

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
UNIDADE DE PÓS-GRADUAÇÃO, EXTENSÃO E PESQUISA
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E TECNOLOGIA EM
SISTEMAS PRODUTIVOS

EDUARDO GUILHERME DA SILVA

A EFICIÊNCIA DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADO DE BAIXO
CUSTO BASEADO NA TECNOLOGIA DE INTERNET DAS COISAS (*IoT*):
APLICAÇÃO EM UMA PROPRIEDADE AGRÍCOLA FAMILIAR

SÃO PAULO

2024

EDUARDO GUILHERME DA SILVA

A EFICIÊNCIA DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADO DE BAIXO
CUSTO BASEADO NA TECNOLOGIA DE INTERNET DAS COISAS (*IoT*):
APLICAÇÃO EM UMA AGRICULTURA FAMILIAR

Dissertação apresentada como exigência parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos, do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, no Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos, sob orientação do Prof. Dr. António César Galhardi.

Área de Concentração: Sistema produtivos

SÃO PAULO

2024

FICHA ELABORADA PELA BIBLIOTECA NELSON ALVES VIANA
FATEC-SP / CPS CRB8-10894

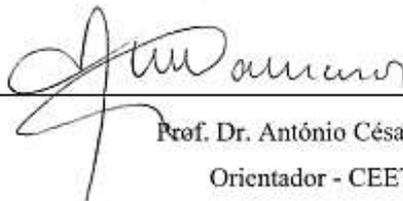
S586e Silva, Eduardo Guilherme da
A eficiência de um sistema de irrigação automatizado de baixo custo baseado na tecnologia de internet das coisas (IoT) : aplicação em uma propriedade agrícola familiar / Eduardo Guilherme da Silva. – São Paulo: CPS, 2024.
125 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Antonio César Galhardi
Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, 2024.

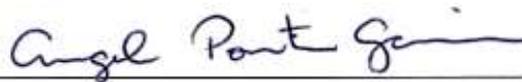
1. Internet das coisas. 2. Sustentabilidade. 3. Agricultura inteligente. 4. Sistema de irrigação automatizado. 5. Prova de conceito. I. Galhardi, Antonio César. II. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. III. Título.

EDUARDO GUILHERME DA SILVA

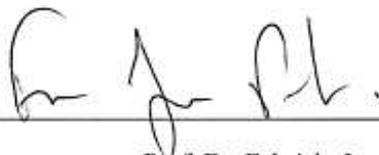
A EFICIÊNCIA DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADO DE BAIXO
CUSTO BASEADO NA TECNOLOGIA DE INTERNET DAS COISAS (IoT):
APLICAÇÃO EM UMA AGRICULTURA FAMILIAR



Prof. Dr. Antônio César Galhardi
Orientador - CEETEPS



Prof. Dr. Angel Pontin Garcia
Examinador Externo - UNICAMP



Prof. Dr. Fabricio José Piacente
Examinador Interno - CEETEPS

São Paulo, 19 de março de 2024

Minha esposa e minha querida filha desempenharam papéis fundamentais no desenvolvimento deste empreendimento acadêmico. A presença constante e o apoio incondicional de minha esposa, sua paciência, incentivo e compreensão ao longo das longas horas dedicadas a este trabalho foram essenciais para minha determinação. Seu apoio silencioso e suas palavras de encorajamento foram como um farol, guiando-me através dos momentos desafiadores.

AGRADECIMENTOS

É com imensa gratidão que expresso meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que contribuíram para a realização desta pesquisa. Este trabalho representa não apenas minha dedicação, mas também o apoio valioso que recebi ao longo desta jornada.

Aos meus estimados professores, agradeço profundamente pela orientação, conhecimento e paciência que compartilharam comigo, em especial, ao Professor Doutor António César Galhardi por suas sugestões e *insights* que enriqueceram este trabalho e me ajudaram a aprimorar minha compreensão do assunto. Suas portas sempre estiveram abertas para esclarecer dúvidas e discutir ideias, e sou grato pela oportunidade de aprender sob sua orientação.

Aos meus colegas alunos, a jornada acadêmica não teria sido a mesma sem a amizade e o compartilhamento de ideias que experimentamos juntos. Trocar opiniões e debater questões enriqueceu minha perspectiva e me incentivou a buscar excelência em meus estudos. Nossa colaboração mútua foi inestimável e me sinto privilegiado por fazer parte deste grupo tão inspirador.

Agradeço ao Sr. César, Engenheiro Agrônomo e proprietário do sítio, onde foi desenvolvida toda a pesquisa, sua paciência e inteligência, e os dias incontáveis de muita troca de informações e experiências que foram fundamentais para o sucesso deste projeto.

À minha querida família, que foi meu pilar de força inabalável. Seu amor, apoio e encorajamento constante me deram a confiança necessária para enfrentar os desafios desta jornada acadêmica. Cada conquista é, também, uma celebração de seu investimento em meu crescimento pessoal e profissional.

Este trabalho não é apenas meu, mas é o resultado da contribuição de muitas mãos e corações generosos. Cada um de vocês desempenhou um papel fundamental e sua presença se reflete em cada página deste trabalho.

"Uma mente que se abre a uma nova ideia
jamais voltará ao seu tamanho original" -
Albert Einstein

RESUMO

SILVA, E. G. A eficiência de um sistema de irrigação automatizado de baixo custo baseado na tecnologia de Internet das Coisas (IoT): Aplicação em uma agricultura familiar. 127 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos). Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2024.

Esta pesquisa foca na concepção e teste de um equipamento para automação de um sistema de irrigação de baixo custo, baseado na tecnologia de Internet das Coisas (IoT), para lavoura de frutas em uma agricultura familiar. O estudo foi conduzido em uma propriedade localizada em Vargem, interior do Estado de São Paulo, no cultivo de pêssegos, acerolas e goiabas. O Objetivo Geral da pesquisa é de otimizar e automatizar a gestão hídrica do cultivo de frutas. A abordagem metodológica adotada foi o Design Science Research, um método adequado ao desenvolvimento de artefatos capazes de solucionar problemas específicos. O sistema construído integra sensores de umidade do solo e sensores meteorológicos, que aliados a dispositivos controladores e atuadores, estabelecem uma rede interconectada por meio da tecnologia de Internet das Coisas (IoT) para automatizar o acionamento de uma bomba d'água dentro de uma faixa previamente definida de umidade do solo. Uma Prova de Conceito (PoC) foi realizada oportunamente no decorrer da pesquisa e despertou a oportunidade do desenvolvimento de um sistema que coleta dados em tempo real, que aliado à automação do processo de irrigação, permitiria ao agricultor um melhor aprendizado sobre o manejo hídrico das culturas. Os resultados dessa pesquisa revelaram benefícios significativos na adoção do sistema de irrigação automatizado. Além de ser de fácil interação com o agricultor, o dispositivo monitora e controla o suprimento hídrico do solo dentro de uma faixa parametrizada estabelecida, permite o monitoramento e registro em tempo real da umidade do solo, temperatura e umidade relativa do ar. Além disso, oferece o controle remoto do acionamento da bomba d'água, e desta forma pode contribuir para redução do desperdício de água, e promover maior sustentabilidade.

Palavras-chave: Internet das Coisas. Sustentabilidade. Agricultura Inteligente. Sistema de Irrigação Automatizado. Prova de Conceito.

ABSTRACT

SILVA, E. G. **The efficiency of a low-cost automated irrigation system based on Internet of Things (*IoT*) technology: Application in family farming. 127f.** Dissertation (Professional Master's Degree in Management and Technology in Production Systems). Paula Souza State Center for Technological Education, São Paulo, 2023.

This research focuses on the design and testing of equipment for automating a low-cost irrigation system, based on Internet of Things (IoT) technology, for fruit farming in a family farm. The study was conducted on a property located in Vargem, in the interior of the State of São Paulo, in the cultivation of peaches, acerolas and guavas. The general objective of the research is to optimize and automate water management in fruit cultivation. The methodological approach adopted was Design Science Research, a method suitable for developing artifacts capable of solving specific problems. The built system integrates soil moisture sensors and meteorological sensors, which, combined with controlling devices and actuators, establish an interconnected network through Internet of Things (IoT) technology to automate the activation of a water pump within a range previously defined soil moisture content. A Proof of Concept (PoC) was carried out opportunely during the research and gave rise to the opportunity to develop a system that collects data in real time, which, combined with the automation of the irrigation process, would allow the farmer to better learn about the water management of crops. cultures. The results of this research revealed significant benefits in adopting the automated irrigation system. In addition to being easy to interact with the farmer, the device monitors, and controls soil water supply within an established parameterized range, allowing real-time monitoring and recording of soil moisture, temperature and relative air humidity. Furthermore, it offers remote control of the water pump activation, and in this way can contribute to reducing water waste and promoting greater sustainability.

Keywords: Internet of Things. Sustainability. Smart Agriculture. Automated Irrigation System. Proof of Concept (PoC).

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Desafios para implantação da Tecnologia 5G e IoT.	24
Quadro 2- Estágios para o Desenvolvimento da Agricultura.	31
Quadro 3 - Principais vantagens da integração da IoT na agricultura.....	36
Quadro 4 - Métodos de irrigação e exemplos de seus principais sistemas.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Dados coletados.....	76
Tabela 2- Custos para desenvolvimento da Pesquisa.	81
Tabela 3 - Tabela comparativa dos Testes para Eficiência de economia de água.	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Estrutura da dissertação.	20
Figura 2- Dispositivos conectados em IoT em todo o mundo de 2015 a 2025 (em bilhões). ...	22
Figura 3 - Evolução das redes sem fio: Da 3G ao 6G.	26
Figura 4 - Evolução da Agricultura 1.0 até a Agricultura 4.0.	32
Figura 5 - Ciclo de vida da IoT na agricultura.	38
Figura 6 - Condução da pesquisa no DSR.	44
Figura 7 - Ciclo das Etapas da Pesquisa em Design Science.	45
Figura 8 - Análise da primeira bibliometria com software Publish or Perish.	47
Figura 9 - Nuvem de Palavras – primeira bibliometria.	48
Figura 10 - Árvore de similitude gerada pelo software IramuteQ para primeira bibliometria.	48
Figura 11 - Análise de Co-ocorrência de Palavras-chave - Bibliometria.	49
Figura 12 - Análise de coautoria - Bibliometria.	50
Figura 13 - Nuvem de Palavras – segunda bibliometria.	51
Figura 14 - Árvore de similitude gerada pelo software IramuteQ para segunda bibliometria.	52
Figura 15 - Linha de cultivo de goiaba.	55
Figura 16 - Local de instalação do módulo de controle IoT.	58
Figura 17 - Local escolhido para implementação física do Artefato.	58
Figura 18 - Projeto do circuito eletrônico do sistema IoT.	60
Figura 19 - Desenho para confecção da placa eletrônica.	61
Figura 20 - Imagem da placa de circuito eletrônico em 3D.	62
Figura 21 - Detalhe da placa eletrônica confeccionada.	62
Figura 22 - Detalhe da placa finalizada.	62
Figura 23 - Painel elétrico para acionamento da Bomba D'água.	63
Figura 24 - Esquema elétrico de Acionamento da Bomba d'água.	63
Figura 25 - Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) Arduino Cloud.	64
Figura 26 - Testes e ajustes do artefato	65
Figura 27- Visualização da tela do aplicativo de controle e monitoramento.	66
Figura 28 - Download do histórico de Dados do Sistema.	67
Figura 29 - Linhas de Irrigação controladas por Sistema IoT.	68
Figura 30 - Sistema 2 para coleta de Dados.	69
Figura 31 - Amostra de Solo para secagem em Estufa.	70
Figura 32 - Conexão do sensor de umidade de solo ao controlador ESP32.	71

Figura 33 - Calibragem dos Sensores Plataforma IOT Cloud.....	71
Figura 34 - Relação dos artigos selecionados na primeira Bibliometria.....	74
Figura 35 - Relação dos artigos selecionados na segunda Bibliometria.....	75
Figura 36- Montagem e implementação final do protótipo.....	75
Figura 37- Leitura de umidade de solo Sensor 1_posição 1.....	77
Figura 38- Leitura de umidade de solo sensor 2_posição 2.....	78
Figura 39 -Leitura de umidade de solo sensor 3_posição 3.....	78
Figura 40- Calibração Sensor 1.....	79
Figura 41- Calibração Sensor 2.....	79
Figura 42- Questionário de Satisfação de Usuário do Sistema de Irrigação automatizado.....	83

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
AI	<i>Artificial intelligence</i>
DSR	<i>Design Science Research</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
IBSG	Internet Business Solutions Group
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDE	Ambiente de Desenvolvimento Integrado
IoT	<i>Internet of Things</i>
LPWA	<i>Low Power Wide Area</i>
PoC	Prova de Conceito
CLP	Controlador Lógico Programável
TI	Tecnologia da Informação
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
GE	Grupo experimental
GC	Grupo de controle

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Justificativa	18
1.2 Objetivo Geral	19
1.3 Objetivos Específicos	19
1.4 Estruturação do Trabalho	20
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1 Internet das Coisas (IoT)	21
2.2 Sistemas sem fio 5G e a IoT	24
2.3 Indústria 4.0	28
2.4 Agricultura 4.0	29
2.5 Agricultura Sustentável	33
2.6 Internet das Coisas (IoT) na Agricultura	34
2.7 Irrigação e recursos hídricos	38
2.8 Design Science Research (DSR)	43
3 MATERIAIS E MÉTODOS	46
3.1 Análise Bibliométrica	46
3.1.2 Segundo Estudo Bibliométrico	50
3.2 Desenvolvimento do Artefato com apoio do método (DSR)	53
3.2.1 Etapas para a concepção do artefato com o auxílio do (DSR)	54
3.2.2 Projeto do Artefato Selecionado - Sistema de Irrigação Automatizado	57
3.2.3 Metodologia para execução dos experimentos	68
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	74
4.1 Resultados para o primeiro e segundo estudo bibliométrico	74
4.3 Resultados da Elaboração do Artefato	75
4.4 Teste de medição, controle e acionamento remoto do Sistema de irrigação	76
4.5 Resultados dos testes de calibração dos Sensores de Umidade do Solo	79
4.6 Custo para o desenvolvimento do Artefato	80
4.7 Resultados dos testes avaliação da eficiência na economia de água	81
4.8 Questionário de Avaliação de Satisfação do Usuário	82
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
5.1 Desafios e Limitações e Trabalhos Futuros	85
ANEXO 1 - Data Sheet Sensor DHT 22	91
ANEXO 2 - Data Sheet Sensor de Umidade do Solo Capacitivo	97
ANEXO 3 - Dados Técnicos da Bomba D'água Periférica	102
ANEXO 4 - Data Sheet Microcontrolador Esp32	105
ANEXO 5 - Data Sheet Fonte de Alimentação Hi-Link	115

ANEXO 6 – Tubo gotejador Amanco	118
ANEXO 7 - Algoritmo para a calibração do sensor de umidade do Solo.....	123
ANEXO 8 – Tabela lista de Materiais.....	125

1 INTRODUÇÃO

A agricultura familiar constitui uma modalidade de produção agrícola baseada na organização familiar, cujas famílias possuem a terra e os meios de produção, predominantemente emprega mão de obra de seus membros na condução das atividades agrícolas. As propriedades relacionadas à agricultura familiar costumam ser de dimensões reduzidas ou médias e encontram-se situadas em zonas rurais. Os agricultores familiares se dedicam à cultura de uma diversidade de produtos, que engloba grãos, frutas, hortaliças, além de atividades pecuárias e vegetais.

A agricultura familiar assume uma posição de destaque no contexto agrícola global, onde desempenha um papel fundamental na garantia da segurança alimentar, na promoção da criação de empregos e na preservação do meio ambiente. Além disso, esse modelo agrícola desempenha um papel significativo na promoção do desenvolvimento rural sustentável, contribuindo para a redução da pobreza e o fortalecimento das comunidades rurais. Segundo dados da FAO (2018), a agricultura familiar engloba mais de 80% das unidades agrícolas em todo o mundo, constituindo uma fonte essencial de subsistência e renda, especialmente em regiões rurais. Entretanto, a agricultura familiar enfrenta uma série de desafios, que englobam a limitada acessibilidade a recursos e insumos, a concorrência com grandes corporações agrícolas e a influência das transformações climáticas. Essas adversidades podem representar obstáculos ao sucesso e à subsistência da agricultura familiar em diversos contextos.

Recentemente, a incorporação da tecnologia no âmbito agrícola tem ganhado destaque, com o intuito de otimizar a produtividade, a eficiência e a rentabilidade das atividades no setor. No entanto, frequentemente as tecnologias agrícolas se direcionam às grandes empresas do setor, demonstrando-se pouco acessíveis ou adequadas para pequenos agricultores.

Felizmente, diversas iniciativas têm buscado tornar as tecnologias agrícolas mais acessíveis aos pequenos produtores rurais, e o presente estudo se insere nesse contexto. Tais tecnologias exploram uma ampla variedade de dispositivos, muitos deles de natureza eletrônica, cuja demanda em outros setores tem impulsionado a produção em escala, resultando em custos reduzidos. Exemplos notáveis de tecnologias de baixo custo incluem sistemas de irrigação por gotejamento automatizado com integração da Internet das Coisas (*IoT*), sistemas de cultivo hidropônico e aplicativos móveis, bem como sistemas baseados na *web* concebidos para assistir agricultores no monitoramento de suas plantações e na facilitação da tomada de decisões.

Além disso, é importante destacar que programas governamentais e organizações não

governamentais têm desempenhado um papel fundamental na oferta de treinamento e assistência técnica direcionados aos pequenos produtores rurais, com o objetivo de capacitá-los a utilizar de maneira eficaz essas tecnologias agrícolas. Adicionalmente, tais programas podem facilitar o acesso a recursos financeiros, incluindo crédito, possibilitando investimentos significativos a essas tecnologias.

No contexto brasileiro, o Ministério da Agricultura e Pecuária, por intermédio da Lei 11.326 de 2006, conceitua a agricultura familiar como um empreendimento rural de caráter familiar, operando em propriedades de dimensões limitadas, compreendendo até quatro módulos fiscais e sob administração exclusiva da unidade familiar. Com base nos dados do último Censo Agropecuário conduzido pelo IBGE em 2017, observou-se que mais de 77% das propriedades rurais no Brasil estão classificadas sob a categoria de agricultura familiar.

Na perspectiva da agricultura familiar, a Internet das Coisas (*IoT*) apresenta um potencial substancial para contribuir de maneira significativa ao apoiar os agricultores na tomada de decisões fundamentadas visando aprimorar a produtividade e qualidade. A *IoT* possibilita a otimização na alocação de recursos, a redução de despesas e o aprimoramento da qualidade dos produtos agrícolas.

De acordo com Sengupta *et al.* (2021), a *IoT* pode ser aplicada para aprimorar a gestão do uso da água em sistemas de irrigação, bem como para monitorar variáveis relacionadas ao solo, umidade e os níveis de água subterrânea. Como exemplo, sensores de umidade do solo permitem um controle preciso da irrigação por meio de leituras instantâneas dos parâmetros essenciais, disponíveis na tela do smartphone do agricultor.

Entretanto, a efetiva implementação da Internet das Coisas (*IoT*) na agricultura familiar pode encontrar limitações associadas a diversos fatores, incluindo a acessibilidade à infraestrutura de internet em regiões rurais, a restrição de recursos financeiros e conhecimento acerca das tecnologias envolvidas, bem como a necessidade de personalização das soluções tecnológicas de acordo com as condições locais e as necessidades particulares dos agricultores familiares.

1.1 Justificativa.

A implantação de um sistema de irrigação automatizado com suporte na Internet das Coisas (*IoT*) confere ao produtor rural um controle preciso sobre variáveis cruciais no processo de produção de frutas, como a temperatura ambiente, a umidade do solo e do ar. A automação do sistema de irrigação assume uma importância fundamental, uma vez que a água é o veículo pelo qual as plantas absorvem os nutrientes essenciais para seu crescimento e, simultaneamente, o solo mantém uma regulação térmica vital para seu desenvolvimento.

A propriedade em análise encontra-se situada na cidade de Vargem, localizada na fronteira entre os estados de São Paulo e Minas Gerais. Neste contexto, a propriedade adota um modelo de produção orgânica, caracterizado por seu diferencial em relação ao sistema convencional, mediante a diversificação e rotação de culturas, a fim de mitigar a ocorrência de pragas. As plantações na propriedade abrangem uma ampla variedade de cultivos, incluindo mandioca, batata-doce, manga, limão, caqui, pêssego, goiaba, acerola e banana.

Devido às condições climáticas que se manifestam em determinadas estações do ano, algumas culturas enfrentam desafios relacionados à disponibilidade de água, particularmente durante os períodos frios e secos.

A demanda por um sistema de irrigação automatizado com *IoT* se justifica pelo fato de a escassez de água comprometer o crescimento dos frutos e seu desenvolvimento, o que tem um impacto direto na produtividade da cultura. O uso de tecnologias de sistemas de irrigação automática visa determinar o momento oportuno e a quantidade de água a ser fornecida às plantações. Vários métodos de gerenciamento da irrigação estão disponíveis, com distintos equipamentos, custos de implantação, eficácia e requerimentos de dados meteorológicos (EMBRAPA, 2021).

A irrigação automatizada com *IoT* apresenta um viés sustentável ao minimizar os efeitos do desperdício de água, tornando o controle preciso da quantidade de água essencial para evitar perdas. O fornecimento adequado de água viabiliza a produção de uma quantidade significativa de frutas, embora o montante exato produzido dependa de uma série de variáveis, como a variedade das frutas, idade e as condições climáticas.

1.2 Objetivo Geral.

O objetivo geral desta pesquisa consiste no desenvolvimento de um dispositivo eletrônico respaldado na Internet das Coisas (*IoT*), que monitora e controla a irrigação de maneira automatizada destinada as atividades agrícolas de pequenos produtores.

A implementação do sistema automatizado de irrigação abrange um conjunto de fases, que inclui a identificação das demandas e requisitos dos usuários, o desenvolvimento de um protótipo funcional, a avaliação da eficácia e usabilidade do sistema, e, por fim, a efetiva implantação e utilização prática do sistema.

1.3 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos delineados para o desenvolvimento do sistema de irrigação automática com Internet das Coisas (IoT), com o propósito de otimizar a produção de uma variedade de frutos na agricultura familiar, são os seguintes:

Projetar um sistema de irrigação automatizado, com integração da Internet das Coisas (IoT), de fácil implantação e utilização. Incorporar sensores de umidade do solo, sensores meteorológicos para monitorar e regular a irrigação das plantas de maneira eficaz.

Desenvolver uma interface de usuário amigável que permita aos agricultores monitorar e controlar a irrigação das plantas em tempo real, de maneira remota e intuitiva.

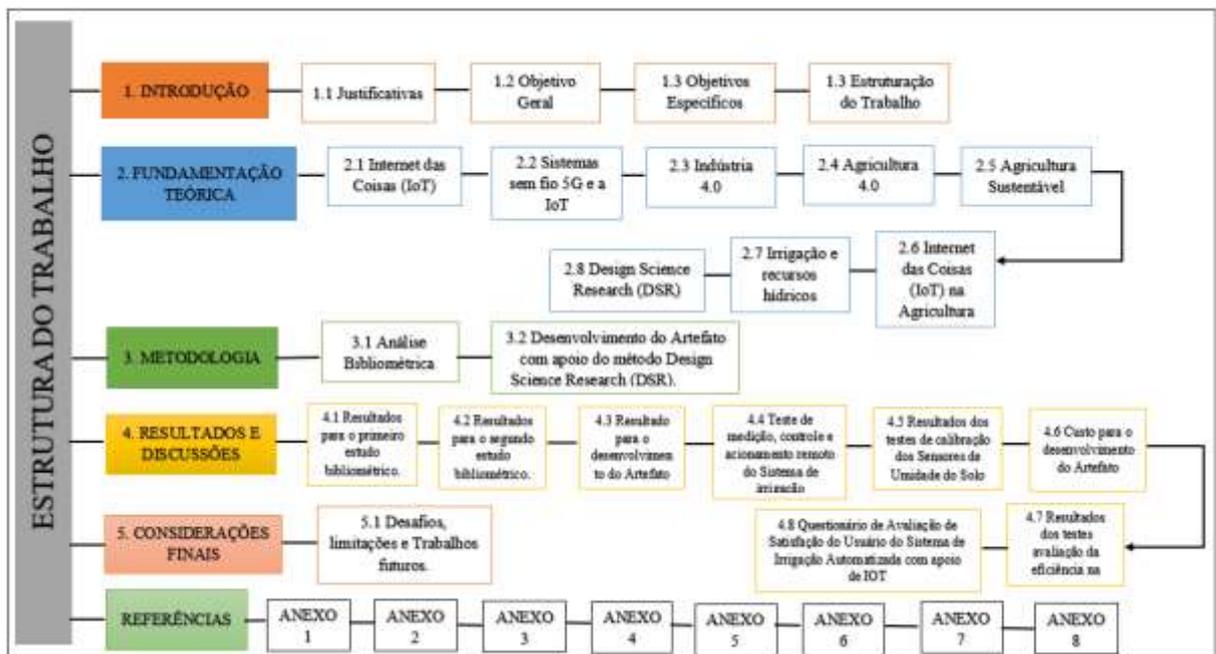
Avaliar o impacto do sistema de irrigação automatizado com Internet das Coisas (IoT) na tomada de decisão, bem como na melhoria da capacidade de planejamento e gestão da produção de frutas, com foco na eficiência e sustentabilidade.

Propor aprimoramentos e adaptações no sistema com base nas avaliações em campo opiniões dos usuários.

1.4 Estruturação do Trabalho

A Figura 1 ilustra a estruturação desta dissertação, destacando os principais tópicos e subtópicos abordados no presente estudo.

Figura 1- Estrutura da dissertação.



Fonte: o autor.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A base teórica desta pesquisa abrange diversos temas de relevância, incluindo a Internet das Coisas (*IoT*), sistemas sem fio 5G, Indústria 4.0, Agricultura 4.0, Agricultura Sustentável, Internet das Coisas (*IoT*) na Agricultura, Irrigação e recursos hídricos e *Design Science Research (DSR)*. A pesquisa explora como esses temas se relacionam para desenvolver um sistema de irrigação automatizada com *IoT* que seja eficiente, acessível e sustentável para a agricultura familiar.

2.1 Internet das Coisas (*IoT*)

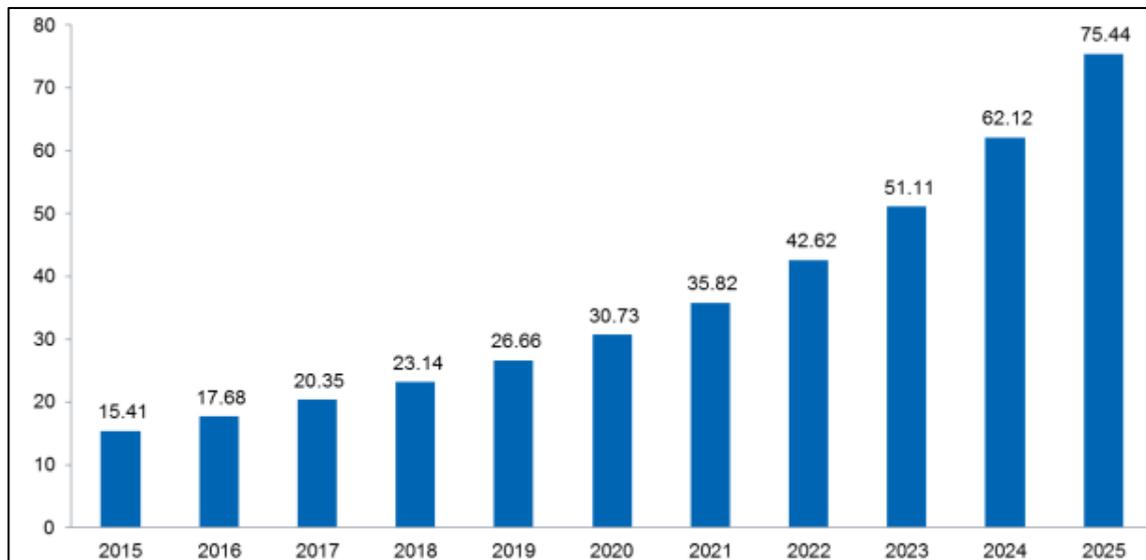
Vermesan *et al.* (2014) fornecem uma definição do termo Internet das Coisas (*IoT*) como um conceito e paradigma que considera a disseminação generalizada de objetos e dispositivos no ambiente físico, capazes de estabelecer comunicações, seja por meio de conexões com ou sem fio. Esses objetos e dispositivos colaboram para alcançar objetivos específicos, fundindo os mundos físico, digital e virtual em configurações inteligentes. Essa integração culmina na formação de configurações inteligentes que abrangem uma variedade de áreas, evidenciando a ampla aplicabilidade da *IoT* na resolução de desafios cotidianos.

A Internet das Coisas (*IoT*) viabiliza, de fato, a comunicação entre uma extensa gama de dispositivos eletrônicos, sensores e atuadores por intermédio da internet e do armazenamento em sistemas de nuvem. Um aspecto fundamental inerente à *IoT* é a automatização de processos, o que implica que dispositivos, por meio de sensores, podem coletar dados e, posteriormente, tomar decisões ou executar ações com base nessas informações, demandando mínima ou nenhuma intervenção humana. Esse avanço não somente incrementa a eficiência, mas também confere maior praticidade e qualidade de vida aos usuários.

Conforme destacado pela Lucero (2016) projeta-se que, em um cenário futuro, ocorrerá uma crescente expansão na quantidade de dispositivos conectados à internet das coisas. Estima-se que até 2025, haverá 75,4 bilhões de dispositivos interligados, essas projeções refletem uma avaliação do contexto tecnológico vigente, embora seja crucial observar que tais estimativas não incorporam os rápidos avanços e inovações que caracterizam o campo da Internet das Coisas (*IoT*). O ambiente tecnológico evolui em um ritmo acelerado, e o surgimento de novas tecnologias e inovações pode ter um impacto significativo na quantidade de dispositivos interligados.

A Figura 2 apresenta uma representação visual que demonstra a evolução projetada da quantidade de dispositivos conectados à Internet das Coisas.

Figura 2- Dispositivos conectados em *IoT* em todo o mundo de 2015 a 2025 (em bilhões).



Fonte: adaptado de IHS Markit (2016, p.7).

De acordo com Carrion e Quaresma (2019), a Internet das Coisas (*IoT*) engloba a interconexão de dispositivos físicos do mundo real à infraestrutura da Internet. Seu objetivo primordial consiste em facultar a esses dispositivos a capacidade de armazenar, compartilhar e empregar dados de maneira eficiente, estabelecendo, assim, uma rede de objetos inteligentes. Esse avanço tecnológico apresenta um potencial significativo para reconfigurar substancialmente a forma como os indivíduos vivenciam, desempenham suas atividades e interagem com o ambiente circundante.

Conforme abordado por Madushanki *et al.* (2019), a Internet das Coisas (*IoT*) representa uma tecnologia que viabiliza a comunicação entre dispositivos eletrônicos, sensores e atuadores por meio da infraestrutura da internet. A principal ênfase da *IoT* reside na minimização da intervenção humana por meio da automação de processos. Nesse contexto, dados são coletados pelos sensores e, subsequentemente, são submetidos ao processamento por um controlador, culminando na realização do processo de automação. A aplicabilidade dessa tecnologia abrange diversas esferas, desde a automação residencial até a otimização dos procedimentos na produção industrial. O potencial da *IoT* na transformação de processos e na melhoria da eficiência em variados domínios tem sido amplamente reconhecido e explorado.

Conforme apontado por Zambon *et al.* (2019), a Internet das Coisas (*IoT*) é uma convergência de conceitos fundamentais: "Internet" e "coisa". Essa fusão é elucidada por meio da análise de alguns elementos-chave que caracterizam a *IoT*, a saber: interconectividade,

prestação de serviços, diversidade (devido à variedade de dispositivos conectados a *IoT*), adaptação dinâmica e alta escalabilidade. Esses elementos compõem a base da compreensão da *IoT* e evidenciam sua complexidade e amplitude no contexto tecnológico contemporâneo. A interconexão, a diversidade e a escalabilidade da *IoT* a tornam uma área de estudo dinâmica e essencial, com potencial para redefinir as interações entre dispositivos, serviços e usuários no ambiente digital e físico.

