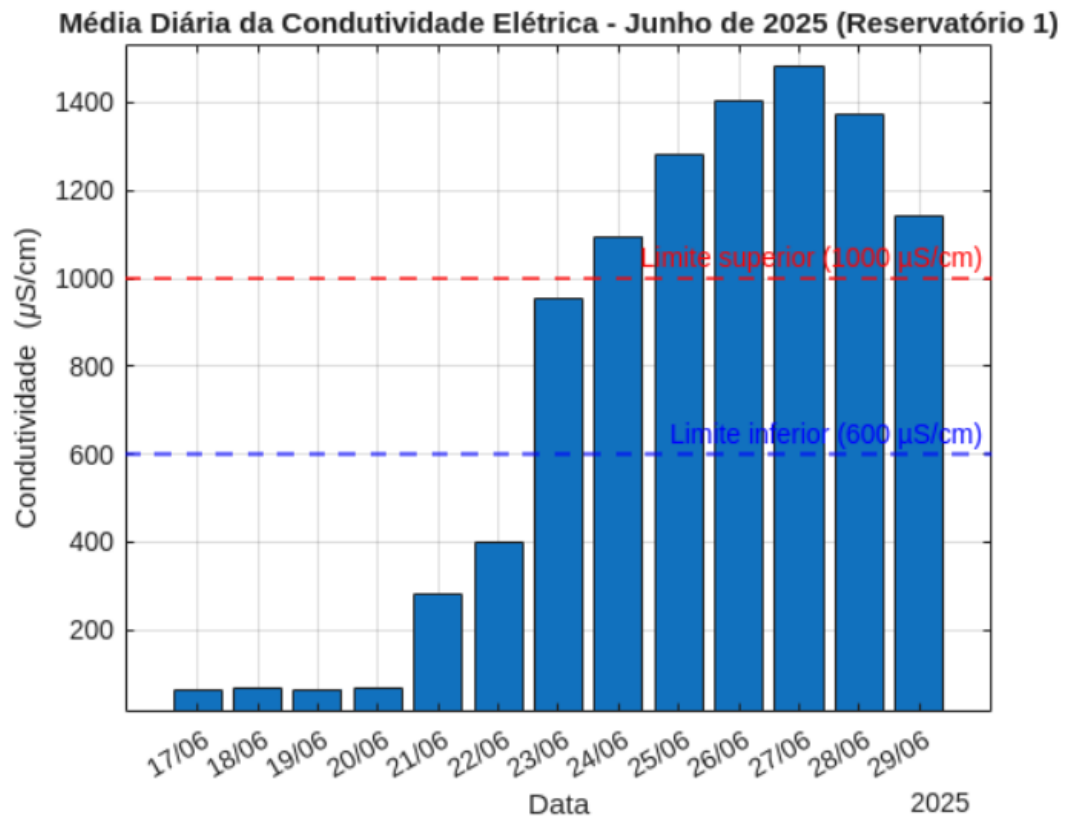


Figura 5.7: Variação da média diária da condutividade elétrica ao longo do mês de Junho.