Zambon *et al.* (2019) caracterizam a Internet das Coisas (*IoT*) com uma série de recursos essenciais que contribuem para sua funcionalidade e aplicação. Estes recursos são:

1. Interconectividade: A *IoT* possibilita a interligação de uma vasta gama de dispositivos com sistemas de comunicação global e suas infraestruturas associadas. Isso permite que dispositivos de diferentes naturezas e finalidades se comuniquem e cooperem em larga escala.

2. Serviços Relacionados a Objetos: A *IoT* tem a capacidade de fornecer serviços relacionados a objetos, dentro dos limites estabelecidos pelos próprios objetos. Isso envolve considerações de privacidade e garantia da consistência semântica entre os recursos físicos e os objetos virtuais associados a eles.

3. Heterogeneidade: Os dispositivos presentes na *IoT* são intrinsecamente heterogêneos, baseados em diversas plataformas e redes de *hardware*. Eles são capazes de interagir com outros dispositivos ou plataformas de serviço por meio de diferentes tecnologias de rede.

4. Mudanças Dinâmicas: A natureza dos dispositivos *IoT* envolve a capacidade de mudanças dinâmicas em seu status. Isso inclui conexões e desconexões em resposta ao contexto operacional, tais como localização, velocidade, quantidade de produtos, entre outros fatores. Além disso, tanto o status quanto o número de dispositivos podem sofrer variações dinâmicas.

5. Alta Escalabilidade: A *IoT* é capaz de gerenciar um número considerável de dispositivos, permitindo comunicações entre eles em grande escala. Isso implica que a infraestrutura e as soluções *IoT* são escaláveis para atender às crescentes demandas de conectividade e interação em um cenário global.

No contexto da Agricultura Inteligente, a Internet das Coisas (*IoT*) representa um conjunto abrangente de tecnologias e disciplinas de pesquisa voltadas para o apoio ao setor agrícola. Através da implementação de novos sistemas baseados em dados, compostos por sensores, atuadores, conectividade de rede, plataformas de computação em nevoeiro e na nuvem, entre outros, a *IoT* desempenha um papel fundamental (CODELUPPI *et al.* 2020). Esses sistemas têm a capacidade de coletar, encaminhar, processar e analisar dados relevantes

provenientes de diversos processos agrícolas, viabilizando a monitorização e gestão adequadas da produção agrícola e das explorações agrícolas.

2.2 Sistemas sem fio 5G e a *IoT*

Conforme observado por Chettri e Bera (2020), a conjugação do 5G e da Internet das Coisas (*IoT*) abre portas para uma ampla gama de oportunidades e vantagens. No entanto, essa interseção tecnológica também se depara com diversos desafios significativos que demandam atenção minuciosa e consideração. Os principais desafios associados à implantação bem-sucedida da Tecnologia 5G e da *IoT* são destacados de maneira concisa no Quadro 1.

Quadro 1 - Desafios para implantação da Tecnologia 5G e *IoT*.

Item	Desafios para implantação da Tecnologia 5G e <i>IoT</i>
1.	Taxa de dados de 1 a 10 Gbps em redes em tempo real: A tecnologia 5G demanda uma taxa de dados substancialmente maior em comparação com as tecnologias existentes. A necessidade de transferências de dados mais rápidas, variando de 1 a 10 Gbps, representa um aumento de 10 vezes em relação às tecnologias anteriores.
2.	Baixa Latência < 10ms: A latência extremamente baixa é uma característica essencial para as redes 5G. A meta é alcançar latência inferior a 10ms, representando uma melhoria de 10 vezes em comparação com as redes LTE. Isso é crítico para aplicações em tempo real, como veículos autônomos e cirurgias remotas.
3.	Alta largura de banda e eficiência espectral: As redes 5G requerem uma largura de banda significativamente maior e devem utilizar eficientemente o espectro disponível. Isso é possível por meio de tecnologias como antenas MIMO (Multiple Input Multiple Output) e mmWave (ondas milimétricas), bem como o uso de rádio cognitivo para aproveitar espectro licenciado e não licenciado.
4.	Baixo custo: A <i>IoT</i> depende de sensores de baixo custo para sua implantação em larga escala. É imperativo que os custos de fabricação e implantação de dispositivos <i>IoT</i> sejam mantidos em níveis acessíveis para viabilizar sua adoção generalizada.
5.	Mais dispositivos conectados: A <i>IoT</i> prevê a conectividade de um número massivo de dispositivos. Estima-se que aproximadamente 80 bilhões de dispositivos <i>IoT</i> estarão interligados em redes. Isso representa um desafio em termos de gestão de rede, segurança e escalabilidade.
6.	Maior duração da bateria: À medida que os dispositivos <i>IoT</i> se tornam mais inteligentes e complexos, o consumo de energia aumenta. Isso requer soluções para prolongar a duração da bateria e/ou fornecer fontes de energia alternativas para dispositivos remotos ou móveis.
7.	Redução de consumo de energia em quase 90%: A redução substancial do consumo de energia é fundamental para tornar as tecnologias 5G mais sustentáveis. Isso pode ser alcançado por meio da implementação de tecnologias verdes e abordagens eficazes para a conectividade massiva, como o desligamento de componentes não utilizados e a otimização do consumo de energia.

Fonte: Adaptado de Chettri e Bera, (2020).

O 5G desempenha um papel fundamental na habilitação da agricultura inteligente, proporcionando uma conectividade rápida, confiável e de baixa latência para todos os dispositivos e sistemas envolvidos. Para que os dispositivos *IoT* agrícolas funcionem, é necessária uma Internet rápida e confiável.

Chettri e Bera (2020) destacaram, em seu estudo, que os paradigmas das tecnologias

sem fio existentes, como 3G e 4G, apresentam limitações substanciais, particularmente no que diz respeito à sua capacidade de fornecer conectividade em áreas extensas caracterizadas por baixa potência de transmissão, denominadas LPWA (Low-Power Wide Area). Essas tecnologias, apesar de suas contribuições notáveis em sua concepção, demonstram deficiências significativas em termos de atendimento aos requisitos essenciais de velocidade necessários para aplicações modernas.

Nesse contexto, a ascensão da tecnologia 5G se apresenta como uma solução abrangente capaz de abordar essas demandas crescentes. A capacidade intrínseca do 5G fornece conectividade de alta velocidade em uma ampla área de cobertura não apenas atende às necessidades contemporâneas, mas também estabelece os alicerces para o desenvolvimento de uma nova geração de aplicações e serviços inovadores.

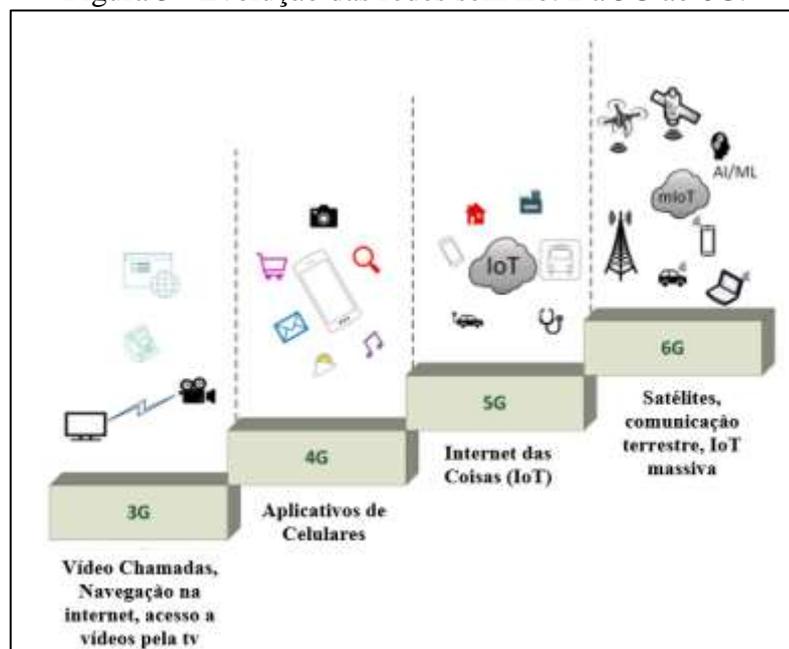
De acordo com as considerações de Tang *et al.* (2021), a conectividade nas regiões rurais, bem como em locais com alta demanda de largura de banda, revelou-se inadequada nas atuais redes móveis, gerando falhas que prejudicam a eficiência e a confiabilidade das comunicações. Em países desenvolvidos, especialmente em fazendas equipadas com dispositivos e máquinas habilitados para a Internet das Coisas (*IoT*), a necessidade de uma conectividade constante e de alta velocidade para a troca de dados tornou-se premente. As redes móveis existentes, como as da geração 4G, enfrentam dificuldades em atender a essas demandas crescentes.

A implantação abrangente da quinta geração (5G) de comunicação está atualmente em andamento em várias nações ao redor do mundo. Isso implica na necessidade premente de conduzir investigações abrangentes no campo da modelagem de canais e medições baseadas em princípios fundamentais da física. Esse esforço visa estabelecer de maneira apropriada a arquitetura que viabiliza a transmissão e a recepção dos sinais 5G com o mais alto grau de precisão, como destacado por (MOHAMED *et al.* 2021). A arquitetura das redes 5G desempenha um papel de destaque na garantia da transmissão eficiente e precisa dos sinais, e, portanto, a pesquisa nessa área é de importância crítica para assegurar a qualidade e a confiabilidade das comunicações.

A capacidade de transmitir e receber dados de forma eficaz e precisa é crucial para o sucesso da tecnologia 5G, dadas suas ambições de fornecer conectividade de alta velocidade e baixa latência em todo o mundo. Isso requer um entendimento profundo da física subjacente aos canais de comunicação sem fio, bem como a capacidade de projetar arquiteturas de rede que possam atender a essas demandas.

Mahmood *et al.* (2022), a evolução das redes sem fio é uma jornada impressionante, abrangendo várias gerações, desde a terceira geração (3G) até os prospectivos sistemas da sexta geração (6G). Como ilustrado na Figura 3, a trajetória dessa evolução é marcada por avanços significativos que ampliaram as capacidades e funcionalidades das redes sem fio, possibilitando a interconexão de dispositivos de maneira cada vez mais eficaz. O progresso tecnológico contínuo tem impulsionado a transformação das comunicações sem fio, preparando o terreno para inovações futuras em áreas que vão desde a conectividade móvel até a implementação de sistemas altamente inteligentes.

Figura 3 - Evolução das redes sem fio: Da 3G ao 6G.



Fonte: traduzido de Mahmood *et al.* (2022, p. 2)

É notável a evolução recente no âmbito das tecnologias sem fio, cujos progressos, aliados ao contínuo desenvolvimento de dispositivos de *hardware* e sistemas de software, resultaram na concretização do sistema de rede sem fio de quinta geração, comumente denominado 5G. Esse avanço tecnológico não só viabilizou o conceito da Internet das Coisas (*IoT*) como também abriu as portas para a implementação de sistemas inteligentes, como mencionado por (MAHMOOD *et al.* 2022).

Conforme observado por Damsgaard *et al.* (2022), as recentes abordagens de segmentação de rede no contexto do 5G têm suscitado considerável interesse, especialmente entre os segmentos industriais e agrícolas. Isso se deve à capacidade dessas abordagens de proporcionar uma série de benefícios sob medida para atender às demandas específicas desses setores. O conceito de segmentação de rede, nesse contexto, envolve a subdivisão da

infraestrutura do 5G em "fatias" virtuais, cada uma delas otimizada para atender a um conjunto particular de aplicativos ou requisitos. As alternativas de segmentação de rede no âmbito do 5G representam um avanço notável na personalização da conectividade, permitindo, assim, atender de forma precisa às necessidades peculiares das indústrias e atividades agrícolas.

Nesse contexto Liu *et al.* (2023) destacam que o 5G, surge como uma solução capaz de revolucionar a forma como a agricultura é conduzida. A rede 5G oferece vantagens fundamentais para a agricultura inteligente, incluindo ampla cobertura, eficiência energética, dispositivos acessíveis e eficiente utilização do espectro de frequência. Essa transição é essencial para possibilitar a implantação bem-sucedida de sistemas inteligentes na agricultura e a exploração total das capacidades da Internet das Coisas. A conectividade aprimorada que o 5G proporciona é um facilitador-chave para a agricultura moderna, permitindo a coleta e análise de dados em tempo real, controle remoto de dispositivos e otimização de processos, tudo isso contribuindo para uma agricultura mais eficiente e sustentável. Portanto, a evolução da conectividade de 4G para 5G é um passo crucial para o avanço da agricultura e a incorporação bem-sucedida de sistemas inteligentes e *IoT*.

As redes 5G se propõem a aprimorar de maneira substancial a experiência do usuário, caracterizando-se pelo notável aumento na velocidade de transmissão de dados e pela obtenção de latência extremamente baixa. Isso, por sua vez, permitirá a disponibilidade de serviços de alta qualidade, tais como transmissão de vídeo em alta definição, Internet tátil, realidade virtual e Internet das Coisas (*IoT*), como destacado por Kourtis *et al.* (2023). O progresso das redes 5G, conforme salientado por Kourtis *et al.* (2023), promete inaugurar uma revolução na experiência do usuário, ao introduzir velocidades de transmissão de dados notavelmente mais rápidas e latência extremamente reduzida.

De acordo com os estudos conduzidos por Polymeni *et al.* (2023), é possível afirmar que a Agricultura 5.0 está destinada a experimentar notáveis avanços com a integração das redes sem fio 6G. Estas redes prometem ampliar a cobertura, aumentar a taxa de transferência de dados e reduzir significativamente a latência. A implementação da tecnologia 6G na agricultura tem o potencial de revolucionar a conectividade dos sensores de Internet das Coisas (*IoT*), pavimentando o caminho para a concepção de soluções agrícolas inovadoras e inteligentes. Diversos domínios críticos na Agricultura 5.0 podem colher benefícios substanciais com a adoção da tecnologia 6G-*IoT*.

A utilização de redes 6G pode simplificar consideravelmente a incorporação de aplicações agrícolas de alta tecnologia, abrangendo o monitoramento de cultivos, a avaliação virtual de doenças de plantas, a manutenção preditiva de colheitas, o emprego de inteligência

artificial em métodos de aprendizado e modelos de previsão, a aplicação de realidade aumentada e o aprimoramento da confiabilidade das operações descentralizadas na agricultura. A iminente chegada da rede 6G promete desencadear uma revolução na Agricultura 5.0, abrindo portas para uma gama diversificada de aplicações inovadoras que têm o potencial de transformar substancialmente a prática agrícola, tornando-a mais eficiente, sustentável e orientada por dados.

2.3 Indústria 4.0

A expressão "Indústria 4.0" foi formalmente introduzida pela primeira vez na Alemanha em 2011, durante a exposição de Hannover, de acordo com (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). Este novo conceito da Indústria emergiu como resposta à necessidade de formular uma estratégia destinada a ampliar a competitividade da indústria de manufatura alemã. A Indústria 4.0 não apenas impactou significativamente o cenário industrial alemão, mas também se estabeleceu como uma referência global no contexto da transformação digital industrial. Neste contexto, é crucial compreender o papel desempenhado pela Indústria 4.0 na evolução da indústria de manufatura e suas implicações a nível global.

Conforme a definição de Zambon *et al.* (2019), a primeira revolução industrial teve início por volta de 1780 com a introdução de instalações de produção mecanizada movidas a vapor. Cerca de trinta anos após esse marco, a primeira linha de montagem mecânica operada por eletricidade foi estabelecida, marcando o advento da manufatura em massa e o início da segunda revolução industrial. O surgimento do primeiro Controlador Lógico Programável (CLP) no final da década de 1960 marcou o início da terceira revolução industrial. Nesse momento, a automação das linhas de produção se tornou possível por meio da incorporação de eletrônica e Tecnologia da Informação (TI). Essas sucessivas revoluções industriais representam momentos críticos na história da indústria, cada uma impulsionando o progresso tecnológico e transformando fundamentalmente os métodos de produção de produtos. Esta evolução ao longo do tempo é crucial para compreender como a indústria se transformou até os dias atuais e para antecipar as perspectivas da Indústria 4.0 no contexto das mudanças tecnológicas em curso.

Segundo Kadar, Sameon e Rafee (2019), apesar dos novos desafios enfrentados, a produtividade na indústria agrícola estão declinando de forma significativa. Contudo, com a ascensão da Indústria 4.0, a prática agrícola tradicional está passando por uma transformação para o que é agora conhecido como "Agricultura Inteligente". Nesse novo paradigma, os

agricultores têm a capacidade de integrar suas operações e gerenciá-las por meio de tecnologias de ponta, tais como sensores, análise de big data, computação em nuvem e Internet das Coisas (*IoT*).

A Indústria 4.0, conforme discutido por Pivoto *et al.* (2019), representa uma abordagem contemporânea que engloba automação avançada e interconexão de sistemas em ambientes de fabricação. Este conceito abarca uma série de tecnologias, tais como sistemas cyber físicos, Internet das Coisas (*IoT*), computação em nuvem e computação cognitiva, que convergem para promover eficiência e inteligência nos processos industriais. Os fundamentos da Indústria 4.0 derivam de progressos em diversos campos, notavelmente engenharia de software e ciência da computação, que têm propiciado uma proliferação da computação virtualmente onipresente. Isso tem viabilizado o surgimento de ambientes inteligentes em múltiplos setores, inclusive na agricultura, que têm se apropriado dos conceitos inerentes a esse paradigma.

Recentemente, a Indústria 4.0 tem se voltado para um objetivo comum: integrar tecnologias modernas com as demandas do setor agrícola, visando minimizar o impacto ambiental por meio do uso de fontes de energia renováveis (VISCONTI *et al.*, 2020). Para enfrentar os desafios da agricultura inteligente e sustentável, é imperativo uma análise mais aprofundada dos complexos ecossistemas agrícolas. Atualmente, as tecnologias digitais desempenham um papel fundamental nesse contexto, oferecendo oportunidades significativas para melhorar a sustentabilidade agrícola e auxiliar os agricultores. Por meio da capacidade de monitoramento contínuo e medição de diversas variáveis ambientais, do solo e do crescimento das culturas, as tecnologias digitais possibilitam a geração de grandes volumes de dados a um ritmo sem precedentes.

2.4 Agricultura 4.0

A Agricultura 4.0, representa uma verdadeira revolução na indústria agrícola, caracterizada pela utilização de tecnologias de ponta, tais como sensores, drones, análise de dados e automação, com o objetivo de otimizar a produção agrícola. Esta abordagem implica em uma gestão mais eficiente dos recursos naturais, como a água e os fertilizantes, ao mesmo tempo em que possibilita a adoção de práticas agrícolas mais precisas e sustentáveis. A Agricultura 4.0, portanto, configura uma transformação substancial na maneira como a atividade agrícola é conduzida, alavancando tecnologias avançadas para tornar as operações agrícolas mais eficazes, econômicas e ecologicamente sustentáveis. Esta evolução na

agricultura é de grande relevância, considerando os desafios globais relacionados à segurança alimentar, ao uso responsável dos recursos naturais e à mitigação dos impactos ambientais associados à produção agrícola.

De acordo com Rose e Chilvers (2018), a Agricultura 4.0 representa a integração das tecnologias das revoluções industriais na prática agrícola, com destaque para a automação, Internet das Coisas (*IoT*), análise de dados e robótica. Essa convergência tecnológica tem como principal objetivo impulsionar a eficiência na produção agrícola, visando otimizar o uso de recursos naturais e, ao mesmo tempo, melhorar a qualidade das colheitas e promover a sustentabilidade. A combinação e aplicação dessas tecnologias na Agricultura 4.0 têm o propósito de ampliar a eficiência dos processos, reduzir o desperdício de recursos, aprimorar a qualidade dos produtos agrícolas e, assim, contribuir para a promoção de práticas agrícolas mais sustentáveis e economicamente viáveis. A Agricultura 4.0 representa um marco significativo na evolução da agricultura, permitindo a adoção de abordagens mais inteligentes e eficazes na produção de alimentos e matérias-primas agrícolas.

De acordo com Zambon *et al.* (2019) a evolução da Agricultura 4.0 ocorre em paralelo com evoluções comparáveis na Indústria 4.0, com base em uma ideia de manufatura avançada. A Agricultura 4.0, assim como a Indústria 4.0, representa a interação interna e externa combinada das operações agrícolas, oferecendo informações em todos os setores e processos da fazenda. Mesmo na agricultura, como no setor industrial, a quarta revolução industrial representa uma grande oportunidade para considerar a variabilidade e incertezas que envolvem a cadeia produtiva agroalimentar.

A agricultura 4.0, agricultura digital ou agricultura inteligente, nasceram quando a telemática e o gerenciamento de dados foram combinados ao já conhecido conceito de Agricultura de Precisão. Como resultado, a Agricultura 4.0 é baseada nos princípios da Agricultura de Precisão a partir de sistemas que gerem dados em suas fazendas, os quais serão processados de maneira a otimizar as decisões estratégicas e operacionais. Tradicionalmente, os agricultores tomam decisões com base na experiência acumulada (SAIZ-RUBIO; ROVIRA-MÁS, 2020). A Agricultura 4.0 está em sintonia com a revolução industrial 4.0, tirando proveito das tecnologias avançadas para tornar a agricultura mais eficiente, precisa e sustentável.

Conforme a investigação realizada por Khujamatov e Toshtemirov (2020), é possível identificar quatro estágios distintos que compõem a evolução dos tipos de agricultura, como exemplificado no Quadro 2. Esses estágios representam uma estrutura conceitual essencial para compreender a progressão e as dinâmicas associadas à diversificação dos tipos de agricultura ao longo do tempo.

Quadro 2- Estágios para o Desenvolvimento da Agricultura.

Evolução dos tipos de Agricultura	Descrição
• Agricultura 1.0	O cultivo tradicional, com milênios de prática, foi historicamente conduzido por seres humanos com o auxílio de animais, e visava a produção de alimentos para subsistência. Este método agrícola se baseava na harmonização com a natureza, empregando recursos naturais como fertilizantes, pesticidas e técnicas de controle de ervas daninhas para suprir todas as necessidades de produção, proporcionando uma coexistência sustentável com o ambiente.
• Agricultura 2.0	A partir do século vinte, um notável desenvolvimento na agricultura foi observado, impulsionado por pesquisadores e técnicos agrícolas que buscavam estratégias para aumentar a produtividade agrícola enquanto reduziam a dependência da força de trabalho humana. Isso culminou na mecanização de métodos de cultivo, incorporando máquinas agrícolas e veículos motorizados, com o objetivo de alcançar níveis mais elevados de eficiência e produtividade na agricultura. Essa transição representou um marco significativo na evolução da agricultura, permitindo o aumento da produção de alimentos e matérias-primas agrícolas em escala global.
• Agricultura 3.0	No contexto da agricultura moderna, o impacto das condições climáticas desempenha um papel fundamental na produção de diversos produtos agrícolas, que abrangem grãos, vegetais, frutas, produtos lácteos e carne animal. Nesse cenário, a agricultura contemporânea adota uma abordagem organizada e orientada pela utilização de maquinários e tecnologias avançadas, possibilitando um maior controle dos processos de produção. Esse enfoque visa a otimização e automação dos sistemas produtivos, de forma a assegurar que os produtos agrícolas sejam entregues ao consumidor de maneira eficaz e eficiente. Essa integração de tecnologias e práticas de gestão representa um avanço significativo na agricultura moderna, contribuindo para o aumento da produtividade e a garantia de qualidade dos produtos agrícolas.
• Agricultura 4.0	A incorporação da tecnologia desempenha um papel cada vez mais crucial nesta etapa da evolução da agricultura, especialmente com a aplicação da Inteligência Artificial (IA). Um exemplo ilustrativo é a capacidade de direcionar fertilizantes e produtos de proteção de forma precisa e inteligente. Além disso, a utilização de sensores para a análise do solo e a implementação de tecnologias baseadas em sensores sem fio possibilitam a troca de dados em tempo real, muitas vezes armazenados em sistemas de computação em nuvem. A interconexão e comunicação entre dispositivos e sistemas, habilitada por tecnologias inteligentes, estabelecem uma base para a colaboração de dados por meio da Internet das Coisas (<i>IoT</i>). Esse cenário tecnológico possibilita uma agricultura mais eficiente, precisa e orientada por dados, abrindo portas para uma produção agrícola de alta qualidade e sustentável. A crescente integração da IA e das tecnologias de sensores está revolucionando a agricultura, tornando-a mais adaptável, responsiva e alinhada com as demandas da sociedade e do mercado global.

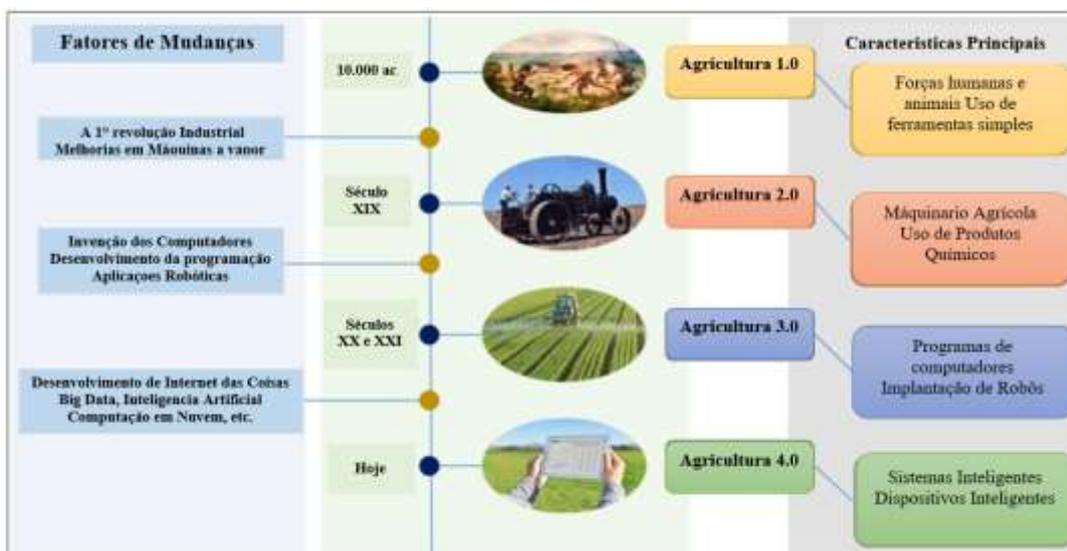
Fonte: Adaptado de Khujamatov; Toshtemirov (2020).

Zhai *et al.* (2020) destacam que a agricultura tradicional se apropriou das tecnologias das revoluções industriais, até o século dezenove, as máquinas a vapor foram melhoradas e amplamente utilizadas para fornecer novas forças em todas as esferas da vida e das indústrias, incluindo na agricultura. Isto aumentou significativamente a produtividade das atividades agrícolas, e por outro lado, trouxe consequências nocivas: contaminações químicas no campo, destruição do meio ambiente, consumo excessivo de energia, e desperdício de recursos naturais. No século vinte a agricultura 3.0 emergiu do rápido desenvolvimento da computação e da

eletrônica. Programas de computador e tecnologia robótica permitiram que as máquinas agrícolas realizassem operações de forma mais eficiente e inteligente. Essa evolução contínua da agricultura, impulsionada pelas tecnologias das revoluções industriais, é fundamental para atender às crescentes demandas por alimentos em um mundo em constante crescimento e garantir a sustentabilidade da agricultura no longo prazo.

No cenário atual, estamos testemunhando a evolução da agricultura em direção à Agricultura 4.0, impulsionada pelo emprego de tecnologias de vanguarda, como a Internet das Coisas (*IoT*), Big Data, Inteligência Artificial (IA) e Computação em Nuvem. Este movimento marca o início da era da agricultura inteligente, caracterizada pelo uso de sistemas e dispositivos dotados de inteligência, conforme ilustrado na Figura 4 (ZHAI *et al.* 2020). A Agricultura 4.0 representa um avanço qualitativo notável na produtividade agrícola, eficiência no aproveitamento de recursos e sustentabilidade. Essa transição está redefinindo a forma como a agricultura é praticada, alinhando-a com os imperativos de uma produção de alimentos mais inteligente e responsiva às demandas da sociedade moderna.

Figura 4 - Evolução da Agricultura 1.0 até a Agricultura 4.0.



Fonte: traduzido de ZHAI *et al.* (2020, p. 2)

Bolfe *et al.* (2020) destacam que a Agricultura Digital ocupa um lugar de destaque no cenário da inovação e se insere na denominada "Quarta Revolução Industrial". Seus fundamentos conceituais se enraízam nos princípios da Agricultura 4.0, que evolui a partir do paradigma da Indústria 4.0, e diz respeito à aplicação de tecnologia de ponta na produção de alimentos. Recentemente, o termo "Agricultura Inteligente" também emergiu, enfatizando um desenvolvimento que prioriza a incorporação de tecnologias de informação e comunicação ao ciclo de gestão digital das atividades agrícolas, fazendo uso extensivo de inovações como a

Internet das Coisas, computação em nuvem, inteligência artificial e análise de grandes conjuntos de dados (big data).

Em essência, a base conceitual da "Agricultura Inteligente" ou "Agricultura Digital" se origina no conhecimento científico, técnicas e equipamentos desenvolvidos no âmbito da Agricultura de Precisão, cuja trajetória teve início a partir da década de 1990. Por meio da integração de tecnologias de ponta, a Agricultura Digital e a Agricultura Inteligente desempenham um papel fundamental no enfrentamento dos desafios globais relacionados à segurança alimentar e na promoção de práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis em um mundo em constante expansão. Este movimento representa uma resposta inovadora e decisiva às demandas crescentes por alimentos de alta qualidade, produzidos de forma responsável e eficaz, para atender à população mundial em constante crescimento.

2.5 Agricultura Sustentável

Kadar, Sameon e Rafee (2019) enfatizam que a implementação de soluções baseadas na Internet das Coisas (*IoT*) tem o potencial de promover uma transformação substancial na indústria agrícola, conduzindo-a rumo à sustentabilidade. O emprego de soluções *IoT* surge como um catalisador capaz de alavancar a produtividade no setor agrícola, proporcionando um impacto significativo no desenvolvimento econômico, particularmente em países que dependem fortemente dessa indústria. A *IoT* desempenha, assim, um papel central na transição da agricultura convencional para um modelo sustentável, acarretando benefícios notáveis para a economia e a sociedade, sobretudo em regiões onde a agricultura desempenha um papel de destaque.

De acordo com Alreshidi (2019), a Agricultura de Precisão, a Irrigação Inteligente e a Estufa Inteligente, representam conceitos que compartilham a base tecnológica da Internet das Coisas (*IoT*). A Agricultura de Precisão é um método de gestão agrícola que se utiliza da *IoT* e das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) para obter dados em tempo real acerca das condições da fazenda, abrangendo aspectos como as culturas, o solo e o ambiente, com o objetivo de promover a conservação de recursos, a proteção ambiental, a sustentabilidade e, ao mesmo tempo, a lucratividade. Essas abordagens ilustram de maneira inequívoca o papel essencial desempenhado pela *IoT* na revolução da agricultura, tornando-a mais eficiente, ecologicamente sustentável e financeiramente vantajosa.

Nesse contexto, Tripathy *et al.* (2021) argumentam que os métodos tradicionais de agricultura apresentam uma série de desafios à promoção do crescimento e à nutrição das

plantas. Dificuldades, como a disponibilidade de mão de obra, a precisão na detecção de doenças, a tomada de decisões relativas ao intervalo de irrigação e a aplicação precisa de fertilizantes e agrotóxicos, representam obstáculos enfrentados pelos agricultores durante o processo de produção de alimentos. No entanto, sistemas avançados de gestão agrícola se apresentam como uma resposta para promover a agricultura sustentável, uma vez que incorporam ações necessárias para abordar esses desafios, contribuindo assim para a produção responsável e eficiente de alimentos.

Existem diversas opiniões sobre a existência e os efeitos das alterações climáticas na Terra, no entanto, não há dúvida de que muitos governos, empresas e os cidadãos estão mais conscientes em relação ao consumo sustentável. Isto não afeta apenas a visão das pessoas sobre a energia e consumo de sistemas *IoT* para irrigação, mas também, a origem dos componentes, dos dispositivos e o impacto desses dispositivos no meio ambiente e na fauna da área onde são implantados. Portanto, a redução do consumo de energia e a utilização de métodos alternativos de energia será uma tendência (GARCÍA *et al.* 2020). A tendência em direção à sustentabilidade na agricultura, impulsionada pela conscientização sobre as mudanças climáticas e seus efeitos, não apenas contribui para a proteção do meio ambiente, mas também responde às demandas de consumidores e regulamentações governamentais cada vez mais rígidas.

Conforme destacado por Bolfe *et al.* (2020), a adoção de tecnologias digitais oferece o potencial de aprimorar a gestão sustentável dos recursos naturais, notadamente do solo e da água, ao mesmo tempo em que reduz o consumo de insumos agrícolas, culminando em uma elevada produtividade agrícola e em uma redução do impacto ambiental. Entretanto, a expansão do uso dessas tecnologias enfrenta obstáculos consideráveis, notadamente relacionados ao custo de aquisição de máquinas, equipamentos e aplicativos, além de desafios associados à conectividade de internet deficiente ou ausente em áreas rurais.

Para superar essas barreiras, torna-se imperativo que governos, empresas e organizações envolvidas no setor agrícola unam esforços colaborativos, visando tornar as tecnologias digitais mais acessíveis e garantir a expansão da conectividade de internet nas regiões rurais.

2.6 Internet das Coisas (*IoT*) na Agricultura

A agricultura se destaca como um dos setores de maior adoção da Internet das Coisas (*IoT*) em diversas aplicações, notadamente através de redes de sensores sem fio que operam em coordenação para abranger vastas áreas. Esse avanço possibilita a coleta de dados em tempo

real, fornecendo suporte decisório aos agricultores e facilitando o controle de dispositivos em campo. Um exemplo relevante é a criação de sistemas de irrigação mais robustos e resistentes a falhas (MAIA; NETTO; TRAN, 2017). A *IoT* está desempenhando um papel fundamental na agricultura moderna, aprimorando a eficiência, otimizando o uso de recursos e permitindo a tomada de decisões embasadas em informações precisas e em tempo real. A integração da *IoT* na agricultura oferece perspectivas promissoras para o setor, tornando-o mais produtivo e sustentável.

De acordo com a pesquisa realizada por Elijah *et al.* (2018), a Internet das Coisas (*IoT*) é conceituada como um sistema composto por dispositivos de computação, máquinas mecânicas e digitais, objetos, animais ou seres humanos, todos dotados de identificadores únicos e habilidades para transmitir dados por meio de uma rede, dispensando a necessidade de interação humano-a-humano ou humano-computador. A crescente preocupação com o aumento da população mundial previsto até 2050 e, conseqüentemente, com a demanda crescente por alimentos, tem suscitado grande interesse na aplicação da *IoT* no setor agrícola.

No contexto atual, no qual a diminuição dos recursos naturais e as condições meteorológicas imprevisíveis acentuam-se, a segurança alimentar emerge como uma das principais preocupações em âmbito global. A implementação da Internet das Coisas (*IoT*) na agricultura tem como propósito capacitar os agricultores por meio de ferramentas de tomada de decisão e tecnologias de automação que integram conhecimento e serviços, visando aprimorar a produtividade, a qualidade e, por conseguinte, a rentabilidade de suas propriedades, conforme destacado por (ELIJAH *et al.* 2018). Essas tecnologias desempenham um papel crucial na ampliação da produtividade agrícola, na melhoria da qualidade dos alimentos e, concomitantemente, na promoção da sustentabilidade no setor agrário. Diante disso, torna-se imperativo explorar as implicações e potencialidades da adoção da *IoT* na agricultura, a fim de mitigar os desafios associados à segurança alimentar e à gestão responsável dos recursos naturais.

Conforme observado por Jaiswall *et al.* (2019), nos países em desenvolvimento, a Internet das Coisas (*IoT*) emerge como uma tecnologia economicamente viável para impulsionar o avanço dos sistemas agrícolas. O Quadro 3 destaca algumas das vantagens intrínsecas à adoção da *IoT* na agricultura. Essas vantagens ilustram o potencial transformador da *IoT* no contexto agrícola, sobretudo em regiões em desenvolvimento, onde a tecnologia desempenha um papel de relevância crítica na promoção do desenvolvimento agrícola e na elevação das condições de vida das comunidades rurais. O emprego da *IoT* abre oportunidades

significativas para otimizar práticas agrícolas, aumentar a produtividade e a segurança alimentar, além de fomentar o desenvolvimento sustentável em áreas rurais, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida das populações locais.

Quadro 3 - Principais vantagens da integração da IoT na agricultura

Item	Vantagens da aplicação da <i>IoT</i> na agricultura
1.	Capacitação dos agricultores por meio do acesso a informações precisas sobre as condições agrícolas, maximizando a produtividade, a qualidade e o lucro, ao mesmo tempo em que se otimiza o uso eficiente dos recursos disponíveis.
2.	Disponibilização de dados em tempo real acerca da colheita, das condições ambientais e da pecuária, permitindo que os agricultores tomem ações imediatas para melhorar o rendimento da colheita.
3.	Aplicação de fertilizantes na quantidade e no momento corretos, o que contribui para a eficiência e o sucesso da fertilização.
4.	Implementação de sistemas de irrigação controlada que atuam de forma precisa e no momento adequado, incluindo a adoção de métodos de irrigação por gotejamento, que otimizam o uso dos recursos hídricos.
5.	Possibilidade de monitoramento e controle remoto dos sistemas, conferindo aos agricultores maior flexibilidade e permitindo que se concentrem na expansão de seus negócios e acesso a mercados.
6.	Promoção da integração com sistemas de agências nacionais e internacionais, proporcionando aos agricultores o acesso às mais recentes tecnologias e melhores práticas agrícolas.
7.	Integração de aplicativos em nuvem com o mercado, facilitando a obtenção de preços justos para os produtos agrícolas e promovendo a união de agricultores e clientes em um sistema unificado.
8.	Oferta de soluções de <i>IoT</i> escaláveis e economicamente viáveis, permitindo que os agricultores ajustem o sistema de acordo com suas condições financeiras, como o número de sensores em rede, a escala de irrigação e o controle de animais identificados por meio de etiquetas.

Fonte: Adaptado de Jaiswal *et al.* (2019)

A aplicação da *IoT* na agricultura é uma estratégia eficaz para elevar a eficiência da produção, otimizar o uso dos recursos naturais, melhorar a qualidade dos produtos agrícolas e, ao mesmo tempo, contribuir para o crescimento e a sustentabilidade do setor agrícola. Essa evolução tecnológica desempenha um papel crucial na abordagem dos desafios globais relacionados à segurança alimentar e ao desenvolvimento agrícola, proporcionando benefícios tanto para os agricultores quanto para a sociedade como um todo.

Conforme Fernando *et al.* (2020) destacaram, a incorporação de métodos científicos no contexto agrícola tem o potencial de gerar transformações significativas na produtividade das lavouras, resultantes da aplicação de técnicas agrícolas aprimoradas. A Internet das Coisas (*IoT*) apresenta uma série de vantagens notáveis, dentre as quais se destaca a capacidade de

revolucionar o atual panorama de métodos agrícolas. A *IoT* assume, assim, um papel preponderante na mudança do setor agrícola, abrindo caminho para a adoção de métodos agrícolas inovadores e revolucionários que possuem o potencial não apenas de atender às crescentes demandas globais por alimentos, mas também de salvaguardar o meio ambiente.

Jain et al. (2020) também ressaltam que a agricultura inteligente incorpora a Internet das Coisas (*IoT*) como uma ferramenta fundamental para reduzir desperdícios de recursos, tempo e mão de obra, resultando no aumento da produtividade e da produção agrícola. Um sistema inteligente baseado na *IoT*, quando aplicado à produção agrícola, faz uso de uma rede de sensores diversificados para medir parâmetros como a umidade do solo e a temperatura ambiente. Esse conjunto de informações possibilita o gerenciamento eficiente das operações agrícolas, incluindo a automação dos processos de irrigação do solo, o que, por sua vez, é facilitado pela Internet das Coisas. Essa abordagem tecnológica tem o potencial de transformar significativamente a agricultura, tornando-a mais eficaz, econômica e amigável ao meio ambiente, ao mesmo tempo em que impulsiona a produção de alimentos para atender às crescentes demandas globais.

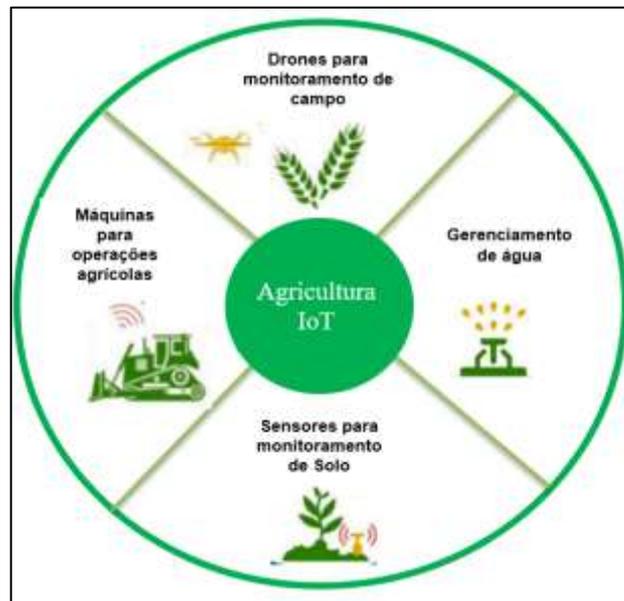
Conforme observado por Saiz-Rubio e Rovira-Más (2020), as tecnologias da Internet das Coisas (*IoT*) desempenham um papel fundamental na geração de um volume substancial de informações valiosas na agricultura, e espera-se que o setor agrícola seja profundamente influenciado pelos avanços nessa área. Estima-se que, por meio de novas técnicas e práticas, a *IoT* possui o potencial de aumentar a produtividade agrícola em até 70% até o ano de 2050. Essa perspectiva é altamente significativa, uma vez que o mundo enfrenta uma demanda crescente por maior produção de alimentos. Segundo esses autores Saiz-Rubio e Rovira-Más (2020), a *IoT* apresenta, assim, a vantagem de possibilitar o aumento da produção agrícola de forma mais eficiente e com custos reduzidos. A capacidade de melhorar a produtividade agrícola de maneira sustentável é essencial para enfrentar os desafios de segurança alimentar em um cenário global em constante transformação.

De acordo com Guo (2021), o cenário atual do agronegócio está cada vez mais orientado para a obtenção de informações precisas e perspectivas de alta qualidade. Isso se torna particularmente relevante com base no avanço da Internet das Coisas (*IoT*) e das tecnologias agrícolas inovadoras, que têm o potencial de influenciar praticamente todos os segmentos da indústria e do agronegócio. Essa transição gradual está revolucionando a paisagem da tecnologia agrícola, abrindo novas possibilidades para os agricultores. Diante da necessidade de atender a diversos desafios, como a maximização dos lucros em face de restrições de terra e de mão de obra, os profissionais do setor agropecuário estão adotando estratégias baseadas em

inovação.

A Figura 5 apresenta o ciclo de vida da *IoT* na agricultura, ilustrando diversas aplicações tecnológicas. Entre elas, destacam-se máquinas agrícolas conectadas à rede, drones utilizados para o monitoramento de campos, sistemas de gestão da água e dispositivos de monitoramento da umidade do solo. Essas tecnologias representam um conjunto diversificado de ferramentas que estão impulsionando a agricultura em direção a práticas mais eficientes, econômicas e sustentáveis. A *IoT* agrícola está desempenhando um papel de destaque na modernização do agronegócio, tornando-o mais adaptável e capaz de enfrentar desafios significativos, como a necessidade de aumentar a produção de alimentos em um ambiente global em constante transformação.

Figura 5 - Ciclo de vida da *IoT* na agricultura.



Fonte: Traduzido de Guo (2021 p. 2).

2.7 Irrigação e recursos hídricos

De acordo com Salassier, Soares e Mantovani (2008), a prática da irrigação tem sido considerada vital ao longo de milhares de anos, e, à medida que as populações crescem e exploram vastas extensões de terras disponíveis, a irrigação se estabelece como uma alternativa essencial para aumentar a produtividade, especialmente em regiões áridas e semiáridas, que compreendem aproximadamente 55% da área continental. O aumento populacional intensifica a demanda por uma agricultura capaz de suprir tanto a quantidade quanto a qualidade necessária

para a produção de alimentos.

O uso da água de forma desenfreada pode comprometer o recurso hídrico. A quantidade de água em boa qualidade existente no meio ambiente é finita e sua disponibilidade diminui gradativamente devido ao crescimento populacional, à expansão das fronteiras agrícolas e à degradação do meio ambiente. Sendo a água um recurso indispensável à vida, é de fundamental importância a discussão das relações entre o homem e a água, uma vez que a sobrevivência das gerações futuras depende diretamente das decisões que hoje estão sendo tomadas (SILVA; ALVES; SILVA, 2016. p.30).

De acordo com Maia, Netto e Tran (2017), a exaustão do solo e a depleção de nutrientes devido à intensificação do uso da terra representam uma questão crítica para a produção de alimentos. Uma compreensão aprofundada sobre a adequada gestão do solo, por meio de práticas de manejo das culturas em tempo real durante os ciclos de produção, pode ser crucial para prevenir a erosão do solo e a utilização excessiva de recursos naturais ou artificiais, visando manter o solo saudável e propício para o cultivo. A agricultura de precisão tem tradicionalmente empregado técnicas dispendiosas para monitorar a saúde do solo e das culturas, tais como o uso de imagens de satélites e aeronaves. No entanto, estudos recentes têm explorado o potencial de drones e uma variedade de sensores conectados a máquinas agrícolas para observar e medir a saúde do solo e das culturas de forma mais eficiente durante as fases de plantio e colheita.

A irrigação é uma prática agrícola que envolve a aplicação de um conjunto de equipamentos e técnicas com o propósito de compensar a deficiência de água, seja total ou parcial, em culturas vegetais. Essa prática desempenha um papel fundamental tanto no âmbito do cotidiano, como na manutenção de gramados em campos de futebol e áreas residenciais, quanto na produção substancial de alimentos, abrangendo cultivos como arroz, feijão, legumes, frutas e hortaliças (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2017). A garantia do acesso à quantidade apropriada de água no momento adequado constitui um elemento crucial para otimizar o desenvolvimento das plantas, elevar a produtividade agrícola e reduzir o desperdício de recursos hídricos. Esse equilíbrio na oferta de água é essencial para atender às crescentes demandas por alimentos e para promover a eficiência no uso da água, especialmente em um cenário de recursos naturais cada vez mais limitados.

Conforme destacado pela Agência Nacional de Águas (2017), a prática da irrigação assume um caráter essencial em regiões áridas e semiáridas. No cenário do semiárido brasileiro, a segurança da produção agrícola é significativamente impactada pela crônica escassez de água, que somente é aliviada durante os períodos chuvosos compreendidos entre dezembro e março,

quando algumas culturas ainda podem se desenvolver. Por outro lado, em áreas sujeitas a períodos específicos de escassez de água, como é o caso da região Sudeste e, em especial, do Centro-Oeste, a viabilidade de certas culturas e safras depende inteiramente da aplicação suplementar de água durante esses períodos, embora a produção possa ser realizada com menor risco durante as épocas de chuvas. Assim, a irrigação desempenha um papel de suma importância em regiões onde os recursos hídricos são limitados, possibilitando uma produção agrícola mais estável e, ao mesmo tempo, contribuindo para a segurança alimentar e a estabilidade econômica.

Conforme destacado nos estudos de Souza e Ghilardi (2017), os investimentos na produção agrícola e pecuária apresentam benefícios econômicos significativos, o que motiva as empresas a buscar o aumento da produção em larga escala, fazendo uso de recursos como fertilizantes e pesticidas. Entretanto, é importante observar que essas práticas frequentemente negligenciam a conservação e a preservação da qualidade da água. O progresso econômico é acompanhado por desafios, e a sustentabilidade dos recursos hídricos pode ser comprometida por esses impactos.

Nesse contexto, torna-se essencial encontrar um equilíbrio adequado entre o desenvolvimento econômico e a conservação dos recursos naturais, incluindo a água. A busca por práticas agrícolas e pecuárias mais sustentáveis e responsáveis é fundamental para mitigar os impactos negativos sobre os recursos hídricos, garantindo que a disponibilidade e a qualidade da água sejam mantidas para as gerações futuras. O desafio reside em promover o crescimento econômico sem comprometer a integridade do meio ambiente e a capacidade de sustentação dos recursos naturais.

A irrigação faz parte de um conjunto de técnicas essenciais para o cultivo de culturas de maneira econômica e sustentável, com a devida gestão dos recursos naturais. Ela não é apenas uma resposta às condições de seca, mas representa uma estratégia fundamental dentro do agronegócio, contribuindo para a competitividade e o aumento da rentabilidade dos agricultores.

Conforme indicado pela Agência Nacional de Águas (2017), os métodos de irrigação podem ser categorizados com base na maneira como a água é aplicada, sendo os quatro métodos principais: irrigação por superfície, irrigação subterrânea, irrigação por aspersão e irrigação localizada. No método de irrigação por superfície, a água é distribuída diretamente sobre a superfície do solo e sua aplicação é controlada de acordo com as necessidades da planta. Na irrigação subterrânea (ou subsuperficial), a água é introduzida abaixo da superfície do solo, estabelecendo ou mantendo o lençol freático na região, tornando-a acessível às raízes das

plantas. A irrigação por aspersão envolve a aplicação de água acima do solo, sob pressão, usando aspersores ou orifícios, simulando a ação da chuva. Por fim, o método de irrigação localizada (ou micro irrigação) se caracteriza pela aplicação de pequenos volumes de água, sob pressão, em uma área restrita e com alta frequência.

Conforme Testezlaf (2017), é de suma importância que os diversos métodos de irrigação sejam adequados às necessidades específicas das plantas às quais se destinam. Esses métodos podem ser caracterizados como um conjunto de equipamentos, acessórios, técnicas de operação e práticas de manejo que, de maneira organizada, são utilizados para realizar a irrigação em culturas específicas. Portanto, a escolha criteriosa de um método de irrigação eficaz desempenha um papel crucial no sucesso e na sustentabilidade da agricultura. O Quadro 4 apresenta os quatro métodos de irrigação principais e os principais sistemas de operação para ilustrar essas abordagens.

Quadro 4 - Métodos de irrigação e exemplos de seus principais sistemas.

Métodos	Sistemas
Superfície	Sulcos
	Inundação
Aspersão	Convencional
	Mecanizada(Pivô e Carretel)
Localizada	Gotejamento
	Microaspersão
Subsuperfície	Gotejamento Subterrâneo
	Elevação do Lençol Freático
	Mesas de Subirrigação

Fonte: Testezlaf (2017 p. 17).

Segundo Testezlaf (2017), a irrigação localizada envolve a aplicação de água no solo em uma área restrita, idealmente próxima à sombra da copa das plantas ou junto ao tronco das árvores, visando apenas a umedecer a camada de solo onde se encontra o sistema radicular das plantas. Esses sistemas se caracterizam pelo uso de baixas vazões, em contraste com outras técnicas de irrigação, devido ao emprego de dispositivos de baixa pressão, como os gotejadores, que liberam água em pequenas gotas. O sistema de gotejamento é uma técnica na qual a água é transportada para o solo em forma de gotas de baixo fluxo, por meio de pequenos emissores conhecidos como conta-gotas. O sistema de irrigação localizada, com a utilização de gotejadores, representa uma estratégia eficaz para a conservação de água e o fornecimento preciso de água às plantas, contribuindo assim para a prática de uma agricultura eficiente e sustentável.

Conforme observado por Rossi (2017), as características relacionadas à tecnologia também exercem influência na adoção de sistemas de irrigação. É importante notar que certas tecnologias de irrigação demandam maior quantidade de mão de obra do que outras, e, nesse contexto, a disponibilidade deste recurso produtivo desempenha um papel significativo na decisão de adotar determinado sistema de irrigação. A escolha da tecnologia apropriada é, portanto, condicionada pela disponibilidade de mão de obra, recursos financeiros, expertise técnica e pelas condições específicas da área agrícola em consideração.

Conforme Siqueira *et al.* (2018), a elaboração de soluções tecnológicas de fácil implementação e baixo custo representa uma alternativa viável para promover o desenvolvimento sustentável do sistema produtivo na agricultura familiar. Iniciativas voltadas à difusão de práticas de conservação agrícola, através de programas de educação ambiental e do engajamento coletivo das comunidades locais, desempenham um papel significativo na elucidação dos procedimentos que conduzem à consecução de uma produção agrícola sustentável. Isso, por sua vez, auxilia na promoção da sustentabilidade ecológica e econômica no âmbito da agricultura familiar.

É imprescindível elevar a produtividade no âmbito agrícola e nos processos agroindustriais, uma necessidade que pode ser alcançada por meio da incorporação de novas tecnologias, como a Internet das Coisas (*IoT*). A *IoT*, em particular, possui o poder de aprimorar a eficiência da agricultura e dos processos agroindustriais, diminuindo a necessidade de intervenção humana por meio da automação (MADUSHANKI *et al.* 2019). Quando implementada de maneira apropriada, a *IoT* detém o potencial de revolucionar a agricultura, conferindo-lhe maior produtividade, sustentabilidade e rentabilidade.

De acordo com a Embrapa (2021), a agricultura é uma atividade que inerentemente apresenta riscos, e a prática da irrigação implica em custos de produção mais elevados. No entanto, ao mesmo tempo, a irrigação tem o potencial de reduzir esses riscos e aumentar os retornos financeiros. Essa prática se torna particularmente crucial em regiões onde as demandas hídricas das plantas excedem a disponibilidade de chuvas. Além disso, a irrigação pode ser uma estratégia fundamental em outras áreas, garantindo a continuidade da produção diante de condições de seca ou, ainda, elevando os níveis de produtividade. Consequentemente, a irrigação desempenha um papel duplo na agricultura, não apenas fornecendo água às plantas, mas também servindo como uma ferramenta estratégica para mitigar riscos, aumentar a produtividade e fortalecer a segurança alimentar em diversas regiões agrícolas. A compreensão dessa dualidade da irrigação é essencial para a tomada de decisões eficazes por parte dos agricultores e para o desenvolvimento sustentável da agricultura.

A Embrapa (2021) destaca que, no Brasil, a irrigação é responsável por aproximadamente 49,8% da captação de água de fontes hídricas. No entanto, é importante esclarecer uma afirmação amplamente divulgada em anos anteriores, que alegava que a irrigação "consome" 70% da água, a qual tem sido erroneamente lembrada e citada. Essa estatística se refere a uma estimativa global do uso de água na agricultura e não reflete adequadamente a realidade.

A afirmação de que a irrigação "consome" 70% da água se baseia em uma interpretação equivocada do ciclo hidrológico e do uso da água na agricultura. Na verdade, a irrigação contribui para a utilização eficiente da água, uma vez que a água aplicada nas lavouras retorna à atmosfera por meio da evaporação e transpiração das plantas, voltando a participar do ciclo natural da água. Portanto, é fundamental compreender corretamente o papel da irrigação na gestão hídrica e reconhecer que a agricultura moderna busca práticas sustentáveis e eficientes em relação ao uso dos recursos hídricos (EMBRAPA, 2021).

2.8 Design Science Research (DSR)

De acordo com Lacerda et al. (2013), o *Design Science Research (DSR)* é uma abordagem metodológica que estabelece e coloca em prática a pesquisa quando o seu objetivo é a criação de um artefato ou a formulação de recomendações. Essa metodologia adota uma abordagem de pesquisa que se concentra na elaboração de soluções tecnológicas para problemas práticos, empregando um processo iterativo de desenvolvimento e avaliação.

O *Design Science Research (DSR)*, de acordo com Bax (2013), é uma abordagem metodológica amplamente utilizada em disciplinas relacionadas à tecnologia, sistemas de informação e engenharia. Seu foco principal está na criação e avaliação de soluções práticas para problemas complexos, alcançadas por meio do desenvolvimento e aplicação de artefatos específicos.

Dresch, Lacerda e Antunes (2015) estabelecem que a primeira fase na aplicação do método *DSR* consiste na identificação do problema, na qual o pesquisador manifesta o interesse pela pesquisa. A segunda fase engloba a conscientização do problema, em que o pesquisador busca informações para compreender o contexto em que ele se insere. A terceira etapa concentra-se na revisão sistemática da literatura. A etapa subsequente envolve a identificação dos artefatos e a configuração das classes de problema. Essas etapas iniciais estabelecem uma base sólida para orientar a condução da pesquisa utilizando o método *Design Science Research*.

Uma etapa importante é a proposição de artefatos para resolução do problema, pois é

nesta etapa, em que o pesquisador irá propor o artefato dentro de um contexto, levando em consideração sua viabilidade, bem como na melhoria ou alteração de determinadas situações. A etapa do projeto do artefato analisa o contexto em que o artefato será implementado, bem como suas características como componentes, as relações internas de funcionamento, seus limites e relações com o ambiente externo. Essas etapas do *DSR* são iterativas, o que significa que o pesquisador pode precisar ajustar e revisar o artefato e seu projeto à medida que a pesquisa avança e mais informações se tornam disponíveis.

A etapa do desenvolvimento do artefato tem por objetivo a implementação de diversas abordagens e que gera o conhecimento na solução de problemas, melhorias ou novas soluções. Na próxima etapa a avaliação do artefato, possui duas condições que devem ser consideradas: o ambiente experimental e o contexto real. Em suas últimas etapas, a explicitação das aprendizagens e conclusão. A pesquisa em *DSR* visa não apenas criar artefatos práticos, mas também contribuir para o conhecimento científico e tecnológico, melhorando a compreensão e a resolução de problemas no campo de estudo específico.

De acordo com Dresch; Lacerda; Antunes (2015), para operacionalizar o *DSR*, são estabelecidas etapas para conduzir uma pesquisa, conforme demonstrado na Figura 6.

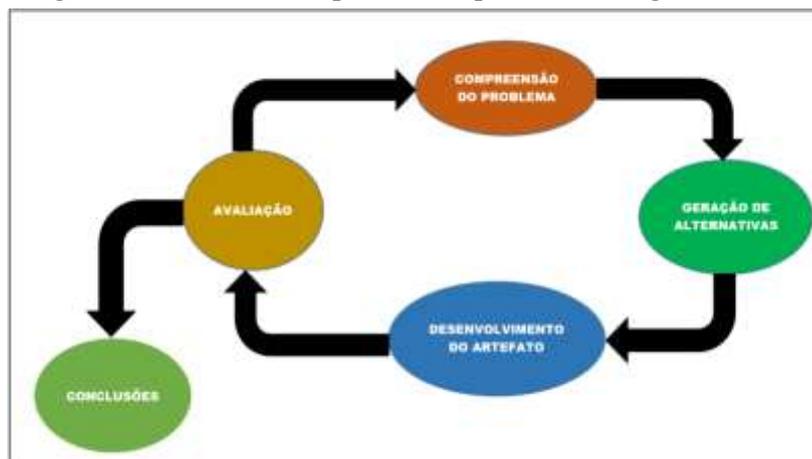
Figura 6 - Condução da pesquisa no *DSR*.

ETAPAS	DESCRIÇÃO DAS ETAPAS
1. Identificação do Problema	• Evidenciar a situação problemática.
2. Concientização do problema – Revisão Sistemática da Literatura	• Compreensão do problema. • Buscar o máximo de informações possíveis, assegurando a completa compreensão de suas facetas, causas e contextos. • Considerar as funcionalidades dos artefato, a performance esperada, e seus requisitos de funcionamento. • Revisão sistemática bases de conhecimentos (ciências tradicionais+design science+bases técnicas).
3. Identificação dos Artefatos e Configuração das classes de problemas	• Existem artefatos? • As classes de Problemas estão estruturadas?
4. Proposição de Artefatos para resolver o Problema específico	• Explicitar as premissas e requisitos para a construção do artefato. • Registrar todas as tentativas de desenvolvimento do artefato. • Registrar as razões que fundamentaram a exclusão da tentativa de artefato do Desenvolvimento. • Verificar possíveis implicações éticas da aplicação do artefato.
5. Projeto do artefato Selecionado	• Considerar as características internas e o ambiente em que o artefato irá operar. • Limites e relações com o ambiente externo. • Considerar quais são as soluções satisfatórias para este projeto.
6. Desenvolvimento do Artefato	• Justificar a escolha das ferramentas para o desenvolvimento do artefato. • Explicitar os componentes do artefato e as relações causais que geram o efeito desejado para que o artefato realize seus objetivos. • Explicitar as formas pelas quais o artefato pode ser testado.
7. Avaliação do artefato	• Explicitar, em detalhes, os mecanismos de avaliação do artefato. • Evidenciar os resultados do artefato em relação às métricas inicialmente projetadas. • No caso de avaliações qualitativas do artefato, explicitar as partes envolvidas e as limitações de viés. • Evidenciar o que funcionou como o previsto e os ajustes necessários no artefato.
8. Explicitação das aprendizagens	• Assegurar que a pesquisa e seus resultados possam servir de referência para pesquisas futuras
9. Conclusões	• Sintetizar as principais aprendizagens em todas as fases do projeto • Justificar a contribuição do trabalho para a Classe de Problemas em questão
10. Generalização para uma classe de problemas	• Artefatos, heurísticas de construção, heurísticas contingenciais.
11. Comunicação de resultados	• Apresentar os resultados para a comunidade (o que foi feito, como foi realizado, implicações da pesquisa)

Fonte: Adaptado de Dresch; Lacerda; Antunes (2015).

Conforme Dos Santos (2018) “*Design Science*” é um método de pesquisa onde são desenvolvidas e avaliadas a eficiência e eficácia de um artefato na solução de uma categoria de problema. Sua característica construtiva e prospectiva, busca estabelecer o “como deveria ser” deste modo contrasta com a característica analítica de outros métodos que buscam entender “como é” o mundo real. A Figura 7 apresenta o Ciclo das Etapas da Pesquisa com *Design Science*. O ciclo pode ser repetido várias vezes, com refinamentos contínuos no artefato até que uma solução satisfatória seja alcançada.

Figura 7 - Ciclo das Etapas da Pesquisa em Design Science.



Fonte: Dos Santos (2018, p. 81).

O processo de desenvolvimento da pesquisa com o *Design Science* começa pela compreensão do problema, seja de maneira abrangente ou parcial, demandando a geração de alternativas para sua resolução. Em seguida, o foco recai sobre a elaboração de um artefato a partir das possibilidades identificadas, seguido por uma avaliação da solução, envolvendo a participação de todas as partes interessadas. Essa abordagem é particularmente adequada em contextos de pesquisa direcionada à resolução de problemas práticos que requerem soluções eficazes e eficientes.

De acordo com Santos (2018), o conhecimento resultante da *Design Science* possui uma abordagem pragmática e requer uma compreensão ampla de seu campo de aplicação, estendendo-se além do problema específico investigado em um estudo de campo. Portanto, o conhecimento gerado pela *DSR* tem o potencial de ser aplicado em diversas situações, não se

restringindo apenas ao problema que originou sua concepção.

O *Design Science Research (DSR)* tem sua origem na prática associada a métodos de concepção e *design*. O *design* busca implementar mudanças em sistemas específicos, visando aprimorá-los. Tais modificações visam ao desenvolvimento de produtos ou artefatos que ainda não existem, com base no conhecimento como alicerce para sua construção. Portanto, o *DSR* concentra-se na pesquisa direcionada à solução de problemas contextualizados, em que a abordagem da ciência tradicional pode ser inadequada para sustentar o processo de pesquisa, uma vez que este tipo de pesquisa, frequentemente, se dedica a discussões de caráter mais teórico e conceitual (ANGELUCI; REDIGOLO; ARAKAKI, 2020).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

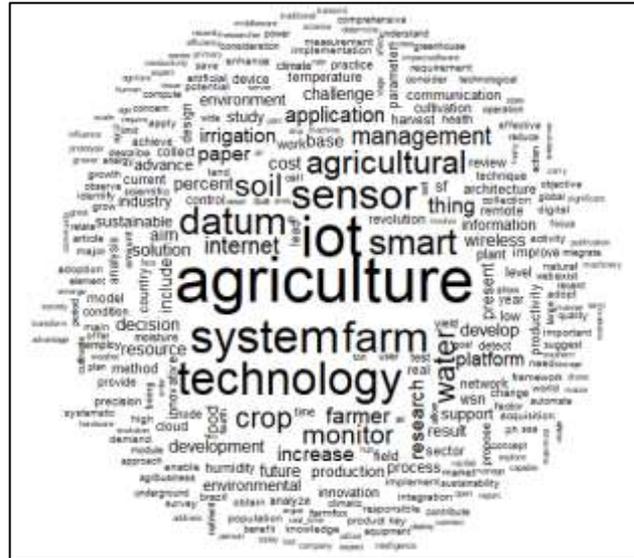
Para a pesquisa em questão, foram adotados os seguintes métodos de pesquisa: análise bibliométrica e o *Design Science Research (DSR)*.