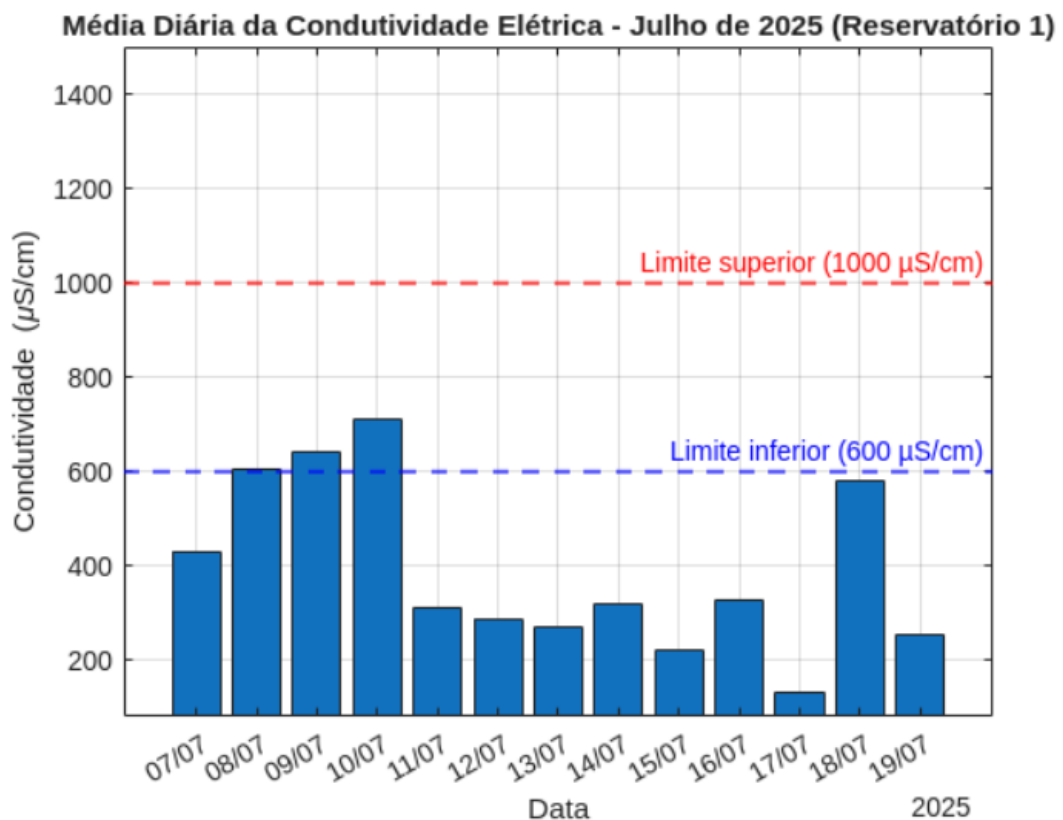


Figura 5.8: Variação da média diária da condutividade elétrica ao longo do mês de Julho.

5.4 Considerações Finais do Capítulo

Os resultados apresentados neste capítulo demonstram que a solução desenvolvida atendeu aos objetivos propostos. Mesmo em fase de prototipação, a integração entre sensores físicos, plataforma em nuvem e aplicativo mobile mostrou-se eficaz no monitoramento contínuo de variáveis críticas da estufa hidropônica, promovendo maior controle sobre as condições de cultivo.

O aplicativo, com sua interface simples e intuitiva, permitiu ao produtor identificar rapidamente não conformidades e tomar decisões informadas, com destaque para a detecção de falhas no fluxo de solução, desvios no pH e condutividade elétrica fora dos padrões ideais. Os alertas em tempo real e a contabilização do tempo de falha tornaram a ferramenta ainda mais prática e funcional no dia a dia do manejo.

As visualizações gráficas extraídas da plataforma ThingSpeak reforçaram o papel do sistema como apoio à tomada de decisão, permitindo a análise de tendências e o acompanhamento de mudanças ao longo do tempo. As intervenções realizadas pelo produtor com base nas informações coletadas evidenciam a aplicabilidade da solução em contextos reais de produção.

Dessa forma, o sistema desenvolvido se configura como uma ferramenta de apoio valiosa para pequenos e médios produtores, oferecendo automação acessível, aumento da eficiência e melhoria no controle das variáveis do cultivo hidropônico. Os resultados obtidos validam a proposta do trabalho e apontam caminhos promissores para futuras melhorias e expansões.

6 Considerações Finais

Este trabalho teve como objetivo desenvolver uma infraestrutura baseada em IoT para monitoramento e coleta de dados em uma estufa hidropônica, além de analisar os dados obtidos. Para isso, o projeto foi dividido em três eixos principais: o projeto físico e a instalação do sistema; a coleta e análise dos dados do ambiente e de nutrição; e o desenvolvimento de uma interface mobile para visualização remota dessas informações.

Os objetivos propostos foram alcançados: o sistema foi projetado, desenvolvido e implantado para testes em campo, com sucesso na coleta e transmissão dos dados via rede Wi-Fi, além da visualização em tempo real através de um aplicativo dedicado. A análise dos dados demonstrou a utilidade da solução no acompanhamento de parâmetros críticos como condutividade elétrica, pH, temperatura e fluxo nos perfis hidropônicos.

Do ponto de vista social, este trabalho propõe uma solução de baixo custo, modular e adaptável, especialmente útil para propriedades familiares que não dispõem de recursos para contratação de mão de obra especializada. Um sistema como este pode contribuir significativamente para a sustentabilidade econômica e ambiental dessas produções, promovendo autonomia tecnológica no campo. Ressalta-se que os Sistemas de Informação se apoiam em três pilares fundamentais — o tecnológico, o organizacional e o social — e este trabalho está situado justamente na interseção entre esses pilares, promovendo inovação com impacto direto no cotidiano do pequeno produtor rural (ARAUJO, 2023).