3.1 Análise Bibliométrica.

A análise bibliométrica utiliza a revisão de artigos de pesquisa publicados, embora seja uma técnica aplicável também a livros, relatórios e diversas outras fontes. O objetivo da bibliometria é investigar padrões presentes na pesquisa existente (FERREIRA, 2011). Trata-se de uma análise que envolve a avaliação quantitativa de publicações científicas, visando medir a produção, impacto e colaboração de pesquisadores, instituições e áreas de pesquisa.

agrupamento do vocabulário utilizado nos artigos analisados. A análise textual desempenha um papel crucial na identificação dos principais temas e tópicos abordados na literatura relevante ao tema de pesquisa, como demonstrado na Figura 9.

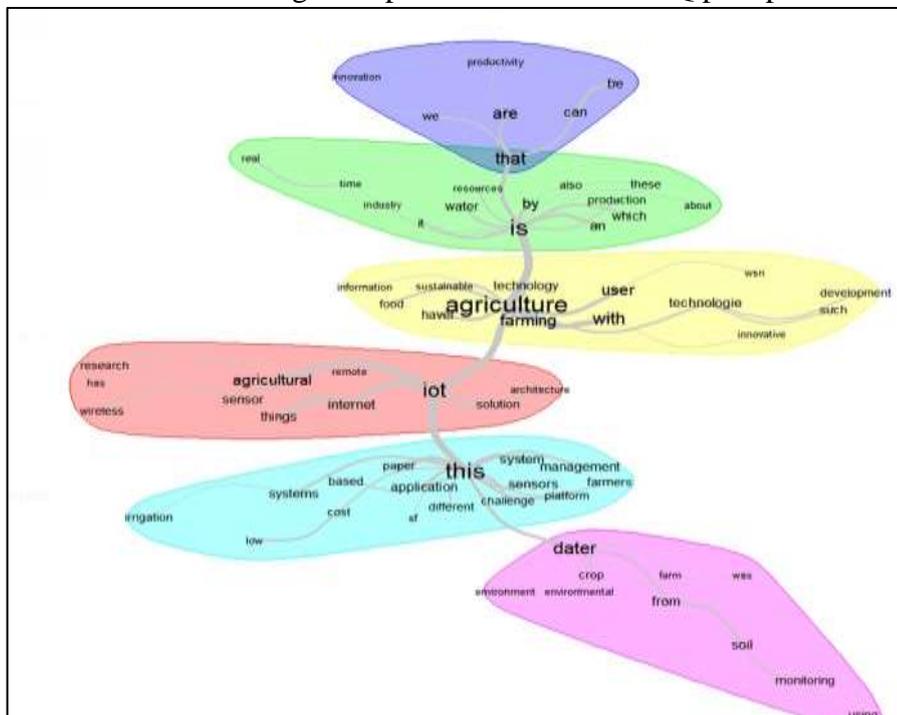
Figura 9 - Nuvem de Palavras – primeira bibliometria.



Fonte: IramuteQ.

Com o intuito de aprimorar a compreensão da organização dos textos selecionados e a disposição das palavras utilizadas, empregou-se a mesma ferramenta, para gerar a árvore de similitude. Essa ferramenta enfatiza as formas textuais centrais mais relevantes e as relações mais significativas. Em outras palavras, ela visualiza graficamente a interconexão das formas lexicais no texto e as conexões entre elas. Essa análise proporciona uma compreensão profunda da estrutura textual no corpo do documento, como ilustrado na Figura 10.

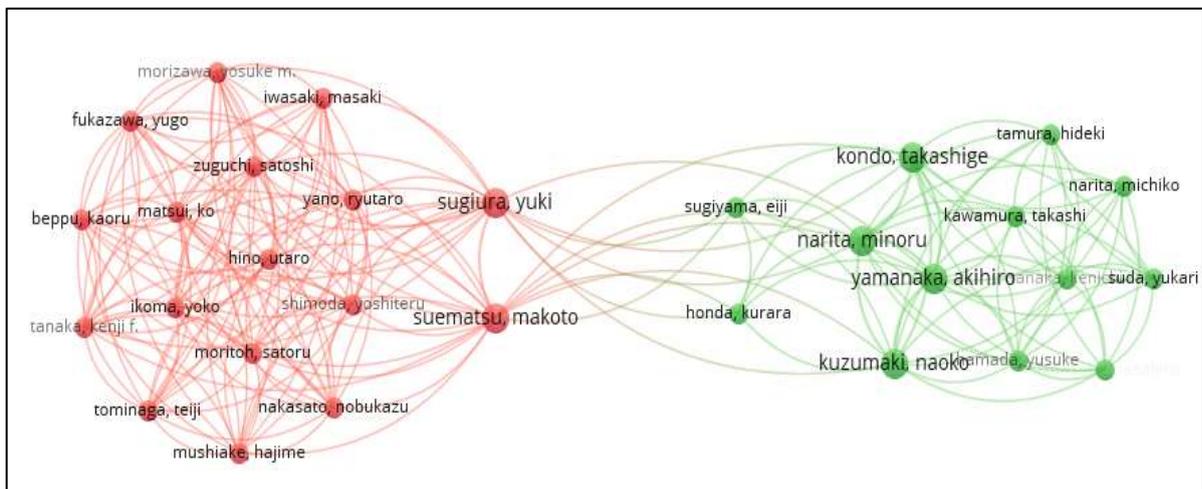
Figura 10 - Árvore de similitude gerada pelo software IraMuteQ para primeira bibliometria.



Fonte: VosViewer.

A análise de coautoria estabelece a relação existente entre os autores nos documentos que citam uns aos outros, conforme ilustrado na Figura 12.

Figura 12 - Análise de coautoria - Bibliometria.



Fonte: VosViewer.

3.1.2 Segundo Estudo Bibliométrico.

Na segunda análise bibliométrica, foi conduzida uma pesquisa abrangente sobre o tema "5G" conduzida com o intuito de analisar artigos publicados entre 2019 e 2023 relacionados ao tema. A pesquisa de produções acadêmicas para essa análise foi realizada por meio da aplicação "*Publish or Perish*". Os operadores lógicos "AND" e "OR" foram aplicados com a seguinte sintaxe: "*INTERNET OF THINGS*" AND "*5G SYSTEM*" AND "*SMART AGRICULTURE*" OR "*SMART IRRIGATION SYSTEM*".

Para uma investigação mais aprofundada dos dados, prosseguiu-se com a utilização do software IramuteQ. A primeira análise realizada envolveu a criação de uma nuvem de palavras na qual as palavras foram agrupadas e dispostas graficamente com base em sua frequência de ocorrência. Embora se trate de uma análise lexical relativamente simples, essa abordagem

Fonte: IraMuteQ.

3.2 Desenvolvimento do Artefato com apoio do método (DSR).

O presente estudo adotou o Método *Design Science Research (DSR)* com o propósito de conceber e desenvolver um sistema de irrigação automatizado empregando a Internet das Coisas (*IoT*). Esta metodologia revela-se apropriada para a presente pesquisa, dada a sua orientação centrada na criação de um artefato prático e inovador, alinhando-se com os objetivos fundamentais do projeto.

Abaixo estão as etapas de operacionalização do Método *DSR* aplicadas na presente pesquisa. O processo de *DSR* é geralmente desmembrado em diversas etapas, embora possa haver algumas variações dependendo da fonte. Em resumo, essas etapas incluem:

1. Conhecimento do problema: Nesta fase, o foco esteve na identificação e compreensão aprofundada do problema que necessitava de abordagem.
2. Definição dos objetivos: Realizou-se a formulação clara dos objetivos a serem atingidos por meio da solução proposta.
3. Desenvolvimento de artefatos: Nesta etapa, ocorreu a criação de soluções (artefatos) projetadas para abordar o problema. Esses artefatos assumiram a forma de sistemas, modelos, processos, frameworks, entre outros.
4. Demonstração da viabilidade: A etapa de avaliação concentrou-se na viabilidade e eficácia dos artefatos desenvolvidos em relação aos objetivos estabelecidos.
5. Avaliação e validação: Envolveram-se testes e validações para garantir que a solução fosse robusta e eficaz em situações reais.

Comunicação: Esta etapa envolveu a documentação detalhada dos resultados e lições aprendidas durante todo o processo de pesquisa.

7. Conclusão e lições aprendidas: Após a conclusão do projeto, refletiu-se sobre o processo e os resultados, identificando *insights* valiosos que poderiam beneficiar futuros projetos ou pesquisas.

3.2.1 Etapas para a concepção do artefato com o auxílio do (DSR).

A seguir, delineiam-se as etapas que nortearam a concepção do artefato, com a aplicação da metodologia do *Design Science Research (DSR)*.

Etapa de identificação do Problema.

O presente estudo aborda a etapa de conscientização, a qual envolve a compreensão da problemática destacada por Lacerda et al. (2013). Este estudo teve origem na necessidade identificada por um agricultor responsável por uma pequena propriedade rural voltada à produção orgânica de frutas, localizada no interior do Município de Vargem, em São Paulo.

As características climáticas, de solo e cultura do local, conforme dados da Prefeitura Do Município De Vargem (2015), são as seguintes:

Clima: Classificação Climática de Koeppen Cá - Clima Subtropical de Altitude, com verões quentes e invernos menos secos.

Relevo: Ondulado a fortemente ondulado.

Tipos de solos: Predominantemente PV - Latossolo Vermelho e LV - Latossolo Vermelho Amarelo.

Pluviometria: Período mais chuvoso em Dezembro/Janeiro e mais seco em Julho/Agosto, com precipitação média anual de 1.700 mm.

Temperatura: Média máxima de 25°C, média mínima de 13°C, e média anual de 20°C.

Cultura: Agricultura apresenta em sua maioria pequenos produtores onde predomina a mão de obra familiar para fruticultura, floricultura e bovinocultura.

Uma pesquisa de campo foi realizada para identificar desafios específicos enfrentados em uma plantação de frutas, com foco nas variedades de pêssego, goiaba e acerola, dentro do contexto da agricultura familiar.

Necessidades identificadas pelo agricultor:

Escassez Hídrica: A insuficiência de água apropriada para processos de irrigação pode resultar no estresse hídrico das plantas, impactando o crescimento, o desenvolvimento dos frutos e a saúde global das plantas. No contexto específico da propriedade rural em análise, a fonte hídrica provém de poços artesianos, os quais, em determinados períodos do ano, notadamente durante a estação de inverno, experimentam deficiência de precipitação devido às condições de seca.

Condições Climáticas Desfavoráveis: A presença de condições climáticas adversas, notadamente temperaturas baixas, pode exercer efeitos prejudiciais sobre o desenvolvimento das plantas, impactando diretamente processos fundamentais como a floração, frutificação e a qualidade dos frutos. No inverno, caracterizado por um clima seco e frio, tais condições

climáticas desfavoráveis são notáveis.

Inconsistências na Irrigação: A implementação de práticas inadequadas de irrigação, seja em relação à quantidade ou frequência, pode ocasionar desequilíbrios no solo, comprometendo a absorção eficiente de nutrientes pelas plantas.

Desperdício Hídrico: A aplicação excessiva de água acarreta desperdício, resultando em aumentos nos custos operacionais e, simultaneamente, elevando o risco de saturação do solo, prejudicando as raízes das plantas.

Deficiência em Monitoramento e Controle: A ausência de informações em tempo real acerca das condições do solo, níveis de umidade e padrões climáticos dificulta a implementação de ajustes precisos na prática de irrigação, adaptando-a de acordo com as necessidades específicas das plantas.

Características Peculiares de alguns frutos: O processo de floração e frutificação de determinadas espécies frutíferas, exemplificado pela goiabeira, manifesta-se predominantemente no mês de agosto. Nesse intervalo crucial, a adequada disponibilidade de água, nutrientes e condições térmicas propícias emerge como fator essencial para assegurar o efetivo crescimento e desenvolvimento dos frutos.

A Figura 15 ilustra uma linha de cultivo de goiaba, na qual as telas de proteção são empregadas com a finalidade de mitigar a incidência de pragas. Destaca-se que o sistema de irrigação automatizado se encontra posicionado no início desta linha de plantação de goiaba.

A variabilidade das condições climáticas ao longo das estações do ano resulta em desafios particulares para certas culturas, notadamente durante períodos de clima frio e seco.

Figura 15 - Linha de cultivo de goiaba.



Fonte: o autor.

Após a identificação e conscientização da problemática, a pesquisa avançou para a fase subsequente, caracterizada pela realização de uma revisão sistemática da literatura, cujos parâmetros são definidos com base nos resultados obtidos por meio de análises bibliométricas

Etapa de identificação dos artefatos e configuração das classes de problemas.

A seguir, foram identificadas diversas classes de problemas e seus respectivos artefatos. A abordagem de identificação e configuração desses artefatos em relação às classes de problemas permite uma organização estruturada dos aspectos cruciais do problema, bem como das soluções propostas. Tal abordagem facilita a análise, o planejamento e a implementação de soluções eficazes para lidar com desafios relacionados à irrigação e condições climáticas adversas em plantações de diversas variedades de frutas na agricultura família.

Classe de problema: escassez de água e estresse hídrico.

Artefatos:

- Dados de umidade do solo (sensores de umidade).
- Dados de precipitação (sensores meteorológicos).

Classe de Problema: Condições Climáticas Desfavoráveis.

Artefatos:

- Dados de temperatura (sensores meteorológicos).
- Dados de umidade relativa do ar (sensores meteorológicos).

Classe de Problema: Inconsistência na Irrigação.

Artefatos:

- Dados de aplicação de água (sistemas de irrigação).
- Dados de nutrientes no solo (sensores de nutrientes).

Classe de Problema: Desperdício de Água.

Artefatos:

- Dados de aplicação excessiva de água (sistemas de irrigação).
- Dados de encharcamento do solo (sensores de umidade e drenagem).

Classe de Problema: Falta de Monitoramento e Controle.

Artefatos:

- Dados de falta de informações em tempo real (ausência de sensores).
- Dados de sistemas de irrigação convencionais (comparativos).

Classe de Problema: Impacto no Crescimento e Frutificação.

Artefatos:

- Dados de crescimento das árvores (medições periódicas).
- Dados de qualidade dos frutos (avaliação visual).
- Dados de incidência de doenças relacionadas ao estresse hídrico (observações).

Classe de Problema: Viabilidade Econômica.

Artefatos:

- Dados de custos operacionais (registro de gastos).
- Dados de custos de manutenção do sistema de irrigação (registros de manutenção).
- Dados de perdas de produção (estimativas de produção não alcançada).

Classe de Problema: Sustentabilidade Ambiental.

Artefatos:

- Dados de consumo de água (registros de consumo).
- Dados de uso de energia no sistema de irrigação (registros de consumo de energia).
- Dados de emissões de gases de efeito estufa (se aplicável, com base em estimativas).

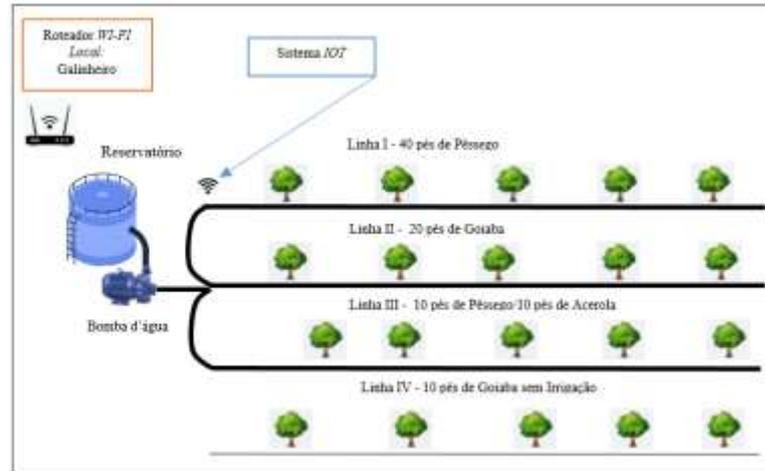
3.2.2 Projeto do Artefato Selecionado - Sistema de Irrigação Automatizado.

Após a análise das classes de problemas e dos artefatos identificados, foi apresentada uma solução abrangente, a qual consiste em um sistema de irrigação automatizado com Internet das Coisas (*IoT*). Esse sistema inclui um controlador, sensores meteorológicos, atuadores e um aplicativo com interface amigável para gerenciar as operações do sistema de irrigação implementado na linha de cultivo das frutas. Esta proposta solucionou a maioria dos problemas identificados de maneira eficaz.

Na propriedade rural onde a pesquisa de campo foi conduzida, adota-se o sistema orgânico para o cultivo e produção de diversas variedades de frutas, abrangendo desde bananas até acerolas e goiabas. Dentro desse contexto específico, o principal desafio identificado pelo

agricultor está na gestão simultânea de quatro linhas de produção de frutas, tais como goiabas, pêssegos, acerolas e outras, como ilustrado na Figura 16.

Figura 16 - Local de instalação do módulo de controle IoT.



Fonte: o autor.

Após a seleção do artefato definido, o processo avança para as etapas de construção do protótipo do sistema de irrigação automatizado com *IoT*. Este processo engloba desde o planejamento dos materiais até a interface do usuário, culminando na implementação física no local escolhido para instalação. Neste caso, optou-se por iniciar a instalação na linha de plantação de pêssegos, devido à proximidade com a rede de internet, conforme ilustrado na Figura 17.

Figura 17 - Local escolhido para implementação física do Artefato.



Fonte: o autor.

Planejamento.

Algumas perguntas foram consideradas para definir os requisitos e funcionalidades do sistema de irrigação automatizado.

Qual é a área de irrigação?

- Total de área irrigada: 180 metros lineares com sistema de gotejamento, a distância entre os bicos gotejadores é de 0,70 cm.

Quais categorias de frutos estão atualmente sob cultivo?

- Os frutos cultivados compreendem variedades de goiaba, pêsego e acerola.

Materiais Utilizados

- **Sensor de Temperatura e Umidade DHT22.**

Os valores das variáveis de temperatura ambiente e umidade foram obtidos por intermédio do Sensor de Temperatura e Umidade DHT22 (Anexo 1). Este sensor realiza medições de temperatura e umidade relativa do ar com notável precisão, abrangendo uma faixa de temperaturas que varia de -40°C a 80°C e umidade de 0% a 100%.

O funcionamento do DHT22 é baseado na utilização de um sensor capacitivo de umidade e um termistor para a medição das condições do ar circundante. O sensor opera com uma faixa de tensão de 3,5V a 5,5V e apresenta um baixo consumo de corrente, oscilando entre 1mA e 1,5mA, enquanto em modo de espera, esse consumo é reduzido para valores entre $40\mu\text{A}$ e $50\mu\text{A}$. A precisão das medições de umidade alcança aproximadamente 2% de umidade relativa do ar, e a precisão da medição de temperatura é da ordem de $0,5^{\circ}\text{C}$.

- **Sensor de Umidade do Solo Capacitivo.**

O Sensor de Umidade (Anexo 2) realiza a medição do teor de umidade no solo através de um sensor capacitivo. Este sensor é confeccionado com materiais resistentes à corrosão, garantindo, assim, uma longa vida útil. Operando com uma tensão de 5.5V, o sensor é especialmente adequado para sistemas de baixa voltagem, como o controlador ESP32.

O sensor de umidade desempenha um papel central no controle do sistema de irrigação, uma vez que disponibiliza ao controlador dados cruciais relacionados à umidade do solo.

- **Bomba D' Água Periférica.**

A bomba d'água periférica (Anexo 3) desempenha a função de abastecer com água o sistema de irrigação destinado às plantações de goiabas, pêsegos e acerolas. A ativação da bomba é realizada de forma eletromecânica por meio de relés. Esse processo de acionamento pode ser executado manualmente, utilizando botões e chaves, bem como de forma remota, por meio do sistema conectado à rede de Internet das Coisas (*IoT*).

- **Módulo WiFi ESP32.**

O componente central encarregado de gerenciar e coletar dados no sistema de irrigação automatizado é o módulo ESP32 (Anexo 4). Este controlador é programado com as diretrizes operacionais do sistema, incluindo a leitura dos sensores e o acionamento da bomba.

O módulo ESP32 é um dispositivo de alto desempenho projetado para aplicações que envolvem conectividade de rede sem fio. Este componente se destaca por seu baixo consumo de energia e maior capacidade de processamento. Além disso, ele apresenta recursos embutidos de *Bluetooth* e *WiFi*, sendo esta última característica de conectividade fundamental para aplicações relacionadas à Internet das Coisas (*IoT*).

Na placa, encontra-se o chip ESP32, fabricado pela Espressif, equipado com uma antena integrada, uma interface USB-Serial e um regulador de tensão de 3.3V. A programação é viabilizada por meio da utilização da IDE do Arduino, conectando-se à placa através de um cabo micro-USB. O ESP32 é dotado de uma memória flash de 4 MB, o que lhe confere a capacidade de suportar uma ampla gama de aplicações em projetos de Internet das Coisas (*IoT*) destinados ao acesso remoto.

O ESP32 pode funcionar como um sistema autônomo completo ou como um dispositivo escravo para um host MCU. O ESP32 pode interagir com outros sistemas devido fornecer funcionalidades Wi-Fi e Bluetooth por meio de suas interfaces SPI/SDIO ou I2C/UART (ESPRESSIF, 2023).

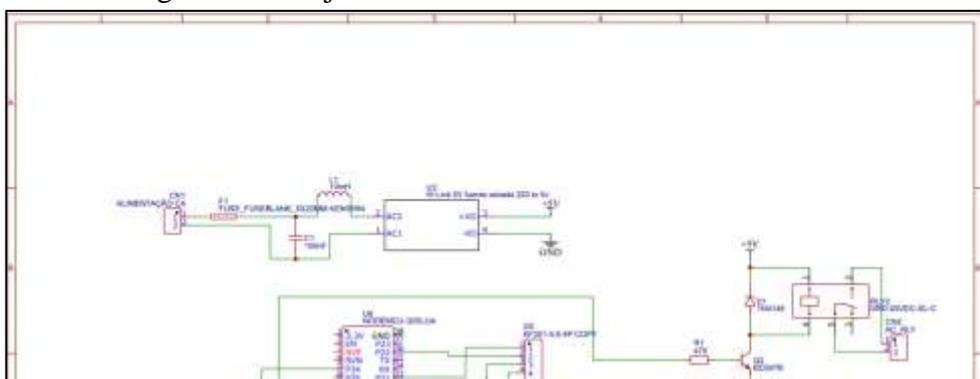
- **Fonte de energia.**

O sistema eletrônico é alimentado por uma fonte de alimentação inteligente com capacidade Bivolt, capaz de converter tensões alternadas que variam de 100 a 240 VAC em uma tensão contínua de 5 VDC.

Desenvolvimento do Artefato com apoio do método *Design Science Research (DSR)*

A Figura 18 apresenta o desenho detalhado do circuito eletrônico, incluindo as conexões dos componentes como sensores, atuadores e outros elementos eletrônicos na placa eletrônica. Este circuito foi elaborado utilizando o software EasyEda, reconhecido por sua eficácia no desenvolvimento de circuitos eletrônicos. Além disso, o software permite a criação do layout da placa de circuito eletrônico, como ilustrado na Figura 20.

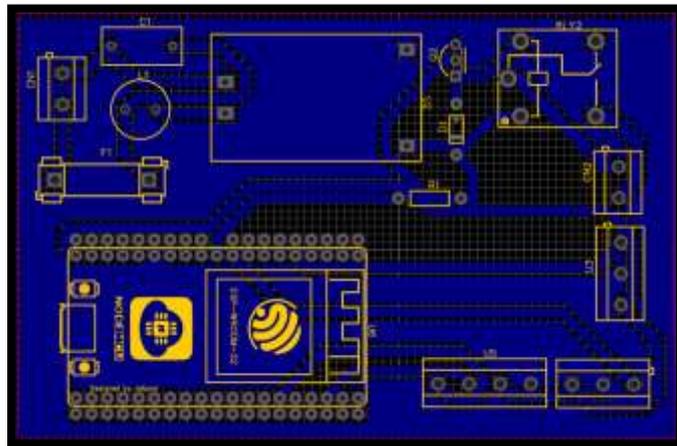
Figura 18 - Projeto do circuito eletrônico do sistema IoT.



Fonte: o autor.

Para esta pesquisa, foi utilizado o software EasyEda para a confecção da placa de circuitos eletrônicos, conforme ilustrado na Figura 19, com a disposição dos componentes delineada no projeto eletrônico. A materialização do circuito eletrônico em um contexto prático permitiu a identificação de desafios e problemas não antecipados durante a fase de concepção teórica. Essa circunstância proporcionou a oportunidade de solucioná-los e aprimorar o sistema na prática.

Figura 19 - Desenho para confecção da placa eletrônica.



Fonte: o autor.

Na Figura 20, é apresentada uma representação tridimensional gerada por meio de software, com o intuito de visualizar a disposição dos componentes eletrônicos na placa. Essa etapa reveste-se de significativa importância, uma vez que permite a realização de ajustes no projeto antes da efetiva fabricação da placa eletrônica.

A demonstração de um circuito eletrônico, desse modo, desempenha um papel crucial como prova de conceito para o sistema *IoT* proposto.

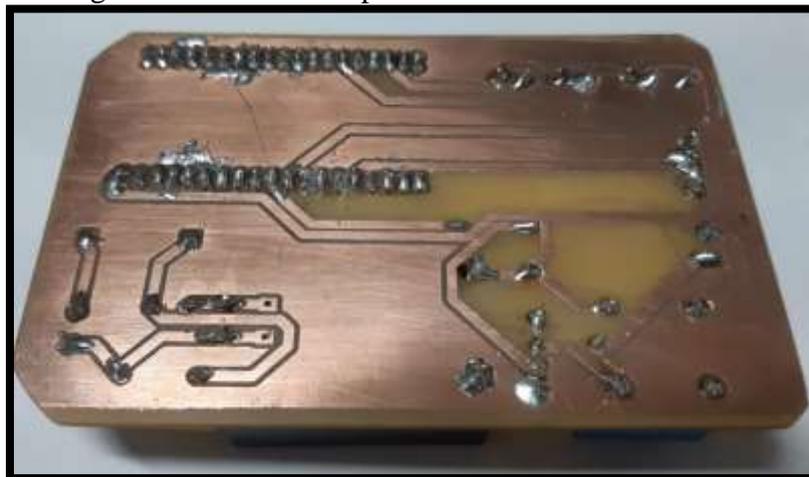
Figura 20 - Imagem da placa de circuito eletrônico em 3D.



Fonte: o autor.

Na etapa de prototipagem, a Figura 21 exibe a representação visual da placa eletrônica já fabricada e preparada para a incorporação dos componentes eletrônicos,

Figura 21 - Detalhe da placa eletrônica confeccionada.



Fonte: autor.

A Figura 22 é a demonstração visual e tangível do circuito eletrônico montado em uma placa, embora esta placa foi fabricada em de forma manual, o projeto pode ser fabricado em grandes quantidades de acordo com a necessidade.

Figura 22 - Detalhe da placa finalizada.

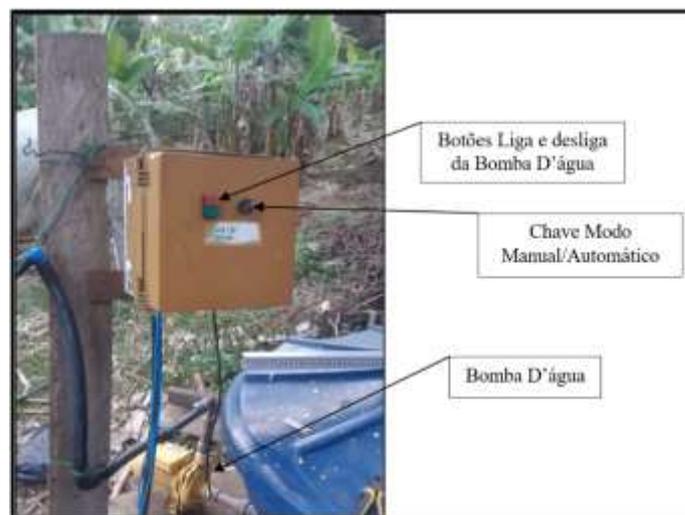


Fonte: o autor.

Sistema de Acionamento manual e automático da Bomba d'água.

Na hipótese de interrupção da comunicação com a rede *WiFi* ou do funcionamento inadequado do sistema *IoT* por falhas elétricas, foi estabelecido um sistema de contingência para a ativação manual da bomba d'água. Tal contingência é implementada por meio de botões localizados em um painel elétrico, concebido com a flexibilidade como premissa. Sob esse *design*, o usuário pode alternar entre o modo manual e o modo automático com a simples ativação de uma chave, conforme ilustrado na Figura 23.

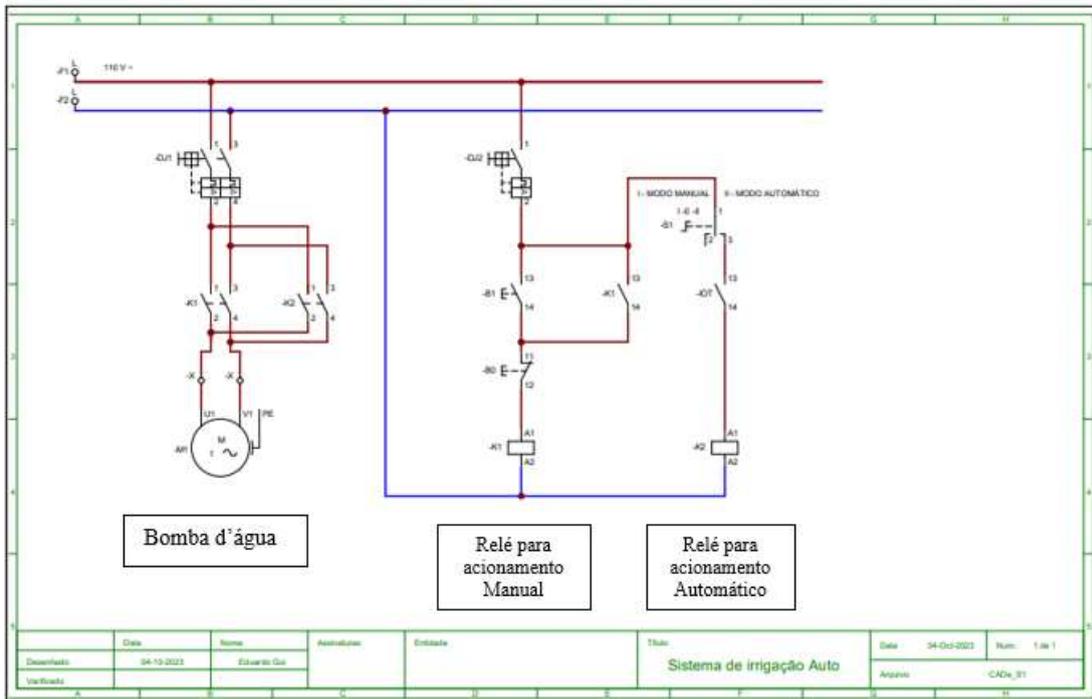
Figura 23 - Painel elétrico para acionamento da Bomba D'água.



Fonte: o autor.

Na Figura 24 é ilustrado o projeto elétrico de acionamento manual e automático da bomba, com este esquema elétrico é possível verificar que neste projeto utilizou-se de relés eletromecânicos de potência para acionamento da bomba, chaves comutadoras, disjuntores de proteção dos circuitos elétricos.

Figura 24 - Esquema elétrico de Acionamento da Bomba d'água.



Fonte: o autor.

Elaboração do código de Programação.

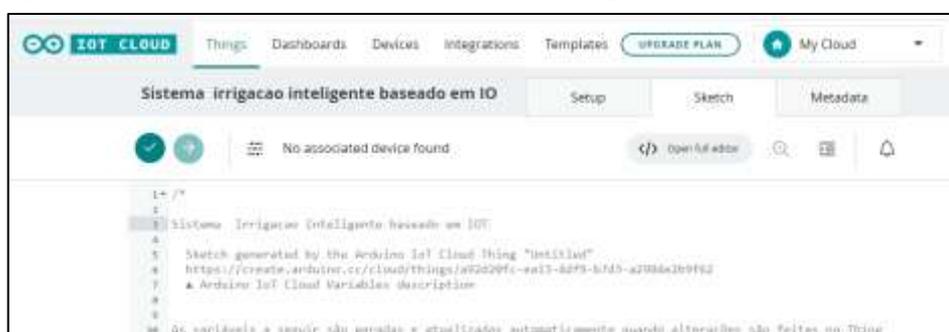
Na fase de programação, elaborou-se o código empregando o Ambiente de Desenvolvimento Integrado (*IDE*) *Arduino Cloud*, uma aplicação específica destinada ao microcontrolador *Arduino*. Este software possibilitou a criação da programação com as instruções necessárias para o pleno funcionamento do sistema de *Internet das Coisas (IoT)*. Posteriormente, o código resultante foi carregado na memória da placa eletrônica *ESP32*.

A linguagem de programação adotada para essa finalidade foi o *C++*, com a qual o microcontrolador foi capacitado a controlar o sistema de irrigação. Esse controle abrange a habilidade de obter informações dos sensores, efetuar análises com base nesses dados e ativar ou desativar os atuadores conforme as necessidades identificadas.

Além disso, foi estabelecida a configuração da comunicação com a plataforma *IoT* (*Arduino IoT Cloud*), viabilizando a administração remota e a supervisão do sistema por meio de conexão sem fio via *Wifi*.

A Figura 25 ilustra o ambiente de programação para o desenvolvimento das instruções de funcionamento do sistema *IOT*.

Figura 25 - Ambiente de Desenvolvimento Integrado (*IDE*) *Arduino Cloud*.



Fonte: Software compilador Arduino.

Testes e Ajustes:

Nesta etapa, foi executado o procedimento e teste do protótipo do artefato em condições reais e com ajustes, se necessário. Nesta fase, é muito importante diagnosticar erros e falhas antes de colocar o funcionamento em campo, também é necessário monitorar o comportamento geral do sistema, verificando se os sensores estão fornecendo dados precisos e se os atuadores estão respondendo adequadamente aos comandos conforme Figura 26.

Figura 26 - Testes e ajustes do artefato



Fonte: o autor.

Interface de Controle e Funcionamento:

Foi desenvolvida uma interface de controle detalhada para o sistema de irrigação, abrangendo informações essenciais, como a leitura precisa de variáveis, incluindo temperatura,

umidade do ar, umidade do solo e o status de acionamento da bomba. Além disso, a interface apresenta gráficos em tempo real que permitem uma visualização clara e instantânea do sistema. Sua versatilidade é notável, uma vez que permite o acesso por meio de dispositivos móveis, como smartphones, e via computadores por meio de uma página web. Isso oferece aos usuários a conveniência de monitorar e controlar o sistema de irrigação remotamente, a qualquer momento e em qualquer lugar.

O funcionamento do sistema se apoia no ajuste do acionamento da bomba, cujos valores variam de 0 a 100% da umidade do solo. O sensor de umidade do solo efetua leituras em tempo real e envia instruções ao controlador para ligar ou desligar a bomba com o objetivo de iniciar ou interromper a irrigação.

O sistema de monitoramento em questão fornece informações em tempo real sobre as medições efetuadas e o estado operacional da bomba, utilizando dois LEDs para representar as condições: verde (indicando que a bomba está ativa) e vermelho (indicando que a bomba está inativa). O sensor de umidade do solo desempenha um papel de extrema relevância no contexto do sistema, uma vez que possibilita a aquisição contínua de dados em tempo real relativos à umidade presente no solo. Esses dados constituem a base para a tomada de decisões informadas no que tange ao momento e à quantidade ótima de irrigação.

Por sua vez, o sensor de umidade do ar realiza a mensuração da quantidade de vapor de água presente no ambiente, oferecendo subsídios para a avaliação da taxa de evaporação da água contida no solo. Esse conhecimento é fundamental para a otimização da frequência e da duração dos ciclos de irrigação, de forma a atender às necessidades hídricas das plantas em consonância com as condições ambientais. Adicionalmente, o sensor de temperatura desempenha um papel igualmente significativo, permitindo ao sistema ajustar o programa de irrigação com base nas variações térmicas vigentes.

O desenvolvimento da interface transcorreu diretamente no software de programação, especificamente no *Arduino IoT Cloud*, conforme ilustrado na Figura 27. Esse minucioso procedimento foi executado para garantir a perfeita integração entre o *hardware* e o software, o que contribui de maneira significativa para a eficiência e a acessibilidade do sistema de irrigação.

Figura 27- Visualização da tela do aplicativo de controle e monitoramento.

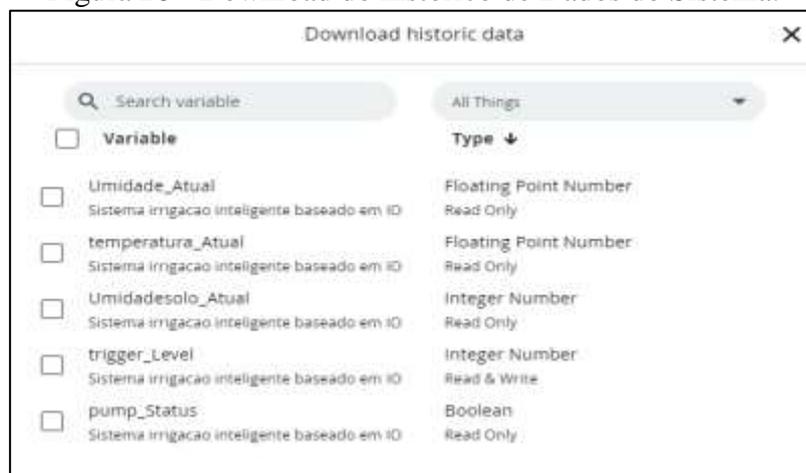


Fonte: Software compilador Arduino.

Coleta de Dados:

Os dados do histórico do processo de irrigação, que incluem todas as variáveis de medição, como umidade, temperatura, umidade do solo e acionamento da bomba d'água, são armazenados na nuvem por meio do sistema *IoT Cloud*. É necessário selecionar quais dados devem ser carregados. Posteriormente, uma planilha Excel contendo as informações das variáveis escolhidas é enviada para o e-mail do usuário. Após a coleta dos dados, o usuário pode gerar um gráfico de tendência para uma melhor visualização das informações do sistema, conforme demonstrado na Figura28.

Figura 28 - Download do histórico de Dados do Sistema.



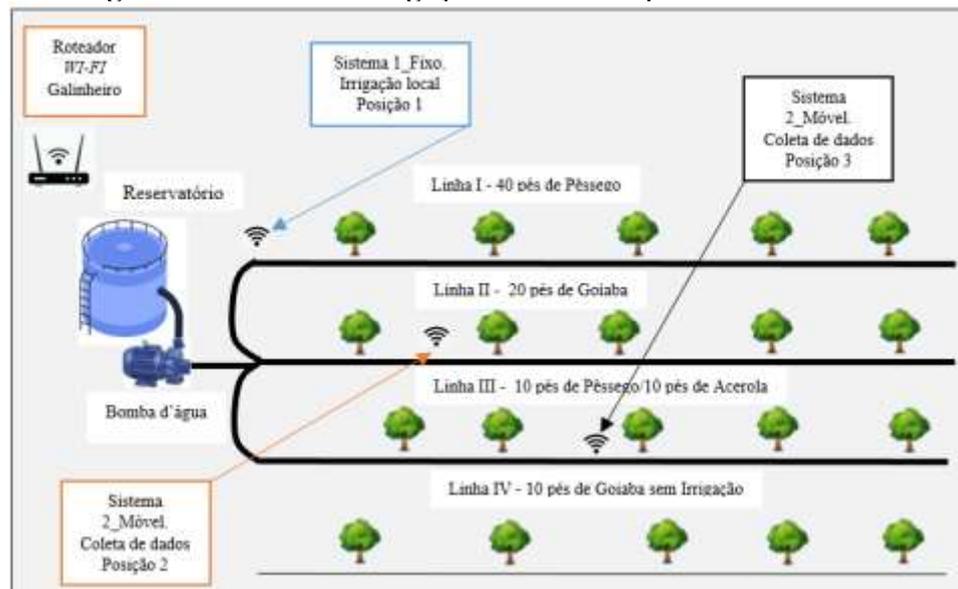
Fonte: Software compilador Arduino.

3.2.3 Metodologia para execução dos experimentos.

Teste de medição, controle e acionamento remoto do Sistema de irrigação.

Como indicado na Figura 29, o protótipo do Sistema 1 fixo foi estrategicamente instalado na extremidade de uma das quatro linhas de produção, mantendo uma distância de 10 metros em relação ao roteador Wi-Fi. Esta configuração abrange um total de 180 metros lineares de tubulação, implementados para a aplicação da técnica de irrigação por gotejamento. Cada uma dessas linhas de produção é destinada ao cultivo diversificado, com a primeira linha compreendendo quarenta pés de pêssigo, a segunda contendo vinte pés de goiaba, a terceira composta por dez pés de goiaba e dez pés de acerola, e, por fim, a quarta linha destinada a dez pés de goiaba sem qualquer sistema de irrigação implementado.

Figura 29 - Linhas de Irrigação controladas por Sistema IoT.

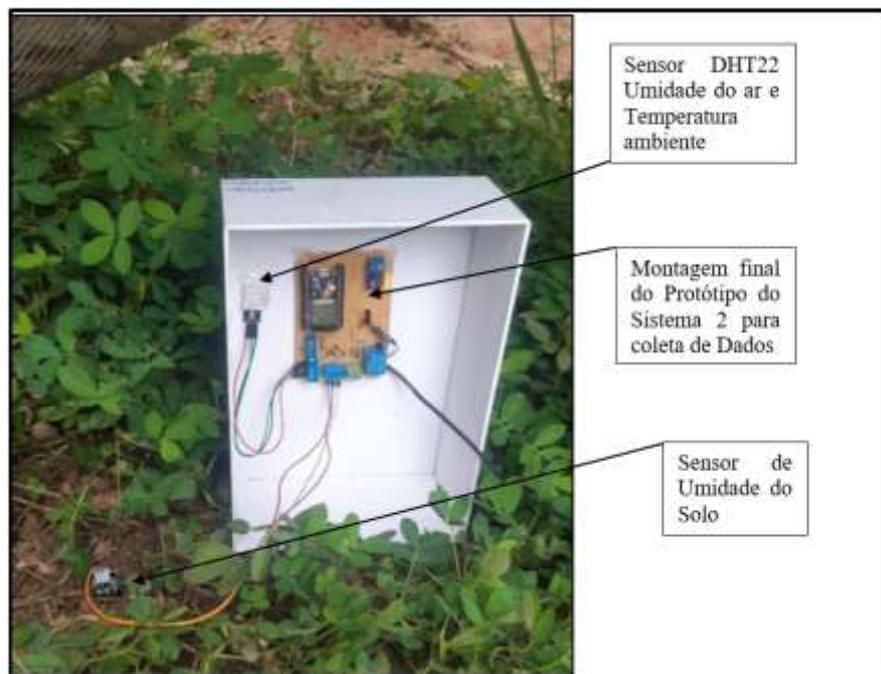


Fonte: o autor.

O segundo sistema, denominado (Sistema 2) móvel para coleta de dados, conforme demonstrado na Figura 30, foi estrategicamente posicionado em dois locais distintos dentro da plantação, com a finalidade de realizar a coleta de dados. Inicialmente, a primeira amostra foi posicionada a uma distância de 12 metros do ponto de acesso Wi-Fi, enquanto a segunda amostra foi localizada a uma distância de 22 metros do mesmo ponto de acesso. No dia dez de fevereiro de 2024, os sistemas foram ativados simultaneamente para permitir a coleta de dados comparativos.

Cada um dos sistemas de irrigação automatizado com *IoT* foram configurados com precisão e implementados em uma área experimental específica dentro da plantação. Tais sistemas foram equipados com uma gama de dispositivos, incluindo sensores de umidade do solo, temperatura e umidade atmosférica, bem como relés para o controle da bomba d'água e módulos de comunicação *IoT*. Essa configuração possibilitou a coleta abrangente de dados ambientais e do solo, proporcionando uma base sólida para análises comparativas e avaliações do desempenho dos sistemas em diferentes localidades dentro da plantação.

Figura 30 - Sistema 2 para coleta de Dados.



Fonte: o autor.

Foram selecionados dispositivos móveis (smartphones) e computadores para servirem como dispositivos de controle remoto. Cada dispositivo foi configurado com acesso à interface de controle remoto do sistema de irrigação. Utilizando os dispositivos móveis e computadores, os foi ajustado remotamente os parâmetros de irrigação em ambos os sistemas. Os parâmetros ajustados incluíram horários de rega, duração da irrigação e frequência de rega, de acordo com as necessidades das plantas e as condições ambientais.

Método para testes e calibração de sensores de Umidade de Solo.

A medição precisa da umidade do solo desempenha um papel crucial na agricultura de precisão e no desenvolvimento de sistemas de irrigação eficiente, para isto foi seguido os seguintes procedimentos para calibração dos sensores.

Segundo Paris e Rosa (2018) o processo mais eficaz para medir a umidade do solo é utilizando a técnica de secagem em estufa. Inicialmente, as amostras são pesadas quando estão úmidas e, em seguida, são colocadas na estufa por no mínimo 24 horas até atingirem um peso constante. Após esse período, as amostras são pesadas novamente, e os valores obtidos são inseridos na equação 1 conforme descrito a seguir.

$$U = \frac{Ma}{Ms} = \frac{Mt - Ms}{Ms} \quad \text{(Equação 1)}$$

Sendo: U = umidade do solo (%)

Ma = Massa da água (g)

Ms = Massa seca (g)

Mt = Massa total (g)

Observação: Para obter os resultados de umidade do solo em porcentagem basta multiplicar o resultado por 100.

1. Preparação da Amostra de Solo:

Uma amostra de aproximadamente 1 kg de terra foi coletada e colocada em um recipiente apropriado, a amostra foi aquecida em uma estufa com temperatura de 200 graus Celsius por um período de 24 horas para garantir a uniformidade das condições iniciais conforme Figura 31.

Figura 31 - Amostra de Solo para secagem em Estufa.



Fonte: Fotografia do acervo do autor.

2. Conexão do Sensor de Umidade do Solo:

Um sensor de umidade do solo capacitivo foi conectado à amostra de solo preparada. A conexão foi estabelecida com o controlador ESP32 com o objetivo de monitorar continuamente a umidade do solo durante o experimento de acordo com a figura 32.

Figura 32 - Conexão do sensor de umidade de solo ao controlador ESP32.



Fonte: Fotografia do acervo do autor.

3. Monitoramento da Umidade do Solo:

No recipiente contendo a amostra de solo foi adicionado água de forma padronizada 100, 200, 300, 400 e 500 mL até ocorrer a saturação do solo com umidade de 100%. Os valores de umidade do solo foram monitorados em tempo real por meio da plataforma de nuvem *IoT*.

Após 30 minutos da saturação do solo, foram coletados os valores de umidade do solo fornecidos pela plataforma *IoT* conforme Figura 33.

Figura 33 - Calibragem dos Sensores Plataforma IOT Cloud.



Fonte: o autor

De acordo com o manual do fabricante do sensor foi definido que o valor digital de 2940 corresponde ao estado de solo seco ou 0% de umidade, enquanto o valor de 1110 foi estabelecido como representativo de solo 100% úmido, conforme descrito nas especificações técnicas do sensor, conforme detalhado no (Anexo 2). Esses parâmetros foram definidos levando em consideração a integração do sensor com o microcontrolador ESP32. O algoritmo utilizado para a calibração do sensor está detalhadamente descrito no (Anexo 7).

Os dados digitais adquiridos foram registrados com o propósito de calibração e posteriormente foi gerado um diagrama de dispersão com uma reta de regressão.

De acordo com Filho (2002), a análise de regressão tem como objetivo explicar as conexões entre duas ou mais variáveis por meio de um modelo matemático, utilizando as observações dessas variáveis. As variáveis independentes incluídas no modelo buscam melhorar a capacidade de previsão em comparação com a regressão linear simples.

Metodologia de Testes para Avaliar a Eficiência na Economia de Água de um Sistema de Irrigação Automatizado com o Apoio do *IoT*.

Nesta seção, descreve-se a metodologia de testes utilizada para avaliar a eficiência na economia de água entre um sistema de irrigação tradicional manual (Grupo de Controle - GC) e um sistema automatizado de irrigação com *IoT* (Grupo Experimental - GE).

Grupo de Controle (GC): Sistema Convencional Manual

- Descrição: Utilização de um sistema de irrigação tradicional com três linhas de irrigação operadas manualmente e irrigadas separadamente.
- Período de Testes: Ano de 2021.

Procedimentos:

1. Operação manual das três linhas de irrigação em separado.
2. Medição do volume de água gasto:
 - Utilização do sistema convencional manual.
 - Medição visual do nível de água em uma caixa d'água, com a contabilização de 1000 litros de água.
 - Irrigação manual das três linhas em 30 minutos, utilizando 500 litros no total.
 - Método visual de verificação da umidade do solo.

O sistema convencional de irrigação foi configurado em conformidade com as práticas usuais da região, onde o tempo de irrigação foi estabelecido manualmente para uma duração de 30 minutos ou 1 hora, refletindo as práticas predominantes entre os agricultores locais.

Método de Verificação: Verificação visual da umidade do solo pelo agricultor.

Grupo Experimental (GE): Sistema Automatizado de Irrigação com *IoT*.

- Descrição: Utilização de um sistema de irrigação automatizado com suporte do *IoT*, controlando a irrigação com base na umidade do solo, atualização instantânea, gráficos de tendência e acionamento remoto da bomba.
- Período de Testes: fevereiro de 2024.

Procedimentos:

1. Operação automatizada das três linhas de irrigação simultaneamente.
2. Irrigação controlada pela variável de umidade do solo.
 - As três linhas receberam juntas 100 litros de água cada em 30 minutos, totalizando 300 litros dependendo da leitura de umidade do solo para atingir 70% de umidade.
 - Partindo de uma umidade de solo de 50%, levou-se 30 minutos de irrigação para alcançar os 70% desejados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, serão discutidos os resultados obtidos por meio de análises bibliométricas, incluindo a seleção de artigos e autores relevantes, bem como os resultados alcançados no desenvolvimento do artefato prático para um sistema de irrigação automatizado com IoT. Este segmento aborda os principais *insights* provenientes dessas análises, estabelecendo conexões com os objetivos da pesquisa e enriquecendo a compreensão global do tema em análise.

4.1 Resultados para o primeiro e segundo estudo bibliométrico.

Na Figura 34, são apresentados os resultados da primeira análise bibliométrica, destacando 30 artigos selecionados com base em critérios como o número de citações, a ausência de duplicações e a relevância para o tema abordado.

Figura 34 - Relação dos artigos selecionados na primeira Bibliometria.

Citações	Autores	Título	Ano
58	RF Maia, I Netto, ALH Tran	Precision agriculture using remote monitoring systems in Brazil	2017
11	X Hong	Smart control/iot system for agriculture environment control	2017
792	O Elijah, TA Rahman, I Orkumhi, ...	An overview of Internet of Things (IoT) and data analytics in agriculture: Benefits	2018
292	DC Rose, J Chivers	Agriculture 4.0: Broadening responsible innovation in an era of smart farming	2018
217	MC Vuran, A Salam, R Wong, S Irmak	Internet of underground things in precision agriculture: Architecture and technol	2018
15	CD Moreno-Moreno, M Brox-Jiménez, ...	Wireless sensor network for sustainable agriculture	2018
14	R Mulenga, J Kalezhi, SK Musonda, ...	Applying Internet of Things in monitoring and control of an irrigation system for s	2018
14	PLV Priya, NS Harshith, NVK Ramesh	Smart agriculture monitoring system using IoT	2018
233	D Pivoto, PD Waquil, E Talemini, CPS Finoc	Scientific development of smart farming technologies and their application in Bra	2018
280	I Zambon, M Cacchini, G Egidi, MG Saporit	Revolution 4.0: Industry vs. agriculture in a future development for SMEs	2019
118	AAR Madushaniki, MN Halgamuge, ...	Adoption of the internet of Things (IoT) in agriculture and smart farming towards	2019
75	E Alreshidi	Smart sustainable agriculture (SSA) solution underpinned by internet of things (Io	2019
60	A Sinha, G Shrivastava, P Kumar	Architecting user-centric internet of things for smart agriculture	2019
17	SP Jaiswal, VS Bhadoria, A Agrawal, ...	Internet of Things (IoT) for smart agriculture and farming in developing nations	2019
13	HH Kadar, SS Sameon	Sustainable water resource management using IOT solution for agriculture	2019
48	D Pivoto, B Barham, P Dabdab, ...	Factors influencing the adoption of smart farming by Brazilian grain farmers	2019
329	V Saiz-Rubio, F Rovira-Más	From smart farming towards agriculture 5.0: A review on crop data management	2020
254	Z Zhai, JF Martínez, V Beltran, NL Martínez	Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges	2020
229	L García, L Parra, JM Jimenez, J Lloret, P Lo	IoT-based smart irrigation systems: An overview on the recent trends on sensors	2020
34	AD Boursianis, MS Papadopoulou, A Gotsis	Smart irrigation system for precision agriculture—The ARETHOUSA IoT platform	2020
33	ÉL Bolfe, LAC Jorge, IDA Sanchez, A Luchiat	Precision and digital agriculture: Adoption of technologies and perception of Braz	2020

Fonte: *Publish or Perish.*

A segunda análise bibliométrica identificou onze artigos que atenderam aos critérios preestabelecidos, os quais incluíam um mínimo de dez citações e uma relação direta com a pesquisa em questão. Esses resultados são ilustrados na Figura 35.

Figura 35 - Relação dos artigos selecionados na segunda Bibliometria.

Citações	Autores	Título	Ano
1105	L. Chetmi, R. Bera	A comprehensive survey on internet of Things (IoT) toward 5G wireless systems	2019
207	Y Tang, S Dananjayan, C Hou, Q Guo, S Luo, ...	A survey on the 5G network and its impact on agriculture: Challenges and opportunities	2021
90	YB Dikria, R Ali, MK Aftal, SW Kim	Next-generation internet of things (IoT): Opportunities, challenges, and solutions	2021
58	Z Hu, L Xu, L Cao, S Liu, Z Luo, J Wang, X U, ...	Application of non-orthogonal multiple access in wireless sensor networks for smart agriculture	2019
31	S Kota, G Giambene	Satellite 5G: IoT use case for rural areas applications	2019
20	KS Mohamed, MY Alias, M Roslee, ...	Towards green communication in 5G systems: Survey on beamforming concept	2021
7	SB Damsgaard, NH Marciano, M Nerremark, ...	Wireless Communications for Internet of Farming: An Early 5G Measurement Study	2022
4	S Polymeni, S Plastras, DN Skoutas, G Kourmentza	The Impact of 6G-IoT Technologies on the Development of Agriculture 5.0: A Review	2023
3	T Zhikov, E Sklar	5G on the Farm: Evaluating Wireless Network Capabilities for Agricultural Robotics	2022
2	J Liu, L Shu, X Lu, Y Liu	Survey of Intelligent Agricultural IoT Based on 5G	2023
1	P Ajmani, P Saigal	5G and IoT for Smart Farming	2023

Fonte: *Publish or Perish.*

4.3 Resultados da Elaboração do Artefato

Em 9 de junho de 2023, foi implementado o protótipo do sistema de irrigação automatizado conforme Figura 36, marcando o início de uma avaliação abrangente de seu desempenho. Desde a instalação, todas as variáveis de medição, incluindo umidade, temperatura, e teor de umidade do solo, juntamente com os registros de acionamento da bomba d'água, foram meticulosamente coletados e armazenados para compor uma amostra representativa do funcionamento do sistema.

Após a conclusão dos testes e ajustes, o artefato foi devidamente montado, integrando todos os seus componentes em uma caixa robusta projetada para resistir às condições ambientais adversas. As conexões finais foram estabelecidas, conectando o protótipo à bomba d'água e aos sensores responsáveis pela medição da umidade do solo, temperatura e umidade do ar.

Figura 36- Montagem e implementação final do protótipo.



Fonte: o autor.

4.4 Teste de medição, controle e acionamento remoto do Sistema de irrigação.

Na Tabela 1 são apresentados os valores de medição do sistema realizadas no dia 10 de fevereiro de 2024. Com base no período de medição, foram coletados os valores de umidade do solo dos sensores 1 e 2, posicionados em três localidades distintas nas linhas de plantações existentes. Após o ajuste dos parâmetros de irrigação pelo nível de acionamento da bomba, foi possível verificar a atuação da bomba d'água em resposta aos ajustes de nível de acionamento. Os dados sobre a ativação das válvulas de controle foram registrados em intervalos regulares durante o período de teste, visando avaliar o desempenho dos sistemas de irrigação.

Após a conclusão dos testes, os dados coletados foram submetidos a uma análise comparativa entre o desempenho do sistema de irrigação local e do sistema de controle remoto. Todos os procedimentos executados durante o experimento foram registrados, incluindo datas, horários, parâmetros de irrigação ajustados e resultados observados.

Tabela 1-Dados coletados

DATA	HORA	DISPOSITIVO	POSIÇÃO DO SENSOR	NÍVEL DE ACIONAMENTO DA BOMBA	STATUS DA BOMBA	LEITURA UMIDADE DE SOLO
10/02/2024	15:17:20	SENSOR1 FIXO	1	55	OFF	89%
10/02/2024	15:18:22	SENSOR1 FIXO	1	98	ON	91%
10/02/2024	15:25:12	SENSOR1 FIXO	1	98	ON	91%
10/02/2024	15:26:13	SENSOR1 FIXO	1	75	OFF	90%
10/02/2024	15:50:13	SENSOR1 FIXO	1	75	OFF	90%
10/02/2024	15:51:26	SENSOR1 FIXO	1	94	ON	90%
10/02/2024	16:23:16	SENSOR1 FIXO	1	94	OFF	90%
10/02/2024	16:24:27	SENSOR1 FIXO	1	75	OFF	91%
10/02/2024	16:30:56	SENSOR1 FIXO	1	71	OFF	91%
10/02/2024	16:31:18	SENSOR1 FIXO	1	94	ON	91%
10/02/2024	16:33:48	SENSOR1 FIXO	1	74	OFF	90%
10/02/2024	16:18:03	SENSOR1 FIXO	1	73	OFF	91%
10/02/2024	15:11:20	SENSOR2 MÓVEL	2	75	OFF	90%
10/02/2024	15:15:41	SENSOR2 MÓVEL	2	96	ON	90%
11/02/2024	16:21:22	SENSOR2 MÓVEL	2	96	ON	90%
10/02/2024	15:24:41	SENSOR2 MÓVEL	2	59	OFF	89%

Fonte: o autor.

Na Tabela 1, é apresentada a situação da bomba d'água, indicando se está ligada (ON) ou desligada (OFF). O acionamento da bomba é verificado na quinta coluna, onde o nível de acionamento é ajustado. Quando o valor de acionamento é superior ao valor medido pelo sensor de umidade, a bomba é ativada (ON); quando o nível de acionamento é inferior ao valor medido, a bomba é desativada (OFF).

Com base nos dados coletados da Tabela 1, foram elaborados três gráficos para ilustrar o comportamento da medição de umidade do solo, conforme representado nas Figuras 37, 38 e 39. Os gráficos apresentam, no eixo x, os horários das coletas de dados, o status de acionamento da bomba e o nível de acionamento da bomba. No eixo y, são apresentados os valores de umidade do solo. A coleta de dados teve início às 15h:17m:20s.

O objetivo principal dos testes é verificar a resposta da bomba de água ao acionamento em diferentes cenários, como mudanças no setpoint, distância de acionamento remoto, e tempo de resposta da bomba.

Os resultados evidenciam uma leve variação de aproximadamente 1% a 2% nos valores registrados pelos sensores nas posições 1, 2 e 3. Essa constatação indica uma relativa estabilidade na umidade do solo em todas as áreas monitoradas, o que sugere a consistência dos dados coletados ao longo do experimento.

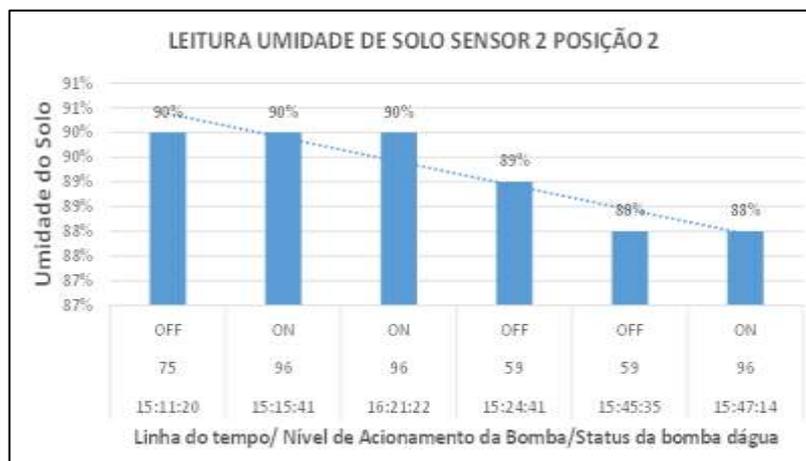
É pertinente ressaltar que os ajustes para o acionamento da bomba foram fundamentados nos valores atuais de umidade do solo, os quais já se encontravam em torno de 90% em praticamente todos os pontos de medição. Esta observação decorre da impossibilidade de conduzir os testes em condições de umidade do solo mais baixas. Dessa forma, o teste foi realizado com o intuito de obter dados para o acionamento remoto e medição das variáveis de umidade do solo, considerando as condições prevalentes no momento da pesquisa.

Figura 37- Leitura de umidade de solo Sensor 1_posição 1



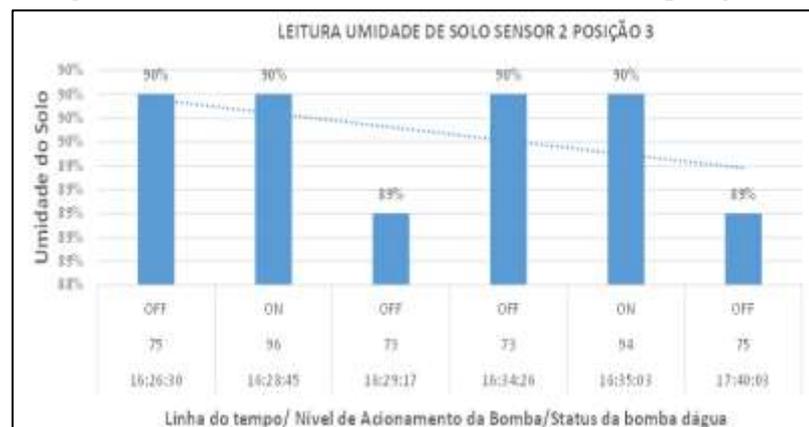
Fonte: o autor.

Figura 38- Leitura de umidade de solo sensor 2_posição 2



Fonte: o autor.

Figura 39 -Leitura de umidade de solo sensor 3_posição 3

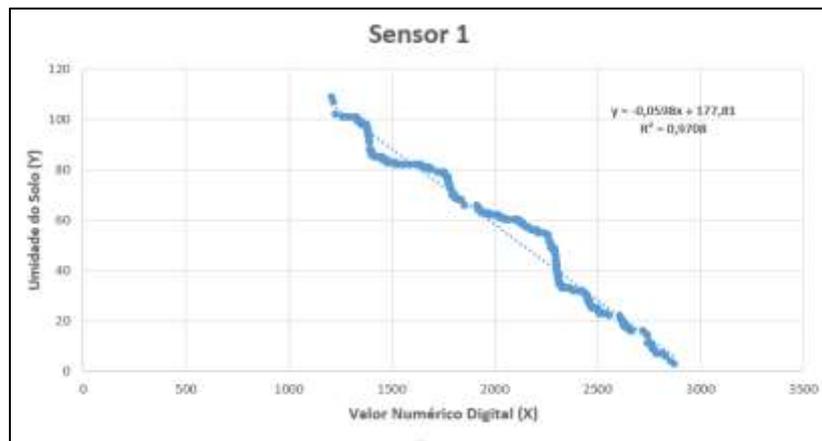


Fonte: o autor.