6.1 Limitações e Potencial para Trabalhos Futuros

Embora o sistema desenvolvido tenha demonstrado sua utilidade prática no monitoramento de variáveis críticas em estufas hidropônicas, algumas limitações devem ser consideradas.

A principal limitação diz respeito ao seu caráter reativo. O sistema é projetado para notificar o produtor após a ocorrência de desvios nos parâmetros monitorados, mas não realiza intervenções automáticas no ambiente. Assim, a correção dos problemas ainda

depende da atuação humana, o que pode representar riscos em situações de resposta tardia.

Outra limitação importante está relacionada à dependência da conexão com a internet. Atualmente, não há um mecanismo de armazenamento local que garanta a preservação dos dados em caso de falha temporária na conexão com a plataforma ThingSpeak. Isso pode ocasionar a perda de leituras em momentos críticos, comprometendo a continuidade da análise.

Além disso, o sistema ainda exige uma quantidade significativa de cabeamento para a conexão dos sensores. Essa estrutura, apesar de funcional, pode dificultar a manutenção e a escalabilidade da solução, especialmente em ambientes maiores.

Como desdobramentos futuros, propõem-se os seguintes aprimoramentos:

- **Ampliação da área monitorada:** o sistema pode ser estendido para abranger mais reservatórios e bancadas, aumentando sua cobertura e utilidade prática.
- **Armazenamento local temporário:** evoluir a solução sob a perspectiva do paradigma *Edge-Fog-Cloud*. A implementação de buffers de dados na memória dos microcontroladores permitiria armazenar leituras temporariamente e reenviá-las à nuvem assim que a conexão fosse restabelecida, evitando perda de informações.
- **Melhoria na infraestrutura física:** pretende-se reduzir ou eliminar a necessidade de cabeamento, adotando placas Arduino menores e mais distribuídas, com uma unidade instalada por reservatório, o que traria mais flexibilidade e modularidade ao sistema.
- **Ação automatizada no ambiente:** a inclusão de mecanismos de atuação direta, como o reabastecimento automático dos reservatórios, permitiria respostas imediatas a certos eventos críticos, elevando o sistema de um nível reativo para um nível pró-ativo.
- **Análise preditiva:** a integração com ferramentas de *Business Intelligence* (BI), algoritmos de aprendizado de máquina e inteligência artificial pode possibilitar a identificação de padrões complexos, previsão de falhas e geração de recomendações otimizadas para o manejo do cultivo.

- **Interface web e integração com outras plataformas:** além do aplicativo mobile, uma interface web acessível via navegador pode facilitar a visualização e análise histórica dos dados. A integração com plataformas como Grafana ou Power BI também poderá ampliar as capacidades de análise.
- **Acompanhamento multiusuário:** incluir suporte para múltiplos usuários com diferentes níveis de acesso (produtor, técnico, consultor) pode enriquecer o processo de tomada de decisão.
- **Armazenamento histórico dos dados:** estruturar um repositório dedicado para manter o histórico completo das leituras, permitindo consultas retroativas, comparações sazonais e análises de longo prazo sobre o desempenho do cultivo.

Essas evoluções tornam o sistema mais robusto, inteligente e autônomo, contribuindo para um cultivo mais eficiente e sustentável, especialmente para pequenos e médios produtores que enfrentam limitações de mão de obra e recursos financeiros.

Bibliografia

ABDALA, M. C. Desenvolvimento de uma plataforma iot sob a arquitetura de computação em névoa para agricultura de precisão. *Dissertação(Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná*, <https://tede.unioeste.br/handle/tede/6278>, 2022.

AGROLINK, A. *Plantio em estufa com alta tecnologia eleva até 30% a produtividade*. 2021. https://www.agrolink.com.br/noticias/plantio-em-estufa-com-alta-tecnologia-eleva-ate-30-a-produtividade_445682.html. Acesso em: 01/05/2023.

ALPINO MAIRA LOPES MAZOTO, D. C. d. B. C. M. d. F. Tais de M. A. Os impactos das mudanças climáticas na segurança alimentar e nutricional: uma revisão da literatura. *Cien Saude Colet*, <https://cienciaesaudecoletiva.com.br/artigos/os-impactos-das-mudancas-climaticas-na-seguranca-alimentar-e-nutricional-uma-revisao-da-literatura/17822?id=17822id=17822>, 2020.

ANTERYX. *Data Analytics*. 2023. <https://www.alteryx.com/glossary/data-analytics>. Acesso em: 03/05/2023.

ARAÚJO, R. *Vamos ampliar nossa visão sobre Sistemas de Informação?* 2023. Acesso em: 22 jul. 2025. Disponível em: <https://horizontes.sbc.org.br/index.php/2023/06/vamos-ampliar-nossa-visao-sobre-sistemas-de-informacao/>.

ARBEX, W. *Elementos de Modelagem Analítica e Ciência de Dados para Tomada de Decisão*. 2023. <https://classroom.google.com/u/1/c/NTQxMDEzNzc1MzM3>. Acesso em: 03/05/2023.

ARDUINO. *What is Arduino?* 2018. <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. Acesso em: 10/06/2023.

BORBA, J. C. de et al. Estufas inteligentes e eficientes energeticamente: uma análise descritiva da literatura. *Revista e-TECH: Tecnologias para Competitividade Industrial*, <https://etech.sc.senai.br/revista-cientifica/article/view/1191/100>, v. 15, n. 2, 2022.

CARIJO, N. M. O. A. Princípios de hidroponia. *Embrapa Hortalicas. Circular Técnica*, <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/769981>, 2000.

DHAL, S. B. et al. An iot-based data-driven real-time monitoring system for control of heavy metals to ensure optimal lettuce growth in hydroponic set-ups. *Sensors*, <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/1/451>, 2023.

ELDER, J. *The Internet's First Smart Device—John Romkey's 'smart' toaster*. 2019. Acessado em 19 de agosto de 2025. Disponível em: https://blog.avast.com/the-internets-first-smart-device?utm_source=chatgpt.com.

ELETROGATE. *Módulo Sensor de Distância Ultrassônico HC-SR04*. 2023. <https://www.eletrogate.com/modulo-sensor-de-distancia-ultrassonico-hc-sr04>. Acesso em: 11/07/2025.

- ELETROGATE. *Módulo WiFi ESP8266 NodeMcu ESP-12E*. 2023. <<https://www.eletrogate.com/modulo-wifi-esp8266-nodemcu-esp-12e>>. Acesso em: 10/06/2023.
- EMBRAPA. *Avanço da ciência de dados e big data, inteligência artificial, aprendizado de máquina e cooperativas de dados*. 2018. <<https://www.embrapa.br/en/visao-de-futuro/agrodigital/sinal-e-tendencia/big-data-na-agricultura>>. Acesso em: 10/06/2023.
- Embrapa. *AgDataBox: Plataforma de Integração de Dados Agroclimáticos*. 2023. Acesso em: 18 ago. 2025. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agdatabox>>.
- Encyclopaedia Britannica. *Etymology*. 2025. Acesso em: 18 ago. 2025. Disponível em: <<https://www.britannica.com/topic/etymology>>.
- EVANS, D. *A Internet das Coisas: Como a próxima evolução da Internet está mudando tudo*. 2011. <https://www.cisco.com/c/dam/global/pt_br/assets/executives/pdf/internet_of_things_iot_ibsg_0411final.pdf>. Acesso em: 10/06/2023.
- FITRI, A. et al. Smart farming for poultry leveraging chicken raising with low cost iot-based information systems. *Procedia Computer Science*, <<https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.050>>, v. 179, p. 688–696, 2021.
- Google Firebase. *Firebase Documentation*. 2025. Acesso em: 18 ago. 2025. Disponível em: <<https://firebase.google.com/docs>>.
- Grafana Labs. *Grafana: The open observability platform*. 2025. Acesso em: 18 ago. 2025. Disponível em: <<https://grafana.com>>.
- HIDROPONIA, P. *A Hidroponia*. 2023. <<https://plataformahidroponia.com/a-hidroponia/>>. Acesso em: 02/05/2023.
- HUANG, W.-C. et al. A modularized iot monitoring system with edge-computing for aquaponics. *IEEE Internet of Things Journal*, <<https://doi.org/10.1109/JIOT.2022.3218052>>, v. 10, n. 4, p. 3659–3669, 2023.
- IBM. *Node-RED: Low-code programming for event-driven applications*. 2025. Acesso em: 18 ago. 2025. Disponível em: <<https://nodered.org>>.
- International Society of Automation. *Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)*. 2023. Definição de SCADA. Acesso em: 18 ago. 2025. Disponível em: <<https://www.isa.org/standards-and-publications/scada>>.
- JURGENSEN, G. P. Monitoramento e automação de estufa agrícola. *io InstitucionalRepositor UFSC*, <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/237546>>, 2022.
- KARIMANZIRA, D.; RAUSCHENBACH, T. Enhancing aquaponics management with iot-based predictive analytics for efficient information utilization. *Information Processing in Agriculture*, <<https://doi.org/10.1016/j.inpa.2018.12.003>>, v. 6, p. 375–385, 2019.
- KLETTI, J. *Manufacturing Execution System: MES*. [S.l.]: Springer, 2007. Referência clássica sobre sistemas de execução da manufatura. ISBN 9783540497431.
- MANCINI, M. Internet das coisas: História, conceitos, aplicações e desafios. *Universidade Presbiteriana Mackenzie*, <https://www.researchgate.net/publication/326065859-Internet_das_Coisas_Historia_Conceitos_Aplicacoes_e_Desafios>, 2018.