4.5 Resultados dos testes de calibração dos Sensores de Umidade do Solo.

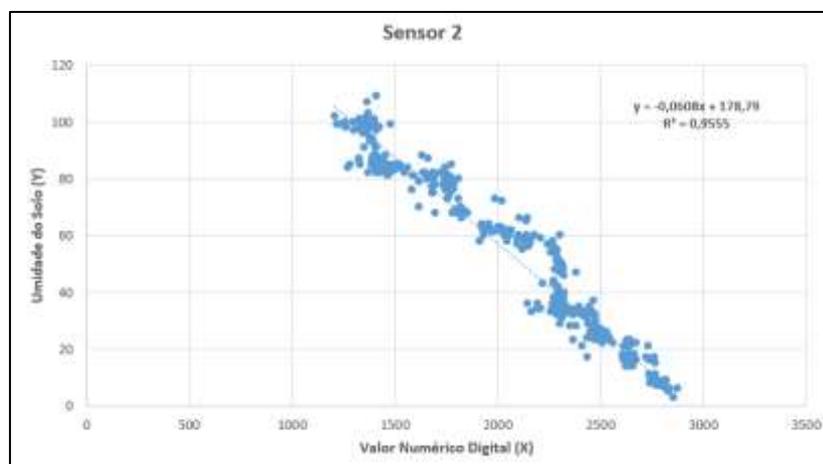
As curvas de calibração dos sensores de umidade do solo foram desenvolvidas com base nos dados coletados. Nas abscissas, foram plotados os valores digitais dos sensores, enquanto nas ordenadas foram representados os níveis de umidade do solo em porcentagem conforme Figuras 40 e 41. Os resultados mostraram que as curvas de calibração foram bem ajustadas, com um coeficiente de determinação (R^2) superior a 97% para o sensor 1 e acima de 95% para o sensor 2.

Figura 40- Calibração Sensor 1



Fonte: o autor.

Figura 41- Calibração Sensor 2



Fonte: o autor.

Esses resultados indicam que os sensores de umidade do solo apresentam uma relação linear confiável entre os valores digitais e os níveis de umidade do solo. Isso valida a precisão dos sensores e a eficácia do método de calibração utilizado.

Com base nos dados calibrados dos sensores de umidade do solo, o sistema de irrigação automático demonstrou um desempenho satisfatório. A precisão dos sensores na detecção da umidade do solo permitiu uma irrigação eficiente e precisa, evitando tanto a sub-irrigação quanto a super-irrigação. O alto coeficiente de determinação (R^2) obtido na calibração dos sensores indica uma alta precisão na medição da umidade do solo, isto significa que quanto mais próximo de 1 for o valor do coeficiente melhor é o ajuste aos dados.

De acordo com Filho (2002) o coeficiente de determinação indica a proporção da variância da variável dependente que pode ser estatisticamente atribuída ao conhecimento de uma ou mais variáveis independentes. Isso confere confiabilidade aos resultados do sistema de irrigação automático, contribuindo para uma gestão eficaz dos recursos hídricos e otimização do processo de irrigação.

Para efeito de comparação, Paris e Rosa (2018) utilizaram o sensor CS12, um sensor capacitivo conhecido pela sua capacidade de calibração, e obtiveram um coeficiente de determinação (R^2) de 0,9359. Da mesma forma, Cruz et al. (2019), ao utilizar o sensor capacitivo modelo YL-69 em um solo Argissolo Vermelho, descreveram com precisão e exatidão a variação da umidade do solo, com resultados de R^2 próximos à unidade (0,93).

4.6 Custo para o desenvolvimento do Artefato.

Durante o desenvolvimento desta pesquisa, foi priorizada a seleção de materiais e insumos acessíveis, visando proporcionar aos agricultores familiares um produto economicamente viável. O investimento total em materiais foi de R\$ 1.990,47, conforme detalhado no Anexo 8. Além disso, foram considerados os custos associados ao desenvolvimento da pesquisa, totalizando R\$ 5.065,53. Estes custos incluem despesas com viagens, horas dedicadas ao desenvolvimento e programação, despesas gerais e custos de combustível, entre outros. Destaca-se que o cálculo das horas trabalhadas foi baseado na média salarial de um engenheiro.

A análise dos materiais e dos custos desempenha um papel fundamental no contexto deste projeto de pesquisa. Essa análise possibilita a avaliação da viabilidade financeira, fornecendo uma base sólida para a tomada de decisões. Neste estudo, foram compiladas informações detalhadas sobre a quantidade de componentes, equipamentos e insumos necessários para a execução do projeto, bem como os custos associados a cada um desses

elementos. A Tabela 2 apresenta uma visão geral do orçamento financeiro relacionado à pesquisa.

Tabela 2- Custos para desenvolvimento da Pesquisa.

CUSTO DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA					
Item	Data	Descrição	Qtde horas trabalhadas	Valor/hora	Total
1	19/07/2023	Visita Inicial - Identificação do problema	5	R\$ 34,86	R\$ 174,30
2	14/01/2023	Visita - Levantamento de Dados para a pesquisa	9	R\$ 34,86	R\$ 313,74
3	01/05/2023	Visita - Instalação da Infraestrutura de Rede	9	R\$ 34,86	R\$ 313,74
4	09 e 10/06/2023	Visita - Instalação e funcionamento do protótipo	18	R\$ 34,86	R\$ 627,48
7	*****	Horas de programação/Desenvolvimento	30	R\$ 34,86	R\$ 1.045,80
8	*****	Despesas Gerais, combustível	*****	*****	R\$ 600,00
9	*****	Materiais utilizados	*****	*****	R\$ 1.990,47
				Total Geral	R\$ 5.065,53

Fonte: o autor.

4.7 Resultados dos testes avaliação da eficiência na economia de água.

Considerando os experimentos realizados e o fato de que o agricultor empregou um sistema de irrigação único para regar simultaneamente os pés de goiaba, pêssego e acerola, o comprimento total em metros lineares de tubos utilizados para a irrigação totalizou 180 metros, com uma distância de 0,70 centímetros entre os bicos, conforme detalhado no (Anexo 6) para visualização do tubo gotejador.

A eficiência na economia de água entre o Grupo Experimental e o Grupo de Controle pode ser demonstrada por meio da seguinte tabela comparativa:

Tabela 3 - Tabela comparativa dos Testes para Eficiência de economia de água.

Grupo	Sistema de Irrigação	Tempo de Irrigação	Consumo de Água	Economia de Água	Verificação da Umidade do solo	Eficiência (%)	Nível de Umidade Alcançado (%)
Controle (GC)	Convencional Manual (Cenário 1)	30 minutos (mínimo)	500 litros	*****	Verificação visual da umidade	*****	*****
Experimental (GE)	Automatizado com IoT (Cenário 1)	30 minutos (mínimo)	300 litros	200 litros	Sensor de Umidade do Solo	40%	70%

Fonte: o Autor.

Observações:

- A eficiência na economia de água é demonstrada pelo grupo experimental (GE), que utilizou um sistema automatizado com IoT, resultando em uma economia de 200 litros em comparação com o grupo de controle (GC), que usou um sistema manual convencional.
- A capacidade de acionamento automático da bomba de água com base na umidade do solo no sistema experimental, permitiu uma irrigação mais precisa e eficiente evitando desperdícios de água.
- A atualização instantânea e os gráficos de tendência fornecidos pelo sistema *IoT* permitiu ao

agricultor uma visão ampliada do comportamento do solo e as necessidades de irrigação, possibilitando uma gestão mais inteligente dos recursos hídricos.

Os sistemas de irrigação inteligente com *IoT* podem ajustar a quantidade e o tempo de irrigação com base em dados em tempo real, como umidade do solo, previsões meteorológicas. O sistema com *IoT* possui a capacidade de ajustar a irrigação com precisão, isto leva a uma economia na utilização da água.

Desta forma é possível mostrar que no método tradicional o agricultor não tem este controle, isto porque a irrigação permanece ligada por muito tempo, o que resulta em desperdício de água. Isso significa que a planta pode receber água muito além do necessário ou pouca água.

4.8 Questionário de Avaliação de Satisfação do Usuário.

Os resultados provenientes do questionário de Avaliação de Satisfação do Usuário do Sistema de Irrigação Automatizada com suporte de *IoT*, conduzido em 13/02/2024 e respondido por meio do Google *Forms*, conforme ilustrado na Figura 41, demonstraram uma avaliação positiva por parte do único usuário participante da pesquisa.

Em relação à facilidade de uso do sistema, o usuário o considerou "Fácil", demonstrando uma experiência satisfatória em operar o sistema. Além disso, mostrou-se "Satisfeito" com a precisão das leituras dos sensores de umidade do solo, o que é fundamental para garantir uma irrigação adequada. A confiabilidade do sistema em responder às condições climáticas e às necessidades de irrigação das plantas foi considerada "Confiável" pelo usuário. Isso indica uma percepção positiva em relação à capacidade do sistema de atender às demandas da plantação de forma eficaz.

O usuário também destacou melhorias significativas na eficiência no uso da água desde a implementação do sistema automatizado, além de ter percebido uma economia de tempo na gestão da irrigação. Esses resultados sugerem que o sistema não apenas oferece benefícios em termos de economia de recursos, mas também facilita o trabalho do agricultor.

Apesar de ter enfrentado algumas dificuldades leves no acesso à interface de controle remoto do sistema e ter relatado problemas técnicos de forma ocasional, o usuário mostrou uma satisfação geral com o sistema. Além disso, destacou estar muito satisfeito com o suporte técnico oferecido pelo fornecedor, o que demonstra uma boa experiência de atendimento ao cliente.

Em suma, os resultados do questionário refletem uma aceitação positiva e uma percepção favorável do usuário em relação ao Sistema de Irrigação Automatizada com *IoT*, evidenciando seu potencial para melhorar a eficiência e a produtividade na agricultura familiar.

Figura 42- Questionário de Satisfação de Usuário do Sistema de Irrigação automatizado.

Questionário de Avaliação de Satisfação do Usuário do Sistema de Irrigação Automatizada com IOT	
Carimbo de data/hora: 13/02/2024 14:09:49	
Area de Atuação: Agricultura Familiar	
1. Em relação à facilidade de uso do sistema, você o considera:	Fácil
2. Você está satisfeito com a precisão das leituras dos sensores de umidade do solo?	Satisfeito
3. O quão confiável você considera a resposta do sistema às condições climáticas e às necessidades de irrigação das plantas?	Confiável
4. Você acha que o sistema de irrigação automatizado melhorou a eficiência no uso da água na sua plantação?	Sim, significativamente
5. Você teve alguma dificuldade em acessar a interface de controle remoto do sistema?	Algumas dificuldades leves
6. Você recomendaria o sistema de irrigação automatizada com IoT para outros agricultores?	Definitivamente sim
7. Como você classificaria a eficácia geral do sistema de irrigação automatizada com IoT?	Bom
8. Você percebeu alguma economia de tempo na gestão da irrigação desde a implementação do sistema automatizado?	Sim, muito tempo economizado
9. Você teve problemas técnicos frequentes com o sistema de irrigação automatizada com IoT?	Raramente tive problemas técnicos
10. Você está satisfeito com o suporte técnico oferecido pelo fornecedor do sistema?	Muito satisfeito
11. Você está satisfeito com o custo de Implantação do projeto?	Satisfeito

Fonte: o autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.

Na presente pesquisa investigou-se a viabilidade e o potencial de um sistema automatizado de irrigação, de baixo custo, interface amigável ao usuário e em Internet das Coisas (IoT), na expectativa de ganhos de produtividade na produção de frutas. Nesse contexto, a tecnologia se mostrou uma aliada valiosa, atuando como uma ferramenta capaz de contribuir para a economia de água, ao mesmo tempo em que combate a escassez hídrica aprimorando a produção e a qualidade das frutas. A pesquisa baseou-se em objetivos específicos, todos eles atingidos plenamente, conforme descritos a seguir:

- Um sistema foi projetado e implementado com sucesso, integrando sensores de umidade do solo e sensores meteorológicos para monitorar e regular a irrigação de forma eficaz.
- Desenvolveu-se uma interface amigável e intuitiva, que ao agricultor monitorar e controlar a irrigação das plantas em tempo real e remotamente.
- Permitiu avaliar a eficiência hídrica, redução de custos (consumo de água); não se teve tempo hábil para averiguar ganhos de produtividade e melhoria de qualidade.
- Avaliou-se qualitativamente o impacto do sistema na tomada de decisão, e observou-se uma melhoria na capacidade de planejamento e gestão da produção.
- Implantou-se melhorias no sistema baseadas nas avaliações e opiniões do agricultor.

Atribui-se em grande parte ao sucesso desta pesquisa a adoção do Design Science Research – DSR, que permitiu a construção de um sistema complexo, capaz de lidar com requisitos dinâmicos, com a identificação e mitigação de riscos.

Questões pertinentes à conectividade e abrangência da internet podem emergir como obstáculos, sobretudo em contextos rurais. No escopo específico desta pesquisa, desafios associados à qualidade da rede, incluindo instabilidade e restrições de alcance, demandaram consideração, principalmente pelo baixo desempenho na transmissão e recepção de dados. A implementação da tecnologia 5G, notadamente em áreas rurais, surge como uma solução

potencial para mitigar tais dificuldades, proporcionando velocidade elevada e baixa latência.

Também deve-se levar em consideração aspectos culturais que podem inibir sua utilização, em função da possível resistência às novas tecnologias. A finalização da presente pesquisa deve culminar com o Registro do Circuito Eletrônico e do SW do aplicativo de controle, enriquecendo ainda mais o entregável de uma pesquisa de Mestrado Profissional.

5. 1 Desafios e Limitações e Trabalhos Futuros

Ao examinar os desafios e limitações intrínsecos à pesquisa sobre a implementação de um sistema de irrigação automatizado de baixo custo, utilizando a Internet das Coisas (*IoT*) em um contexto de agricultura orgânica familiar sustentável, focado na otimização da produção de frutas, é imperativo identificar as áreas em que a adoção dessa tecnologia pode enfrentar obstáculos.

Uma das áreas críticas de preocupação está relacionada à operacionalização do sistema, que engloba a integração de sensores, atuadores e controladores em uma infraestrutura de internet. Agricultores familiares, especialmente aqueles menos familiarizados com tecnologias como computadores, smartphones ou sistemas automatizados, podem encontrar dificuldades na configuração e operação do sistema.

No entanto, no contexto específico do agricultor que detém a propriedade onde a pesquisa foi conduzida, não foram identificadas dificuldades significativas na utilização e operação do sistema. Essa facilidade decorre, em grande parte, de sua formação como engenheiro agrônomo, que atuou como um mitigador em relação às complexidades tecnológicas. Contudo, é relevante salientar que esse cenário pode não ser replicável para outros agricultores. Nesse sentido, estratégias de capacitação específicas podem se mostrar essenciais para superar eventuais desafios relacionados à adoção da tecnologia, assegurando sua eficácia e aceitação.

Ademais, questões pertinentes à conectividade e abrangência da internet podem emergir como obstáculos, sobretudo em contextos rurais. No escopo específico desta pesquisa, desafios associados à qualidade da rede, incluindo instabilidade e restrições de alcance, demandam consideração, uma vez que podem afetar a eficiência na transmissão e recepção de dados. A implementação da tecnologia 5G, notadamente em áreas rurais, surge como uma solução potencial para mitigar essas preocupações, proporcionando velocidade elevada e baixa latência.

Outro aspecto a ser levado em conta é a manutenção do sistema, que pode acarretar

custos adicionais para os pequenos agricultores. A necessidade de substituição de equipamentos defeituosos ou a falta de energia elétrica em determinadas regiões podem se revelar desafios importantes, sobretudo para agricultores com recursos financeiros limitados.

Apesar de o sistema se destacar pela sua acessibilidade em comparação com outras soluções, alguns agricultores familiares podem encontrar dificuldades na aquisição inicial dos componentes, devido a restrições financeiras.

Além disso, aspectos culturais podem contribuir para a resistência de alguns agricultores em relação às novas tecnologias. Aqueles que estão acostumados a práticas tradicionais podem necessitar de tempo para se adaptar às inovações tecnológicas.

Para futuras pesquisas, algumas sugestões podem ser consideradas, como a adaptação do sistema para outras culturas, ampliando seu alcance e aplicabilidade. A integração com outras tecnologias, como protocolos de comunicação LoRaWAN, pode permitir maior alcance de transmissão e recepção a longas distâncias. Estudos longitudinais ao longo de várias temporadas de cultivo possibilitariam uma análise das tendências de produtividade, qualidade das frutas e eficiência hídrica ao longo do tempo.

A busca por interfaces de usuário mais intuitivas e acessíveis, tornando o sistema mais amigável para agricultores familiares sem experiência técnica, também se mostra como uma área de desenvolvimento. Por fim, investigações mais detalhadas sobre os impactos ambientais do sistema possibilitariam uma avaliação mais abrangente de sua sustentabilidade, incluindo o *design* de sistemas com fontes de energia alternativas, como solar ou eólica.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas Irrigação Uso da Água na Agricultura Irrigada**. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017, [S. l.], p. 86, 2017.
- ALRESHIDI, E. **Smart Sustainable Agriculture (SSA) Solution Underpinned by Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI)**. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, [S. l.], v. 10, n. 5, 2019.
- ANGELUCI, A. C. B.; REDIGOLO, G. L.; ARAKAKI, P. J. **Design Science Research como Método para Pesquisas em Tdic na Educação**. [S. l.], 2020.
- BAX, M. P. **Design science: filosofia da pesquisa em ciência da informação e tecnologia**, [S. l.], v. 42, n. 2, 2013.
- BOLFE, É. L.; JORGE, L. A. de C.; SANCHES, I. D.; LUCHIARI JÚNIOR, A.; DA COSTA, C. C.; VICTORIA, D. de C.; INAMASU, R. Y.; GREGO, C. R.; FERREIRA, V. R.; RAMIREZ, A. R. **Precision and Digital Agriculture: Adoption of Technologies and Perception of Brazilian Farmers**. *Agriculture*, v. 10, n. 12, p. 653, 2020.
- CAMARGO, B. V.; JUSTO, A. M. IRAMUTEQ: **Um software gratuito para análise de dados textuais**. *Temas em Psicologia*, [S. l.], v. 21, n. 2, p. 513–518, 2013.
- CARRION, P.; QUARESMA, M. **Internet da Coisas (IoT): Definições e aplicabilidade aos usuários finais**. [S. l.], 2019.
- CHETTRI, L.; BERA, R. **A Comprehensive Survey on Internet of Things (IoT) Toward 5G Wireless Systems**. *IEEE Internet of Things Journal*, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 16–32, jan. 2020.
- CODELUPPI, G. *et al.* **LoRaFarM: A LoRaWAN-Based Smart Farming Modular IoT Architecture**. *Sensors*, [S. l.], v. 20, n. 7, p. 2028, 4 abr. 2020.
- CRUZ, R. S. *et al.* **CALIBRAÇÃO DO SENSOR YL - 69 PARA FINS DE MONITORAMENTO DA UMIDADE DE COMPOSTEIRAS**. [S. l.], Bahia, p. 1–9, 2019.
- DAMSGAARD, S. B.; HERNANDEZ MARCANO, N. J.; NORREMARK, M.; JACOBSEN, R. H.; RODRIGUEZ, I.; MOGENSEN, P. **Wireless Communications for Internet of Farming: An Early 5 G Measurement Study**. *IEEE Access*, v. 10, p. 105263–105277, 2022.
- DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES, J. A. V. J. **Design Science Research: Método de Pesquisa para Avanço da Ciência e Tecnologia**. [S. l.]: Bookman, 2015.

ELIJAH, O. *et al.* **An Overview of Internet of Things (IoT) and Data Analytics in Agriculture: Benefits and Challenges.** [S. l.], v. 5, n. 5, p. 3758–3773, out. 2018.

EMBRAPA. **Irrigação no Brasil: necessidade e opção estratégica.** 4 jun. 2021. **Manejo de Recursos Hídricos.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/62692713/artigo-irrigacao-no-brasil-necessidade-e-opcao-estrategica>. Acesso em: 9 ago. 2023.

ESPRESSIF. **ESP32 A feature-rich MCU with integrated Wi-Fi and Bluetooth connectivity for a wide-range of applications.** 15 ago. 2023. Disponível em: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>. Acesso em: 15 ago. 2023.

FAO. **FAO'S WORK ON FAMILY FARMING: Preparing for the Decade of Family Farming (2019–2028) to achieve the SDGs.** [S. l.]: FAO, 2018.

FERREIRA, M. A. S. P. V. **A bibliometric study on Ghoshal's managing across borders.** *Multinational Business Review*, [S. l.], v. 19, n. 4, p. 357–375, 11 nov. 2011.

FERNANDO, B. S.; SABARISHWARAN, M.; PRIYA, R. R.; SANTHOSHINI, S. **Smart Agriculture Monitoring System Using Iot.** v. 6, p. 6, 2020.

FILHO, M. L. D. O. **A Utilização da Regressão Linear Como Ferramenta Estratégica Para a Projeção dos Custos Produção.** *In: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS*, 13 out. 2002. **Gestão Estratégica de Custos [...]**. São Paulo: [s. n.], 13 out. 2002. p. 14.

GARCÍA, L.; PARRA, L.; JIMENEZ, J. M.; LLORET, J.; LORENZ, P. **IoT-Based Smart Irrigation Systems: An Overview on the Recent Trends on Sensors and IoT Systems for Irrigation in Precision Agriculture.** *Sensors*, v. 20, n. 4, p. 1042, 2020.

IBGE. **Censo Agro 2017**, 2017. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/2012-agencia-de-noticias/noticias/25786-em-11-anos-agricultura-familiar-perde-9-5-dos-estabelecimentos-e-2-2-milhoes-de-postos-de-trabalho.html>. Acesso em: 3 maio. 2023.

JAIN, R. K.; GUPTA, B.; ANSARI, M.; RAY, P. P. **IOT Enabled Smart Drip Irrigation System Using Web/Android Applications.** *In: 2020*, Kharagpur, India. *Anais [...]*. Kharagpur, India: IEEE, 2020.

JAISWAL, S. P. *et al.* **Internet of Things (Iot) For Smart Agriculture and Farming in Developing Nations.** [S. l.], v. 8, n. 12, 2019.

KADAR, H. H.; SAMEON, S. S.; RAFEE, P. A. **Sustainable Water Resource Management Using IOT Solution for Agriculture.** [S. l.], p. 121–125, nov. 2019.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0.** [S. l.], p. 1–84, 2013.

KHUJAMATOV, Kh. E.; TOSHTEMIROV, T. K. **Wireless sensor networks-based Agriculture 4.0: challenges and apportions.** **2020 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT)**, [S. l.], p. 1–5, 4 nov. 2020.

KOURTIS, M.-A.; BATISTATOS, M.; XYLOURIS, G.; OIKONOMAKIS, A.; SANTORINAIOS,

D.; ZARAKOVITIS, C.; CHOCHLIOUROS, I. **Energy Efficiency in Agriculture through Tokenization of 5G and Edge Applications**. *Energies*, v. 16, n. 13, p. 5182, 2023.

LACERDA, D. P. *et al.* **Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção**. *Gestão & Produção*, [S. l.], v. 20, n. 4, p. 741–761, 26 nov. 2013.

LACERDA, D. P. *et al.* **Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção**. *Gestão & Produção*, [S. l.], v. 20, n. 4, p. 741–761, 26 nov. 2013.

LIU, J. *et al.* **Survey of Intelligent Agricultural IoT Based on 5G**. *Electronics*, [S. l.], v. 12, n. 10, p. 2336, 22 maio 2023.

LUCERO, S. **IoT platforms: enabling the Internet of Things**. *IHS TECHNOLOGY*, [S. l.], n. 1, p. 1–21, mar. 2016.

MADUSHANKI, A. A. R.; N, M.; A., W.; SYED, A. **Adoption of the Internet of Things (IoT) in Agriculture and Smart Farming towards Urban Greening: A Review**. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, v. 10, n. 4, p. 1–19, 2019.

MAHMOOD, M. R. *et al.* **A Comprehensive Review on Artificial Intelligence/Machine Learning Algorithms for Empowering the Future IoT Toward 6G Era**. *IEEE Access*, [S. l.], v. 10, p. 87535–87562, 2022.

MAIA, R. F.; NETTO, I.; TRAN, A. L. H. **Precision agriculture using remote monitoring systems in Brazil**. **2017 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)**, [S. l.], p. 1–6, out. 2017.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. **O que é a agricultura familiar? 2019**. *Vitrin da agricultura familiar*. [Governamental]. Disponível em: <https://sistemas.agricultura.gov.br/vitrine/o-que-e-a-agricultura-familiar>. Acesso em: 12 ago. 2023.

MOHAMED, K. S.; ALIAS, M. Y.; ROSLEE, M.; RAJI, Y. M. **Towards green communication in 5G systems: Survey on beamforming concept**. *IET Communications*, v. 15, n. 1, p. 142–154, 2021.

POLYMENI, S.; PLASTRAS, S.; SKOUTAS, D. N.; KORMENTZAS, G.; SKIANIS, C. **The Impact of 6G-IoT Technologies on the Development of Agriculture 5.0: A Review**. *Electronics*, v. 12, n. 12, p. 2651, 2023.

PARIS, L. A.; ROSA, H. A. **CALIBRAÇÃO DO SENSOR DE UMIDADE DE SOLO CAPACITIVO CS12 EM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO**. *Seagro 12 Semana Acadêmica de Agronomia*, [S. l.], p. 4, 6 ago. 2018.

PIVOTO, D. *et al.* **Factors influencing the adoption of smart farming by Brazilian grain farmers**. *International Food and Agribusiness Management Review*, [S. l.], v. 22, n. 4, p. 571–588, 18 jun. 2019.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE VARGEM. **PLANO MUNICIPAL DE DESENVOLVIMENTO RURAL SUSTENTÁVEL 2016 - 2019**. [S. l.]: Prefeitura do Município de Vargem, 2015. Disponível em: https://www.cati.sp.gov.br/conselhos/arquivos_mun/624_22_05_2018_PMDRS%20VARGEM_%20A%20PROVADO%2024-11-2015.pdf.

- ROSSI, F. R. **Determinantes da adoção de irrigação por citricultores da região centro-norte do Estado de São Paulo.** [S. l.], 2017.
- ROSE, D. C.; CHILVERS, J. Agriculture 4.0: Broadening Responsible Innovation in an Era of Smart Farming. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, [S. l.], v. 2, p. 87, 21 dez. 2018.
- SAIZ-RUBIO, V.; ROVIRA-MÁS, F. **From Smart Farming towards Agriculture 5.0: A Review on Crop Data Management.** *Agronomy*, [S. l.], v. 10, n. 2, p. 207, 3 fev. 2020.
- SANTOS, A. dos. **Seleção do Método de Pesquisa.** [S. l.]: Editora Insight, 2018.
- SALASSIER, B.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação.** 8. ed. [S. l.: s. n.], 2008.
- SENGUPTA, A.; DEBNATH, B.; DAS, A.; DE, D. **FarmFox: A Quad-Sensor-Based IoT Box for Precision Agriculture.** *IEEE Consumer Electronics Magazine*, v. 10, n. 4, p. 63–68, 2021.
- SILVA, E. C. R.; ALVES, F. B.; SILVA, I. I. S. da. **AGRICULTURA IRRIGADA NO CONTEXTO AMAZÔNICO: UMA ABORDAGEM SISTEMÁTICA DO USO DA ÁGUA EM UMA HORTICULTURA NO MUNICÍPIO DE ALTAMIRA-PA.** *Revista Internacional de Ciências*, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 15, 2016.
- SIQUEIRA, A. P. da S.; MARTORANO, L. G.; MORAES, J. R. da S. C.; SIQUEIRA, T. T. da S.; SILVA, T. M. G. da; MILANI, R. G. **Irrigapote: Aprendizagem Coletiva Na Utilização De Tecnologia De Irrigação Sustentável.** p. 1–19, 2018. SOUZA, M. C. D. S. A. D.; GHILARDI, H. T. **Recursos Hídricos, Agropecuária E Sustentabilidade: Desafios Para Uma Visão Ecológica Do Planeta.** v. 02, n. 47, p. 78–98, 2017.
- TANG, Y.; DANANJAYAN, S.; HOU, C.; GUO, Q.; LUO, S.; HE, Y. **A survey on the 5G network and its impact on agriculture: Challenges and opportunities.** *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 180, p. 105895, 2021.
- TESTEZLAF, R. **IRRIGAÇÃO: MÉTODOS, SISTEMAS E APLICAÇÕES.** [S. l.: s. n.], 2017.
- TRIPATHY, P. K.; TRIPATHY, A. K.; AGARWAL, A.; MOHANTY, S. P. **MyGreen: An IoT-Enabled Smart Greenhouse for Sustainable Agriculture.** *IEEE Consumer Electronics Magazine*, v. 10, n. 4, p. 57–62, 2021.
- VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. **Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping.** *Scientometrics*, [S. l.], v. 84, n. 2, p. 523–538, ago. 2010.
- VERMESAN, O.; FRIESS, P; GUILLEMIN, P; SUNDMAEKER, HARALD. **Internet of Things – From Research and Innovation to Market Deployment.** [S. l.]: River Publishers, 2014.
- P. *et al.* **IoT-oriented software platform applied to sensors-based farming facility with smartphone farmer app.** *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, [S. l.], v. 9, n. 3, p. 1095–1105, 1 jun. 2020.
- VURAN, M. C.; SALAM, A.; WONG, R.; IRMAK, S. **Internet of underground things in precision agriculture: Architecture and technology aspects.** *Ad Hoc Networks*, v. 81, p. 160–173, 2018.

ZAMBON, I. *et al.* **Revolution 4.0: Industry vs. Agriculture in a Future Development for SMEs.**

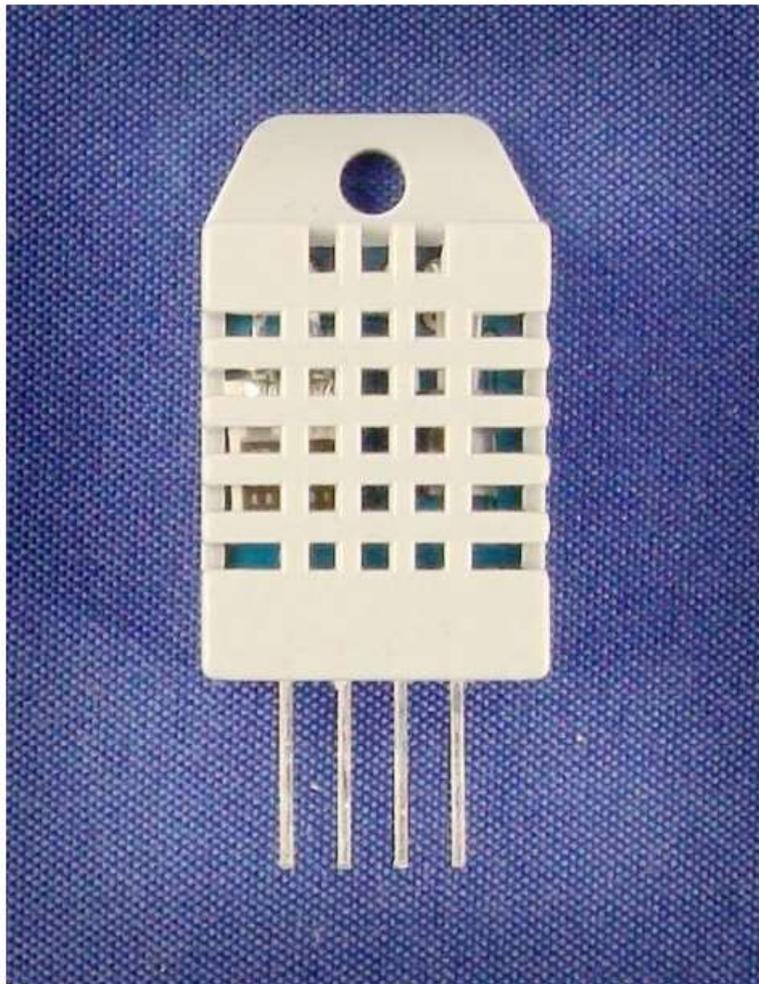
Processes, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 36, 11 jan. 2019.