- MATHWORKS. *ThingSpeak Documentation*. 2025. <<https://www.mathworks.com/help/thingspeak/>>. Acesso em: 19 ago. 2025.
- MCROBERTS, M. *Arduino Básico*. São Paulo, SP: Novatec Editora Ltda, 2011.
- MEGANTORO, P. et al. Instrumentation system for data acquisition and monitoring of hydroponic farming using esp32 via google firebase. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, <<https://www-periodicos-capes-gov-br.ez25.periodicos.capes.gov.br/index.php/acervo/buscaador.html?task=detalhes&source=all&id=W4283391679>>, 2022.
- MONK, E. F.; WAGNER, B. J. *Concepts in Enterprise Resource Planning*. 4. ed. [S.l.]: Cengage Learning, 2012. Livro-texto sobre conceitos e aplicações de ERP. ISBN 9781111820398.
- NETO, L. P. B. E. B. As técnicas de hidroponia. *Portal de Periódicos da UFPRE*, <<https://www.journals.ufrpe.br/index.php/apca/article/view/152>>, 2012.
- NOVAES, M. S. Horta vertical com sistema de monitoramento iot. *Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”*, <<https://repositorio.unesp.br/entities/publication/df68949c-c6e5-44eb-ac27-e83cfc7b50f3>>, 2022.
- OASIS. *MQTT Version 5.0 Specification*. 2019. Acesso em: 18 ago. 2025. Disponível em: <<https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/mqtt-v5.0.html>>.
- OCT, O. de Conservação da T. *Hidroponia na OCT: produção saudável e sustentável*. 2023. <<https://www.oct.org.br/comunicacao/noticia/hidroponia-na-oct-producao-saudavel-e-sustentavel/207>>. Acesso em: 03/05/2023.
- ONU, O. das N. U. *População mundial atinge 8 bilhões de pessoas*. 2022. <<https://news.un.org/pt/story/2022/11/1805342>>. Acesso em: 01/05/2023.
- PATEL, K. et al. Internet of things-iot: Definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application future challenges. *Faculty of Technology and Engineering-MSU*, <<http://www.opjstamnar.com/download/Worksheet/Day-110/IP-XI.pdf>>, 05 2016.
- PUSHPA, J.; KALYANI, S. Chapter three - using fog computing/edge computing to leverage digital twin. In: RAJ, P.; EVANGELINE, P. (Ed.). *The Digital Twin Paradigm for Smarter Systems and Environments: The Industry Use Cases*. Elsevier, 2020, (Advances in Computers, 1). p. 51–77. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065245819300464>>.
- QUEIROZ, D. M. de et al. *Agricultura digital - 2º Edição*. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2022.
- RAJASEGER, G. et al. Hydroponics: Current trends in sustainable crop production. *Bioinformation*, <<https://www-periodicos-capes-gov-br.ez25.periodicos.capes.gov.br/index.php/acervo/buscaador.html?task=detalhes&source=all&id=W4387445004>>, v. 19, n. 9, p. 925–938, 2023.
- Raspberry Pi Foundation. *Raspberry Pi Documentation*. 2025. Acesso em: 18 ago. 2025. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.com/documentation/>>.

REHMAN, A. et al. A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture. *Computer Standards Interfaces*, v. 36, n. 2, p. 263–270, 2014. ISSN 0920-5489. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920548911000353>.