ZHAI, Z. *et al.* **Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges.**
Computers and Electronics in Agriculture, [S. l.], v. 170, p. 105256, mar. 2020.

ANEXO 1 - *Data Sheet* Sensor DHT 22

Digital-output relative humidity & temperature sensor/module

DHT22 (DHT22 also named as AM2302)



Capacitive-type humidity and temperature module/sensor

1

Thomas Liu (Business Manager)

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

1. Feature & Application:

- * Full range temperature compensated * Relative humidity and temperature measurement
- * Calibrated digital signal *Outstanding long-term stability *Extra components not needed
- * Long transmission distance * Low power consumption *4 pins packaged and fully interchangeable

2. Description:

DHT22 output calibrated digital signal. It utilizes exclusive digital-signal-collecting-technique and humidity sensing technology, assuring its reliability and stability. Its sensing elements is connected with 8-bit single-chip computer.

Every sensor of this model is temperature compensated and calibrated in accurate calibration chamber and the calibration-coefficient is saved in type of programme in OTP memory, when the sensor is detecting, it will cite coefficient from memory.

Small size & low consumption & long transmission distance(20m) enable DHT22 to be suited in all kinds of harsh application occasions.

Single-row packaged with four pins, making the connection very convenient.

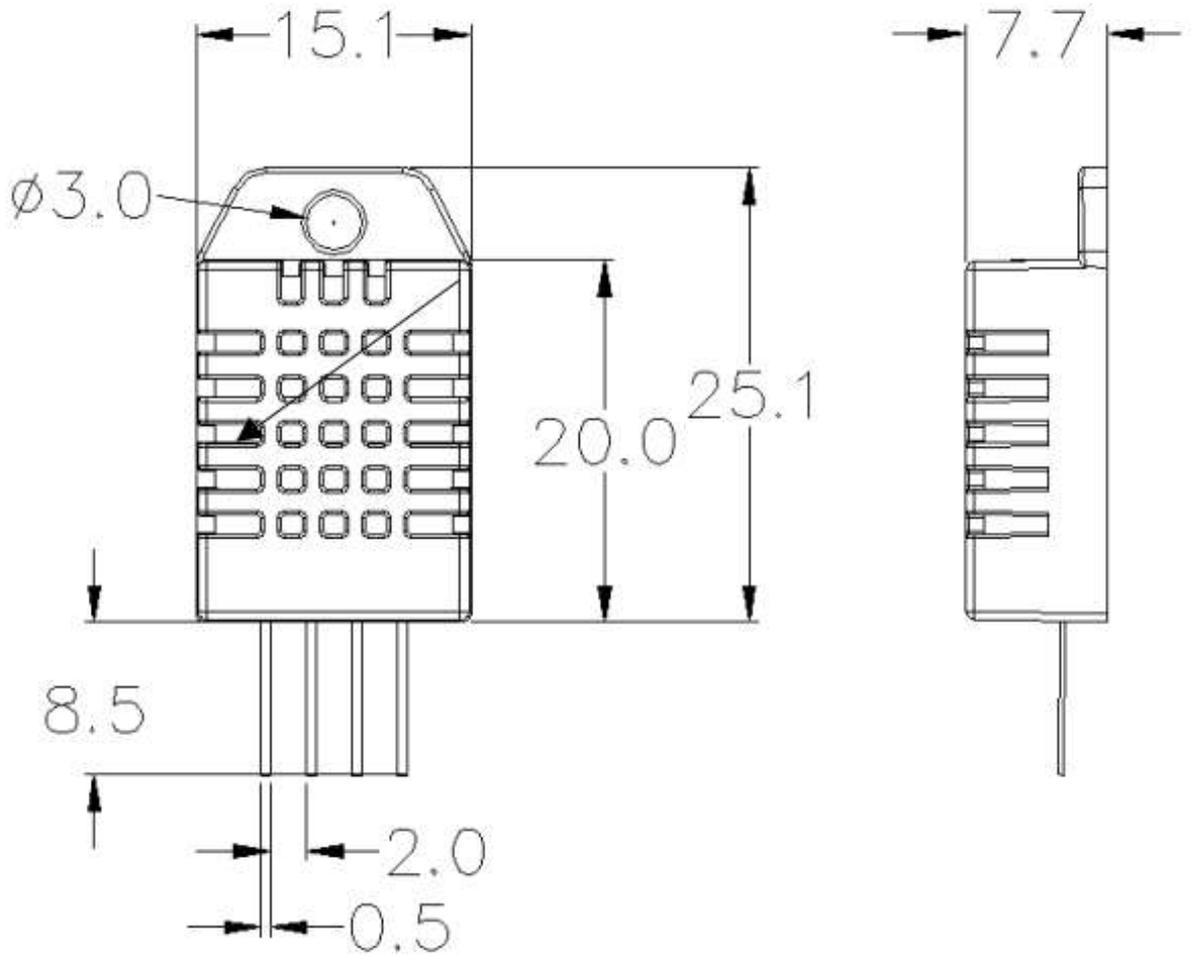
3. Technical Specification:

Model	DHT22
Power supply	3.3-6V DC
Output signal	digital signal via single-bus
Sensing element	Polymer capacitor
Operating range	humidity 0-100%RH; temperature -40~80Celsius
Accuracy	humidity +2%RH(Max +5%RH); temperature <+0.5Celsius
Resolution or sensitivity	humidity 0.1%RH; temperature 0.1Celsius
Repeatability	humidity +-1%RH; temperature +-0.2Celsius
Humidity hysteresis	+0.3%RH
Long-term Stability	+0.5%RH/year
Sensing period	Average: 2s
Interchangeability	fully interchangeable
Dimensions	small size 14*18*5.5mm; big size 22*28*5mm

4. Dimensions: (unit----mm)

1) Small size dimensions: (unit----mm)

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

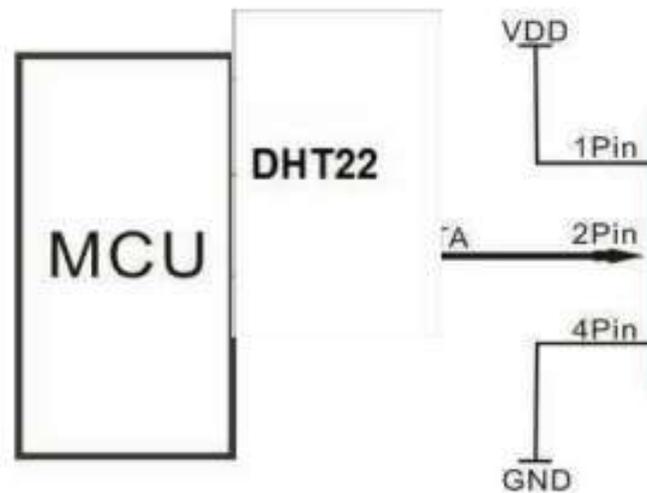


Pin sequence number: 1 2 3 4 (from left to right direction).

Pin	Function
1	VDD—power supply
2	DATA—signal
3	NULL
4	GND

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

5. Electrical connection diagram:



3Pin---NC, AM2302 is another name for DHT22

6. Operating specifications:

(1) Power and Pins

Power's voltage should be 3.3-6V DC. When power is supplied to sensor, don't send any instruction to the sensor within one second to pass unstable status. One capacitor valued 100nF can be added between VDD and GND for wave filtering.

(2) Communication and signal

Single-bus data is used for communication between MCU and DHT22, it costs 5mS for single time communication.

Data is comprised of integral and decimal part, the following is the formula for data.

DHT22 send out higher data bit firstly!

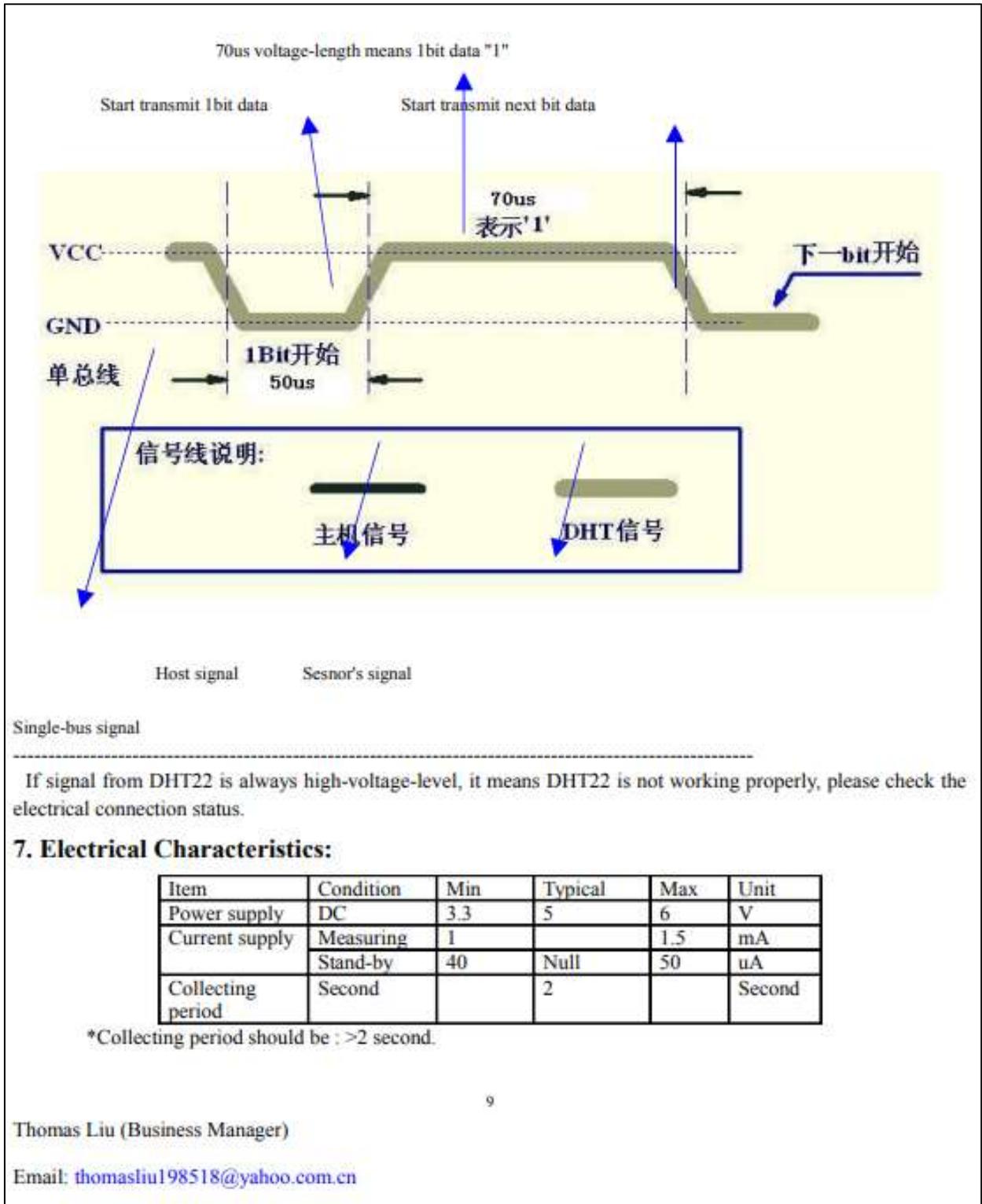
DATA=8 bit integral RH data+8 bit decimal RH data+8 bit integral T data+8 bit decimal T data+8 bit check-sum
If the data transmission is right, check-sum should be the last 8 bit of "8 bit integral RH data+8 bit decimal RH data+8 bit integral T data+8 bit decimal T data".

When MCU send start signal, DHT22 change from low-power-consumption-mode to running-mode. When MCU finishes sending the start signal, DHT22 will send response signal of 40-bit data that reflect the relative humidity

5

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn



8. Attentions of application:

(1) Operating and storage conditions

We don't recommend the applying RH-range beyond the range stated in this specification. The DHT22 sensor can recover after working in non-normal operating condition to calibrated status, but will accelerate sensors' aging.

(2) Attentions to chemical materials

Vapor from chemical materials may interfere DHT22's sensitive-elements and debase DHT22's sensitivity.

(3) Disposal when (1) & (2) happens

Step one: Keep the DHT22 sensor at condition of Temperature 50~60Celsius, humidity <10%RH for 2 hours;

Step two: After step one, keep the DHT22 sensor at condition of Temperature 20~30Celsius, humidity >70%RH for 5 hours.

(4) Attention to temperature's affection

Relative humidity strongly depend on temperature, that is why we use temperature compensation technology to ensure accurate measurement of RH. But it's still be much better to keep the sensor at same temperature when sensing.

DHT22 should be mounted at the place as far as possible from parts that may cause change to temperature.

(5) Attentions to light

Long time exposure to strong light and ultraviolet may debase DHT22's performance.

(6) Attentions to connection wires

The connection wires' quality will effect communication's quality and distance, high quality shielding-wire is recommended.

(7) Other attentions

* Welding temperature should be bellow 260Celsius.

* Avoid using the sensor under dew condition.

* Don't use this product in safety or emergency stop devices or any other occasion that failure of DHT22 may cause personal injury.

ANEXO 2 - Data Sheet Sensor de Umidade do Solo Capacitivo



Capacitive Soil Moisture Sensor SKU:SEN0193



Capacitive Soil Moisture Sensor

Contents

- [1 Introduction](#)
- [2 Specification](#)
- [3 Tutorial](#)
 - [3.1 Requirements](#)
 - [3.2 Connection Diagram](#)
 - [3.3 Calibration Code](#)
 - [3.4 Calibration](#)
 - [3.4.1 Calibration Range](#)
 - [3.4.2 Section Settings](#)
 - [3.5 Test Code](#)
- [4 FAQ](#)

Introduction

Our soil moisture sensor measures soil moisture levels by capacitive sensing rather than resistive sensing like other sensors on the market. It is made of corrosion resistant material which gives it an excellent service life.

Insert it in to the soil around your plants and impress your friends with real-time soil moisture data!

This module includes an on-board voltage regulator which gives it an operating voltage range of 3.3 ~ 5.5V. It is perfect for low-voltage MCUs, both 3.3V and 5V. For compatibility with a Raspberry Pi it will need an ADC converter.

This sensor is compatible with our 3-pin "Gravity" interface, which can be directly connected to the Gravity I/O expansion shield.

Specification

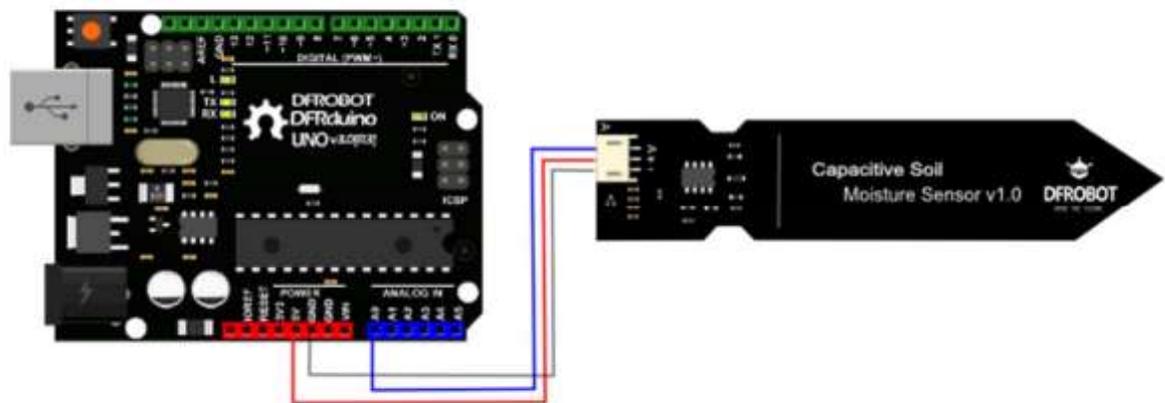
- Operating Voltage: 3.3 ~ 5.5 VDC
- Output Voltage: 0 ~ 3.0VDC
- Operating Current: 5mA
- Interface: PH2.0-3P
- Dimensions: 3.86 x 0.905 inches (L x W)
- Weight: 15g

Tutorial

Requirements

- **Hardware**
 - UNO x1
 - Capacitive Soil Moisture Sensor x1
 - Jumper Cable x3
- **Software**
 - Arduino IDE V1.6.5 [Click to Download Arduino IDE](#)

Connection Diagram

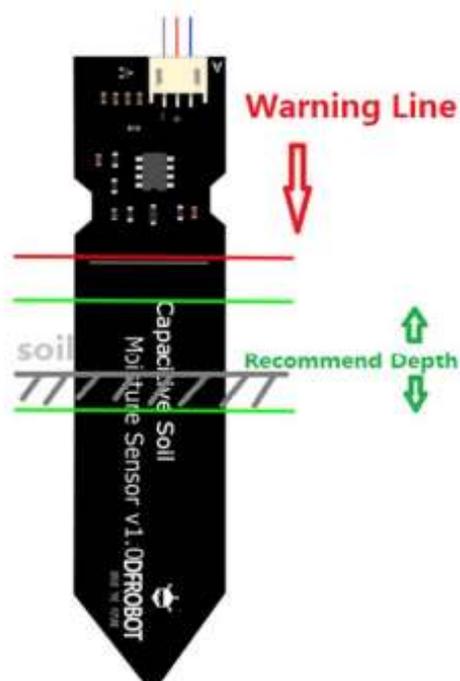


Calibration Code

```
void setup() {  
  Serial.begin(9600); // open serial port, set the baud rate as 9600 bps  
}  
void loop() {  
  int val;  
  val = analogRead(0); //connect sensor to Analog 0  
  Serial.print(val); //print the value to serial port  
  delay(100);  
}
```

Calibration

Calibration Range



1. Open the serial port monitor and set the baud rate to 9600
2. Record the sensor value when the probe is exposed to the air as "Value 1". This is the boundary value of dry soil "Humidity: 0%RH"
3. Take a cup of water and insert the probe into it no further than the red line in the diagram
4. Record the sensor value when the probe is exposed to the water as "Value 2". This is the boundary value of moist soil "Humidity: 100%RH"



The components on this board are NOT waterproof, do not expose to moisture further than the red line. (If you want to protect components from the elements, try using a length of wide heat shrink tubing around the upper-section of the board.)
There is an inverse ratio between the sensor output value and soil moisture.

Section Settings

The final output value is affected by probe insertion depth and how tight the soil packed around it is. We regard "value_1" as dry soil and "value_2" as soaked soil. This is the sensor detection range.

For example: Value_1 = 520; Value_2 = 260.

The range will be divided into three sections: dry, wet, water. Their related values are:

- Dry: (520 430]
- Wet: (430 350]
- Water: (350 260]

Test Code

```

/*****
This example reads Capacitive Soil Moisture Sensor.

Created 2015-10-21
By berinie Chen <bernie.chen@dfrobot.com>

GNU Lesser General Public License.
See <http://www.gnu.org/licenses/> for details.
All above must be included in any redistribution
*****/

```

```
/******Notice and Trouble shooting*****  
  
1.Connection and Diagram can be found here: https://www.dfrobot.com/wiki/index.php?title=Capacitive\_Soil\_Moisture\_Sensor\_SKU:SEN0193  
2.This code is tested on Arduino Uno.  
3.Sensor is connect to Analog 0 port.  
*****/  
  
const int AirValue = 520; //you need to replace this value with Value_1  
const int WaterValue = 260; //you need to replace this value with Value_2  
int intervals = (AirValue - WaterValue)/3;  
int soilMoistureValue = 0;  
void setup() {  
  Serial.begin(9600); // open serial port, set the baud rate to 9600 bps  
}  
void loop() {  
  soilMoistureValue = analogRead(A0); //put Sensor insert into soil  
  if(soilMoistureValue > WaterValue && soilMoistureValue < (WaterValue + intervals))  
  {  
    Serial.println("Very Wet");  
  }  
  else if(soilMoistureValue > (WaterValue + intervals) && soilMoistureValue < (AirValue - intervals))  
  {  
    Serial.println("Wet");  
  }  
  else if(soilMoistureValue < AirValue && soilMoistureValue > (AirValue - intervals))  
  {  
    Serial.println("Dry");  
  }  
  delay(100);  
}
```

ANEXO 3 - Dados Técnicos da Bomba D'água Periférica

FERRARI®

Bombas d'água Periféricas

Modelos: IDB's



Modelo: ACQUAPUMP



*Foto: enciclopedia.illustra.com

Parabéns,

Você acaba de adquirir mais um produto com a qualidade Ferrari, empresa preocupada em oferecer sempre qualidade e segurança ao seus usuários.

Leia atentamente todas as instruções contidas neste manual para obter o máximo de desempenho e durabilidade do produto.

Características Técnicas:

CÓDIGO	MODELO	TENSÃO	MOTOR	DIÂMETRO ENTRADA/SADA	DIMENSÕES DA EMBALAGEM
AAB1010003	IDB-35	127/220V	1/4 cv	1"	253 x 156 x 175 mm
AAB1010004	IDB-35	127/220V	1/3 cv	1"	253 x 156 x 175 mm
AAB1010005	BA-40	127/220V	1/2 cv	1"	253 x 156 x 175 mm
AAB1010001	IDB-40	127/220V	1/2 cv	1"	253 x 156 x 175 mm
AAB1010002	IDB-50	127/220V	1 cv	1,1/2"	345 x 185 x 205 mm
AAB1010009	IDB-40 - PREMIUM	127/220V	1/2 cv	1"	280 x 135 x 175 mm
AAB1010010	IDB-50 - PREMIUM	127/220V	1 cv	1"	310 x 170 x 210 mm

**OBS.: VAZÃO ESPECIFICADA PARA SUÇÃO E RECALQUE ZERO.
TEMPERATURA MÁX. DO LÍQUIDO 40°C.**

Conserve este Manual - novembro de 2016

INSTALAÇÃO DA BOMBA

PROCEDIMENTOS

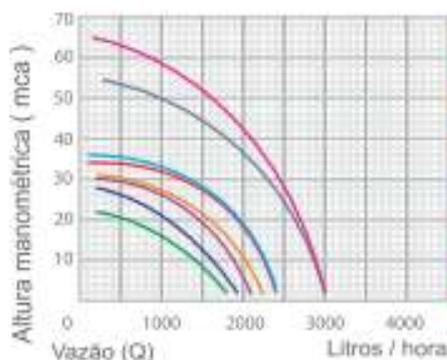
SUCÇÃO:

DETERMINE COM EXATIDÃO O COMPRIMENTO DA TUBULAÇÃO DE SUCÇÃO (ENTRADA).
 INSTALE A VÁLVULA DE PÉ NO MÍNIMO À 15 CM DO FUNDO. COLOQUE A UNIÃO PARA FACILITAR A MANUTENÇÃO DO PRODUTO.
 A TUBULAÇÃO DEVERÁ FICAR APOIADA E VEDADA CORRETAMENTE PARA NÃO PERMITIR ENTRADA DE AR.
 A TUBULAÇÃO DEVERÁ, NO MÍNIMO, TER O MESMO DIÂMETRO DA ENTRADA DA BOMBA.

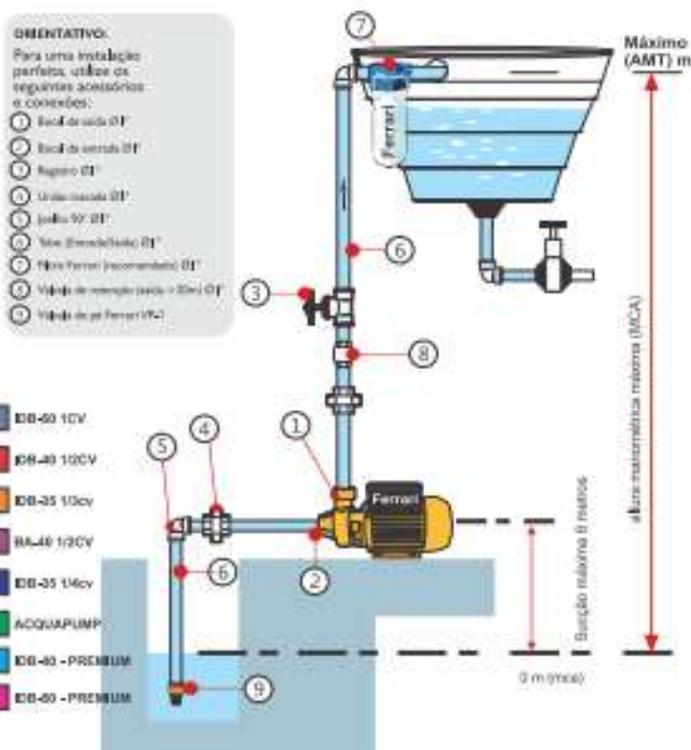
ORIENTATIVO:

Para uma instalação perfeita, utilize os seguintes acessórios e conexões:

- 1 Bocal de saída 2"
- 2 Bocal de entrada 2"
- 3 Registro 2"
- 4 União masculina 2"
- 5 União 90° 2"
- 6 Sela (Breda/Sela) 2"
- 7 Nela Ferrari (acommodado) 2"
- 8 Válvula de retenção (sela) 2" x 2" 2"
- 9 Válvula de pé Ferrari 1 1/2"



Dados de referência p/ sucção = zero



Recalque:

- Instale uma união logo após a saída da bomba
- Coloque uma válvula de retenção em caso de grandes elevações, alturas maiores que 20 metros.
- Coloque um registro de gaveta e suas conexões.
- Complete toda instalação até o ponto de chegada da água ex.: (reservatório).

Importante: Nunca deixe as tubulações (sucção e recalque) gerarem peso sobre a bomba.

A instalação deve ser racionalizada, utilizando o mínimo possível de curvas para não submeter a bomba à perdas desnecessárias.

Funcionamento:

Antes de ligar o produto na rede elétrica será necessário:

- 1- Verificar se a tensão da bomba corresponde com a tensão da rede.
- 2- Retirar o bujão e encher de água toda tubulação de sucção e a bomba com o objetivo de retirar o ar existente.
- 3- Verifique se a água está saindo no bujão de modo constante assim que isto ocorrer, e feche o bujão.
- 4- Ligue a bomba na voltagem indicada e abra o registro lentamente para que o bombeamento seja concretizado até o ponto desejado.
- 5- Caso o bombeamento não esteja normal, volte ao primeiro passo, pois ainda existe ar na tubulação de sucção.

A bomba nunca poderá operar sem água, com riscos de danos ao motor, e ao selo mecânico.

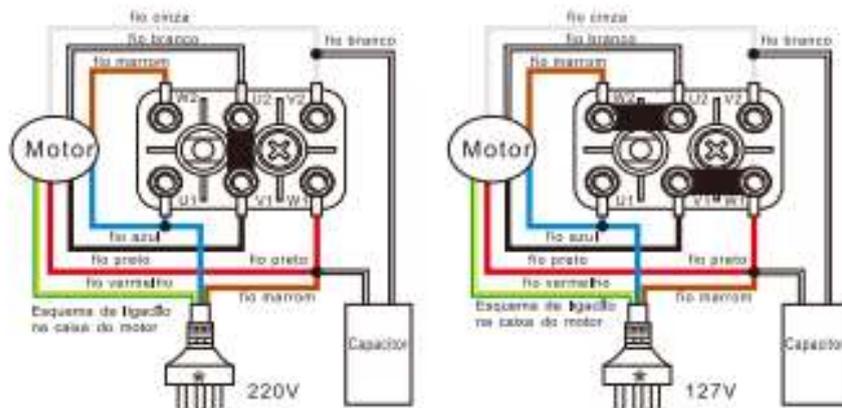
Nunca deixe a bomba operar com o registro totalmente fechado ou estrangulado

Obs. Como medida de segurança é necessário fazer a proteção da bomba contra as variações climáticas.

INSTALAÇÃO ELÉTRICA

INSTALAÇÃO ELÉTRICA

A bomba FERRARI é fornecida ao mercado em 220V, sendo somente necessário transformá-la, conforme a tensão da rede elétrica, utilizando o esquema elétrico abaixo :



V1 + V2 = capacitor

No caso em que houver a necessidade de alterar a ligação desligue a bomba da rede elétrica, abra a tampa superior (plástica) da bomba retirando os parafusos. Em seguida retire as chapas metálicas e mude a posição das mesmas, colocando-as na ligação desejada, 127 ou 220 volt.

Obs.: As bombas são fornecidas de fábrica em 220V.

O motor elétrico das bombas FERRARI permite variações de +/- 10 volts.
Atenção : Este produto nunca deverá ser movimentado pelo cabo elétrico.

Ocorrências x Causas Prováveis

A bomba funciona porém não manda água (1,2,3,4)

A bomba funciona porém o bombeamento é intermitente (4,5,8)

A bomba não funciona (5,6,7,8)

Superaquecimento do motor (1,2,4,7)

- 1- A bomba não foi escorvada (retirada do ar da sucção)
- 2- Altura de Sucção excessiva (acima de 8 mca)
- 3- Entrada de ar na tubulação de sucção
- 4- Altura Manométrica excessiva
- 5- Falta de energia elétrica ou abaixo do especificado
- 6- Ligação elétrica incorreta
- 7- Bitola do fio inadequada
- 8- Capacitor fraco

Observação: Instale chaves de segurança (disjuntor), para ligar a bomba, e em caso de necessidade de manutenção, certifique-se que a mesma esteja desligada da rede.

OPÇÃO - 1 No caso em que a bomba for passar por um longo período desligada, pode ocorrer o travamento do rotor por oxidação, neste caso, o motor fará barulho, porém não partirá. Desta forma, será necessário retirar a tampa traseira que protege a ventoinha (hélice) e girar a ventoinha manualmente, este movimento, irá destravar o motor, assim a bomba voltará a funcionar normalmente.

Caso isto não resolva, solte a ventoinha, fixe o eixo com ferramenta e gire-o. Monte novamente a ventoinha.



ANEXO 4 - *Data Sheet* Microcontrolador Esp32

ESP32 Datasheet



Espressif Systems

October 8, 2016

1. Overview

ESP32 is a single chip 2.4 GHz Wi-Fi and Bluetooth combo chip designed with TSMC ultra low power 40 nm technology. It is designed and optimized for the best power performance, RF performance, robustness, versatility, features and reliability, for a wide variety of applications, and different power profiles.

1.1 Featured Solutions

1.1.1 Ultra Low Power Solution

ESP32 is designed for mobile, wearable electronics, and Internet of Things (IoT) applications. It has many features of the state-of-the-art low power chips, including fine resolution clock gating, power modes, and dynamic power scaling.

For instance, in a low-power IoT sensor hub application scenario, ESP32 is woken up periodically and only when a specified condition is detected; low duty cycle is used to minimize the amount of energy that the chip expends. The output power of the power amplifier is also adjustable to achieve an optimal trade off between communication range, data rate and power consumption.

Note:

For more information, refer to Section 3.7 RTC and Low-Power Management.

1.1.2 Complete Integration Solution

ESP32 is the most integrated solution for Wi-Fi + Bluetooth applications in the industry with less than 10 external components. ESP32 integrates the antenna switch, RF balun, power amplifier, low noise receive amplifier, filters, and power management modules. As such, the entire solution occupies minimal Printed Circuit Board (PCB) area.

ESP32 uses CMOS for single-chip fully-integrated radio and baseband, and also integrates advanced calibration circuitries that allow the solution to dynamically adjust itself to remove external circuit imperfections or adjust to changes in external conditions.

As such, the mass production of ESP32 solutions does not require expensive and specialized Wi-Fi test equipment.

1.2 Basic Protocols

1.2.1 Wi-Fi

- 802.11 b/g/n/e/i
- 802.11 n (2.4 GHz), up to 150 Mbps
- 802.11 e: QoS for wireless multimedia technology
- WMM-PS, UAPSD
- A-MPDU and A-MSDU aggregation
- Block ACK

- Fragmentation and defragmentation
- Automatic Beacon monitoring/scanning
- 802.11 i security features: pre-authentication and TSN
- Wi-Fi Protected Access (WPA)/WPA2/WPA2-Enterprise/Wi-Fi Protected Setup (WPS)
- Infrastructure BSS Station mode/SoftAP mode
- Wi-Fi Direct (P2P), P2P Discovery, P2P Group Owner mode and P2P Power Management
- UMA compliant and certified
- Antenna diversity and selection

Note:

For more information, refer to Section 3.5 Wi-Fi.