ROBOTDYN. *Mega + WiFi R3 ATmega2560 + ESP8266 (32Mb)*. 2023. <https://robotdyn.com/mega-wifi-r3-atmega2560-esp8266-flash-32mb-usb-ttl-ch340g-micro-usb.html>. Acesso em: 11/07/2025.

RODRIGUES, L. R. F. *Técnicas de Cultivo Hidropônico e de Controle Ambiental no Manejo de Pragas, Doenças(Hidroponia)*. Jaboticabal, SP: Funep, 2002.

RODRIGUES, L. R. F. *IoT Architecture A Complete Guide*. [S.l.]: Canada, ON, 2019.

SANTOS, J. D. et al. Development of a vinasse nutritive solution for hydroponics. *Journal of Environmental Management*, https://www.researchgate.net/publication/233827918_Development_of_a_vinasse_nutritive_solution_for_hydroponics, 2012.

SILVA, D. A. da; MARIANO, A. B. R.; SOUSA, A. B. O. de. Development of a low-cost iot platform for data collection. *Engenharia Agrícola*, <https://www-periodicos-capes-gov-br.ez25.periodicos.capes.gov.br/index.php/acervo/buscar.html?task=detalhes&source=all&id=W4280538067>, v. 30, p. 85–96, 2022.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. *Princípios de Análise Instrumental*. 7. ed. [S.l.]: Cengage Learning, 2020. Clássica referência sobre técnicas de espectrofotometria e instrumentação analítica.

Splash Laboratório. *Peagâmetro (pHmetro): o que é, função e modelos*. 2024. Acesso em: 18 ago. 2025. Disponível em: <https://www.splabor.com.br/blog/medidor-de-ph/peagametro-qual-a-sua-funcao-e-modelos-guia-do-comprador/>.

TOTVS, E. *Smart farming: o que é, benefícios e principais tecnologias*. 2022. <https://www.totvs.com/blog/gestao-agricola/smart-farming/>. Acesso em: 11/05/2023.

USINAINFO. *Módulo 8 Dígitos com Display 7 Segmentos e Sensor de Temperatura à Prova D'água*. 2023. <https://www.usinainfo.com.br/blog/modulo-8-digitos-com-display-7-segmentos-e-sensor-de-temperatura-a-prova-d-agua/>. Acesso em: 11/07/2025.

USINAINFO. *Projeto Medidor de TDS Sensor de Condutividade da Água*. 2023. <https://www.usinainfo.com.br/blog/projeto-medidor-de-tds-arduino-para-condutividade-da-agua/>. Acesso em: 10/06/2023.

USINAINFO. *Sensor de pH Arduino + Módulo de Leitura*. 2023. <https://www.usinainfo.com.br/outros-sensores-arduino/sensor-de-ph-arduino-modulo-de-leitura-5316.html>. Acesso em: 10/06/2023.

USINAINFO. *Sensor de Turbidez – Projeto de Leitura da Qualidade da Água*. 2023. <https://www.usinainfo.com.br/blog/sensor-de-turbidez-projeto-de-leitura-da-qualidade-da-agua/>. Acesso em: 11/07/2025.

XKC-SENSOR. *XKC-Y26 Non-contact Liquid Level Sensor*. 2023. <https://www.xkc-sensor.com/detail/1428.html>. Acesso em: 11/07/2025.

.1 Apêndice A - Documentação Fotográfica da Instalação



Figura 1: Visão geral da instalação do sistema de monitoramento em estufa hidropônica, com destaque para os sensores e cabeamento.



Figura 2: Detalhe da caixa de proteção contendo a placa de controle e o roteador, com os cabos conectados aos sensores distribuídos pelas bancadas.



Figura 3: Vista frontal das bancadas hidropônicas com sistema de retorno para o reservatório. É possível observar sensores na saída de solução nutritiva.



Figura 4: Detalhe das bancadas hidropônicas com as hortaliças em desenvolvimento e fios conectados aos sensores de monitoramento.



Figura 5: Sensor de fluxo instalado na parte inferior do perfil hidropônico, responsável por detectar a passagem da solução nutritiva.



Figura 6: Outro perfil com sensor de fluxo posicionado no final da linha, monitorando a presença da solução nutritiva.



Figura 7: Detalhe dos sensores submersos no reservatório.



Figura 8: Visão geral do reservatório 1 contendo sensores de nível, temperatura, pH e condutividade elétrica da solução nutritiva.