1.2.2 Bluetooth

- Compliant with Bluetooth v4.2 BR/EDR and BLE specification
- Class-1, class-2 and class-3 transmitter without external power amplifier
- Enhanced power control
- +10 dBm transmitting power
- NZIF receiver with -98 dBm sensitivity
- Adaptive Frequency Hopping (AFH)
- Standard HCI based on SDIO/SPI/UART
- High speed UART HCI, up to 4 Mbps
- BT 4.2 controller and host stack
- Service Discover Protocol (SDP)
- General Access Profile (GAP)
- Security Manage Protocol (SMP)
- Bluetooth Low Energy (BLE)
- ATT/GATT
- HID
- All GATT-based profile supported
- SPP-Like GATT-based profile
- BLE Beacon
- A2DP/AVRCP/SPP, HSP/HFP, RFCOMM
- CVSD and SBC for audio codec
- Bluetooth Piconet and Scatternet

1.3 MCU and Advanced Features

1.3.1 CPU and Memory

- Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6 microprocessors, up to 600 DMIPS
- 448 KByte ROM
- 520 KByte SRAM
- 16 KByte SRAM in RTC
- QSPI Flash/SRAM, up to 4 x 16 MBytes
- Power supply: 2.2 V to 3.6 V

1.3.2 Clocks and Timers

- Internal 8 MHz oscillator with calibration
- Internal RC oscillator with calibration
- External 2 MHz to 40 MHz crystal oscillator
- External 32 kHz crystal oscillator for RTC with calibration
- Two timer groups, including 2 x 64-bit timers and 1 x main watchdog in each group
- RTC timer with sub-second accuracy
- RTC watchdog

1.3.3 Advanced Peripheral Interfaces

- 12-bit SAR ADC up to 18 channels
- 2 x 8-bit D/A converters
- 10 x touch sensors
- Temperature sensor
- 4 x SPI
- 2 x I2S
- 2 x I2C
- 3 x UART
- 1 host (SD/eMMC/SDIO)
- 1 slave (SDIO/SPI)
- Ethernet MAC interface with dedicated DMA and IEEE 1588 support
- CAN 2.0
- IR (TX/RX)
- Motor PWM
- LED PWM up to 16 channels
- Hall sensor
- Ultra low power analog pre-amplifier

1.3.4 Security

- IEEE 802.11 standard security features all supported, including WPA, WPA/WPA2 and WAPI
- Secure boot
- Flash encryption
- 1024-bit OTP, up to 768-bit for customers
- Cryptographic hardware acceleration:
 - AES
 - HASH (SHA-2) library
 - RSA
 - ECC
 - Random Number Generator (RNG)

1.3.5 Development Support

- SDK Firmware for fast on-line programming
- Open source toolchains based on GCC

Note:

For more information, refer to Chapter 7 Supported Resources.

1.4 Application

- Generic low power IoT sensor hub
- Generic low power IoT loggers
- Video streaming from camera
- Over The Top (OTT) devices
- Music players
 - Internet music players
 - Audio streaming devices
- Wi-Fi enabled toys
 - Loggers
 - Proximity sensing toys
- Wi-Fi enabled speech recognition devices
- Audio headsets
- Smart power plugs
- Home automation
- Mesh network

- Industrial wireless control
- Baby monitors
- Wearable electronics
- Wi-Fi location-aware devices
- Security ID tags
- Healthcare
 - Proximity and movement monitoring trigger devices
 - Temperature sensing loggers

1.5 Block Diagram

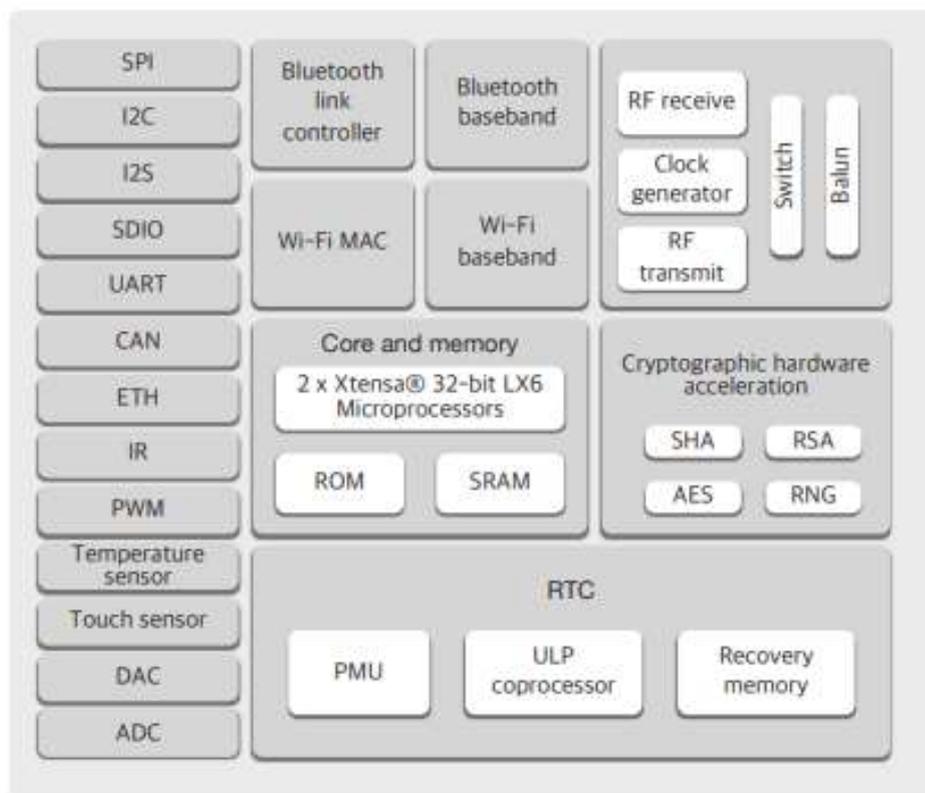


Figure 1: Function Block Diagram

2. Pin Definitions

2.1 Pin Layout

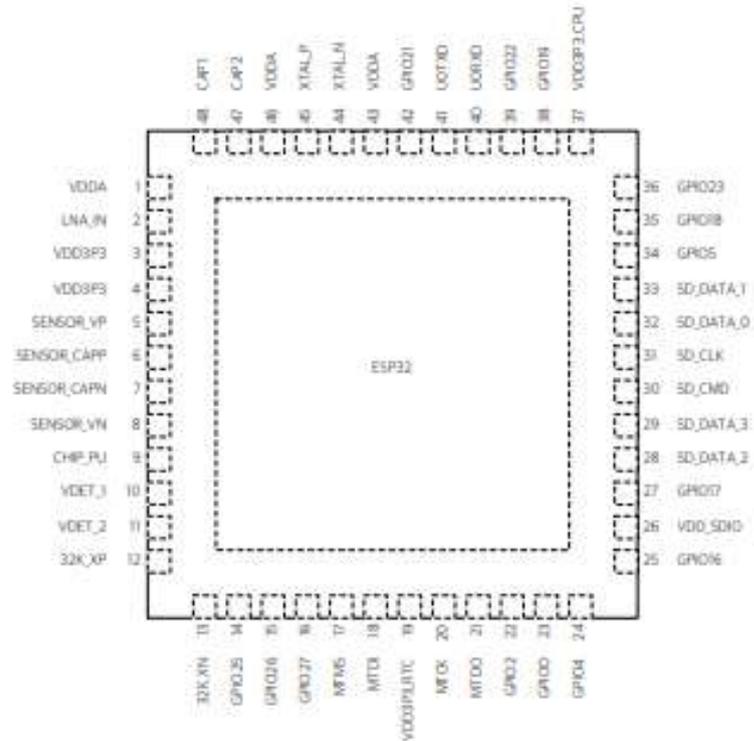


Figure 2: ESP32 Pin Layout

2.2 Pin Description

Table 1: Pin Description

Name	No.	Type	Function
Analog			
VDDA	1	P	Analog power supply (2.3V ~ 3.6V)
LNA_IN	2	I/O	RF input and output
VDD3P3	3	P	Amplifier power supply (2.3V ~ 3.6V)
VDD3P3	4	P	Amplifier power supply (2.3V ~ 3.6V)
VDD3P3_RTC			
SENSOR_VP	5	I	GPIO36, ADC_PRE_AMP, ADC1_CH0, RTC_GPIO0 Note: Connects 270 pF capacitor from SENSOR_VP to SENSOR_CAPP when used as ADC_PRE_AMP.

Name	No.	Type	Function
SENSOR_CAPP	6	I	GPIO37, ADC_PRE_AMP, ADC1_CH1, RTC_GPIO1 Note: Connects 270 pF capacitor from SENSOR_VP to SENSOR_CAPP when used as ADC_PRE_AMP.
SENSOR_CAPN	7	I	GPIO38, ADC1_CH2, ADC_PRE_AMP, RTC_GPIO2 Note: Connects 270 pF capacitor from SENSOR_VN to SENSOR_CAPN when used as ADC_PRE_AMP.
SENSOR_VN	8	I	GPIO39, ADC1_CH3, ADC_PRE_AMP, RTC_GPIO3 Note: Connects 270 pF capacitor from SENSOR_VN to SENSOR_CAPN when used as ADC_PRE_AMP.
CHIP_PU	9	I	Chip Enable (Active High) High: On, chip works properly Low: Off, chip works at the minimum power Note: Do not leave CHIP_PU pin floating
VDET_1	10	I	GPIO34, ADC1_CH6, RTC_GPIO4
VDET_2	11	I	GPIO35, ADC1_CH7, RTC_GPIO5
32K_XP	12	I/O	GPIO32, 32K_XP (32.768 kHz crystal oscillator input), ADC1_CH4, TOUCH9, RTC_GPIO9
32K_XN	13	I/O	GPIO33, 32K_XN (32.768 kHz crystal oscillator output), ADC1_CH5, TOUCH8, RTC_GPIO8
GPIO25	14	I/O	GPIO25, DAC_1, ADC2_CH8, RTC_GPIO6, EMAC_RXD0
GPIO26	15	I/O	GPIO26, DAC_2, ADC2_CH9, RTC_GPIO7, EMAC_RXD1
GPIO27	16	I/O	GPIO27, ADC2_CH7, TOUCH7, RTC_GPIO17, EMAC_RX_DV
MTMS	17	I/O	GPIO14, ADC2_CH6, TOUCH6, RTC_GPIO16, MTMS, HSPICLK, HS2_CLK, SD_CLK, EMAC_TXD2
MTDI	18	I/O	GPIO12, ADC2_CH5, TOUCH5, RTC_GPIO15, MTDI, HSPID, HS2_DATA2, SD_DATA2, EMAC_TXD3
VDD3P3_RTC	19	P	RTC IO power supply input (1.8V - 3.3V)
MTCK	20	I/O	GPIO13, ADC2_CH4, TOUCH4, RTC_GPIO14, MTCK, HSPID, HS2_DATA3, SD_DATA3, EMAC_RX_ER
MTDO	21	I/O	GPIO15, ADC2_CH3, TOUCH3, RTC_GPIO13, MTDO, HSPICSO, HS2_CMD, SD_CMD, EMAC_RXD3
GPIO2	22	I/O	GPIO2, ADC2_CH2, TOUCH2, RTC_GPIO12, HSPWP, HS2_DATA0, SD_DATA0
GPIO0	23	I/O	GPIO0, ADC2_CH1, TOUCH1, RTC_GPIO11, CLK_OUT1, EMAC_TX_CLK
GPIO4	24	I/O	GPIO4, ADC2_CH0, TOUCH0, RTC_GPIO10, HSPHD, HS2_DATA1, SD_DATA1, EMAC_TX_ER
VDD_SDIO			
GPIO16	25	I/O	GPIO16, HS1_DATA4, U2RXD, EMAC_CLK_OUT
VDD_SDIO	26	P	1.8V or 3.3V power supply output
GPIO17	27	I/O	GPIO17, HS1_DATA5, U2TXD, EMAC_CLK_OUT_180
SD_DATA_2	28	I/O	GPIO9, SD_DATA2, SPIHD, HS1_DATA2, U1RXD
SD_DATA_3	29	I/O	GPIO10, SD_DATA3, SPIWP, HS1_DATA3, U1TXD
SD_CMD	30	I/O	GPIO11, SD_CMD, SPICSO, HS1_CMD, U1RTS
SD_CLK	31	I/O	GPIO6, SD_CLK, SPICLK, HS1_CLK, U1CTS

Name	No.	Type	Function
SD_DATA_0	32	I/O	GPIO7, SD_DATA0, SPIQ, HS1_DATA0, U2RTS
SD_DATA_1	33	I/O	GPIO8, SD_DATA1, SPID, HS1_DATA1, U2CTS
VDD3P3_CPU			
GPIO5	34	I/O	GPIO5, VSPICS0, HS1_DATA6, EMAC_RX_CLK
GPIO18	35	I/O	GPIO18, VSPICLK, HS1_DATA7
GPIO23	36	I/O	GPIO23, VSPID, HS1_STROBE
VDD3P3_CPU	37	P	CPU IO power supply input (1.8V - 3.3V)
GPIO19	38	I/O	GPIO19, VSPIQ, U0CTS, EMAC_TXD0
GPIO22	39	I/O	GPIO22, VSPWP, U0RTS, EMAC_TXD1
U0RXD	40	I/O	GPIO3, U0RXD, CLK_OUT2
U0TXD	41	I/O	GPIO1, U0TXD, CLK_OUT3, EMAC_RXD2
GPIO21	42	I/O	GPIO21, VSPID, EMAC_TX_EN
Analog			
VDDA	43	I/O	Analog power supply (2.3V - 3.6V)
XTAL_N	44	O	External crystal output
XTAL_P	45	I	External crystal input
VDDA	46	P	Digital power supply for PLL (2.3V - 3.6V)
CAP2	47	I	Connects with a 3 nF capacitor and 20 k Ω resistor in parallel to CAP1
CAP1	48	I	Connects with a 10 nF series capacitor to ground

2.3 Power Scheme

ESP32 digital pins are divided into three different power domains:

- VDD3P3_RTC
- VDD3P3_CPU
- VDD_SDIO

VDD3P3_RTC is also the input power supply for RTC and CPU. **VDD3P3_CPU** is also the input power supply for CPU.

VDD_SDIO connects to the output of an internal LDO, whose input is **VDD3P3_RTC**. When **VDD_SDIO** is connected to the same PCB net together with **VDD3P3_RTC**, the internal LDO is disabled automatically.

The internal LDO can be configured as 1.8V, or the same voltage as **VDD3P3_RTC**. It can be powered off via software to minimize the current of Flash/SRAM during the Deep-sleep mode.

Note:

It is required that the power supply of **VDD3P3_RTC**, **VDD3P3_CPU** and analog must be stable before the pin **CHIP_PU** is set at high level.

2.4 Strapping Pins

ESP32 has 6 strapping pins:

- MTDI/GPIO12: internal pull-down
- GPIO0: internal pull-up
- GPIO2: internal pull-down
- GPIO4: internal pull-down
- MTD0/GPIO15: internal pull-up
- GPIO5: internal pull-up

Software can read the value of these 6 bits from the register "GPIO_STRAPPING".

During the chip power-on reset, the latches of the strapping pins sample the voltage level as strapping bits of "0" or "1", and hold these bits until the chip is powered down or shut down. The strapping bits configure the device boot mode, the operating voltage of VDD_SDIO and other system initial settings.

Each strapping pin is connected with its internal pull-up/pull-down during the chip reset. Consequently, if a strapping pin is unconnected or the connected external circuit is high-impedance, the internal weak pull-up/pull-down will determine the default input level of the strapping pins.

To change the strapping bit values, users can apply the external pull-down/pull-up resistances, or apply the host MCU's GPIOs to control the voltage level of these pins when powering on ESP32.

After reset, the strapping pins work as the normal functions pins.

Refer to Table 2 for detailed boot modes configuration by strapping pins.

Table 2: Strapping Pins

Voltage of Internal LDO (VDD_SDIO)					
Pin	Default	3.3V		1.8V	
MTDI	Pull-down	0		1	
Bootling Mode					
Pin	Default	SPI Boot		Download Boot	
GPIO0	Pull-up	1		0	
GPIO2	Pull-down	Don't-care		0	
Debugging Log on U0TXD During Bootling					
Pin	Default	U0TXD Toggling		U0TXD Silent	
MTD0	Pull-up	1		0	
Timing of SDIO Slave					
Pin	Default	Falling-edge Input Falling-edge Output	Falling-edge Input Rising-edge Output	Rising-edge Input Falling-edge Output	Rising-edge Input Rising-edge Output
MTD0	Pull-up	0	0	1	1
GPIO5	Pull-up	0	1	0	1

Note:

Firmware can configure register bits to change the setting of "Voltage of Internal LDO (VDD_SDIO)" and "Timing of SDIO Slave" after bootling.

ANEXO 5 - Data Sheet Fonte de Alimentação Hi-Link

Ultra-compact power module HLK-PM01

DETAILS

1. Product features:

1. Meet UL, CE requirements,
2. Ultra-thin, ultra-small
2. All voltage input (AC: 90 ~ 264V)
3. Low ripple and low noise
4. Output overload and short circuit protection
5. High efficiency, high power density
6. The product is designed to meet the requirements of EMC and Safety Test
7. Low power consumption, environmental protection, no-load loss <0.1W
8. 100% load aging and testing
9. 1 year warranty perio

2. Environment Condition

Item Name	Technical Criteria	Unit
Operation Temperature	-20—+60	°C
Store Temperature	-40—+80	°C
Relative humidity	5—95	%
Cooling way	Cooling by radiation	
Atmospheric pressure	80—106	Kpa
Sea level elevation	≤2000	m
Vibration	Vibration coefficient 10~500Hz,2G10min./1cycle, 60min.each along X,Y,Z axes	

3. Electrical Characteristic

1. Input characteristics (test at room temperature 20 °C).

Item Name	Technical Criteria	Unit
Rated input voltage	100-240	VAc
Input voltage range	90-264	VAc
Maximum input current	≤0.2	A
Input current surge	: ≤10	A
maximum input voltage	≤270	VAc
Enter slow start	≤50	mS
Input Low Voltage Efficiency	Vin=110VAc, Output full-load≥69	%

Input High Voltage Efficiency	Vin=220VAc, output full-load≥70	%
Long-term reliability	MTBF≥100, 000	h
Load rated output voltage	+5±0.1	VDC
Full rated output voltage	+5±0.2	VDC
Short-term maximum output current	≥1000	mA
The maximum output current for a long time	≥600	mA
Voltage Regulation	±0.2	%
Load Regulation	±0.5	%
Output ripple and noise (mVp-p)	≤50 Rated input voltage, full load. Using 20MHz of bandwidth, The load side 10uF and 0.1uF capacitor to be tested.	mV
Switch overshoot amplitude	(Rated input voltage and output load plus 10%)≤5	%V _o
Output over-current protection	150-200% of the output maximum load	A
Output short circuit protection	Direct short circuit at the normal output, automatically resume normal operation after a short circuit removal	

4.Safety Characteristics :

4.1 Products designed to meet UL, CE safety certification requirements.

4.2 Safety and electromagnetic compatibility

Designed with the input of 0.5A UL certified insurance;

PCB board using double-sided copper clad plate production, material for the 94-V0 fire rating level;

Safety standards: Compliance with UL1012, EN60950, UL60950

Insulation voltage: I / P-O / P: 2500VAC

Insulation resistance :I / PO / P> 100M Ohms / 500VDC 25 °C 70% RH

Conduction and radiation :comply with EN55011, EN55022 (CISPR22)

Electrostatic discharge :IEC / EN 61000-4-2 level 4 8kV / 15kV

RF radiation immunity: IEC / EN 61000-4-3 See Application Note

4.3 Temperature safety design

At room temperature,the capacitors of this power , the inner surface of the main converter maximum temperature does not exceed 90 °C;

Shell maximum surface temperature does not exceed 60 °C

5.Logo, packaging, transportation, storage

5.1 Logo

5.1.1 Product logo

In place of products labeled with signs, its content in line with national standards, industry standards.

5.1.2 Packaging logo

Products marked with the manufacturer's name, address, zip code, product type, manufactured year, month, day on the box ;

Marked "up", "moisture" "Handle with care" and other transportation signs, all signs are in line with the provisions of GB 191.

5.2 Packaging

Products are separated using special plastic box packaging, with anti-vibration function, and in accordance with the provisions

of GB 3873.

5.3 Transport

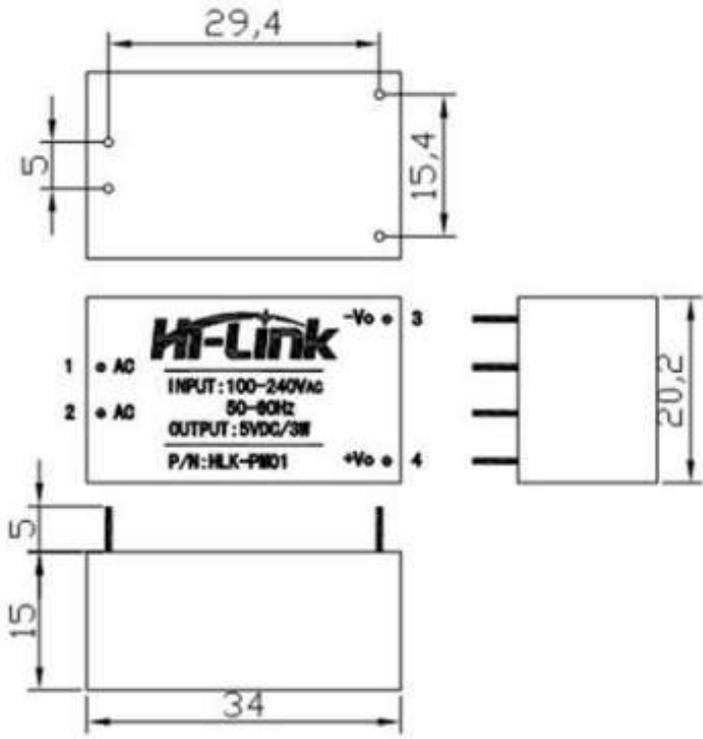
packaged products can be shipped by any transportation service, there should be awnings in transport and no excessive vibration, impact, etc.

5.4 Storage

Products should be stored in compliance with GB 3873.

6.Weight and Dimensions :

Weight: $\leq 20g$	
Pin Function	
1	AC
2	AC
3	-Vo
4	+Vo



ANEXO 6 – Tubo gotejador Amanco

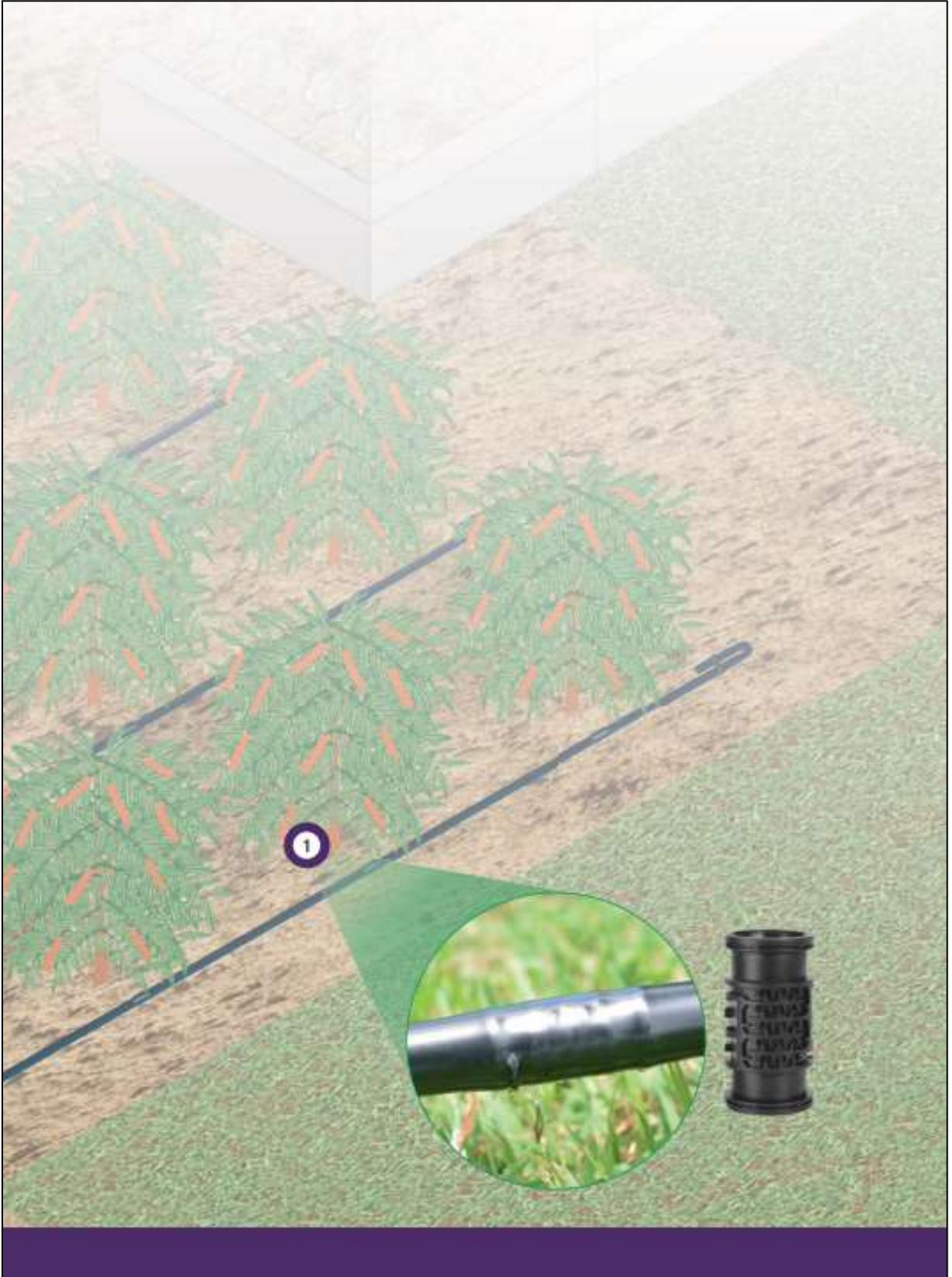
Soluções Amanco

3 | Gotejamento

- AMANCO TUBO GOTEJADOR MEXDRIP | pág. 64
- AMANCO DRIP FITA GOTEJADORA | pág. 69
- FITA GOTEJADORA LAB. SUPERLINE | pág. 72
- AMANCO GOTEJADOR FT ON LINE | pág. 76
- AMANCO ESTACA GOTEJADORA PARA VASO | pág. 77

61





3 | GOTEJAMENTO

Tubo Gotejador Mexdrip

Os Tubos Gotejadores Mexdrip destinam-se à aplicação de linhas laterais para projetos de irrigação localizada para:

- Culturas enfileiradas como café, laranja, morango, melão, tomate, alface, batata, hortaliças, fruticultura e silvicultura.
- Projetos que exigem linhas laterais mais longas principalmente com gotejador AC.
- Terrenos com topografia regular e irregular.

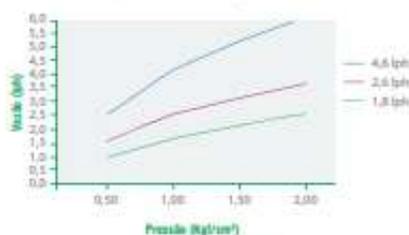


Vantagens

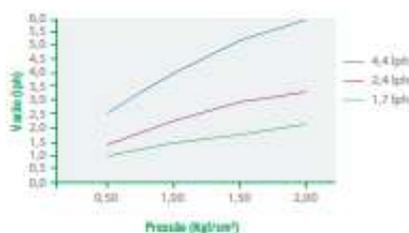
- Reduz a mão de obra de instalação.
- Gotejador com a maior resistência ao entupimento do mercado, comprovado pelo teste realizado pelo CIT - Center for Irrigation Technology, California State University, 1999.
- Maior espessura de parede, garantindo maior durabilidade.
- Opera com pressões maiores.
- Espaçamento variável.

Tubo Gotejador Mexdrip 26 mil

* Pressão máxima de serviço 25 m.c.a.



Tubo Gotejador Mexdrip 36 mil



Os Tubos Gotejadores Mexdrip são produzidos em polietileno com gotejadores já inseridos em seu processo de fabricação, de forma a proporcionar uma excelente distribuição de água aliada ao baixo custo de instalação, pois o produto é fornecido em bobinas e vem pronto para uso.

O processo de fabricação permite que o espaçamento entre os gotejadores seja definido de acordo com a necessidade do projeto de aplicação e a cultura a ser irrigada.

Os Tubos Gotejadores Mexdrip são produzidos com resina virgem de PE100, o que confere ao tubo características superiores de resistência a "stress cracking", flexibilidade e durabilidade. Tem uma estrutura interna de passagem de água que diminui sua suscetibilidade a entupimentos causados por impurezas físicas e precipitados químicos.

É fornecido nas versões Normal e Auto Compensante, e com várias vazões e espessuras de parede, de forma a atender a mais ampla possibilidade de aplicação.

O espaçamento entre gotejadores é padronizado entre 0,30 a 1,0 metros.

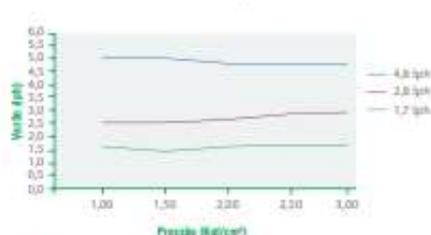
Características Técnicas

- Tubo Gotejador Mexdrip, diâmetro interno 13,8 mm nas espessuras de parede de 26mil e 36mil.
- Tubo Gotejador Mexdrip Auto Compensado, diâmetro interno 13,8 mm nas espessuras de parede de 26mil e 36mil.

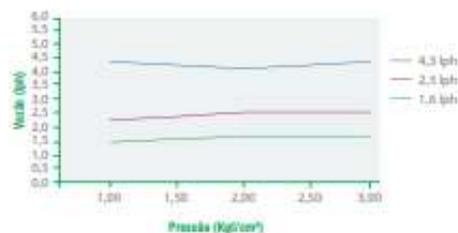
Obs.: Para maiores detalhes observar as curvas de operação de cada tipo.

Tubo Gotejador Mexdrip Auto Compensado 26 mil

* Pressão máxima de serviço 25 m.c.a.



Tubo Gotejador Mexdrip Auto Compensado 36 mil



3 | GOTEJAMENTO

Vantagens exclusivas

- Alta uniformidade de aplicação de água em terrenos com topografia irregular.
- Possui dispositivo de regulação de vazão com grande resistência ao entupimento.
- Permite utilização de linhas mais longas.
- Ampla faixa de pressão de trabalho.



Importante! Fica excluída da garantia os produtos danificados por roedores, insetos, animais, ferramentas agrícolas ou qualquer fator externo que não configure defeito de fabricação.

A garantia será excluída aos produtos que entupirem devido a qualidade da água tanto pela filtração que deve ser equivalente a 150 mesh, como também será excluída a garantia por entupimento do gotejador conforme tabela abaixo dos níveis de risco de moderado e severo.

A água deve ser tratada para que o nível de risco para entupimento seja baixo.

A garantia será excluída se os níveis de sólidos e componentes químicos estiverem acima dos níveis abaixo:

Componentes	Acima de:
Sólidos em suspensão	70
PH	7
Sólidos dissolvidos	600
Ferro total	0,5
Manganês	0,3
Sulfeto de Hidrogênio	0,3
Biológico (NMP mL-1)	12000

Tube Got. Mexdrip AC 16MM 26MIL 1,7L/H

Código	Tipo		Vazão (lph)	Espaçamento	
	AC ou N	DN		Espessura	(m)
20359	AC	16 mm	1,7	26 MIL	0,30
20360	AC	16 mm	1,7	26 MIL	0,40
20361	AC	16 mm	1,7	26 MIL	0,50
20363	AC	16 mm	1,7	26 MIL	0,60
20364	AC	16 mm	1,7	26 MIL	0,65
20365	AC	16 mm	1,7	26 MIL	0,70
20366	AC	16 mm	1,7	26 MIL	0,75
20367	AC	16 mm	1,7	26 MIL	0,80
20368	AC	16 mm	1,7	26 MIL	0,90
20369	AC	16 mm	1,7	26 MIL	1,00



ANEXO 7 - Algoritmo para a calibração do sensor de umidade do Solo.

```

1  /*
2  Sketch generated by the Arduino IoT Cloud Thing "Untitled"
3  https://create.arduino.cc/cloud/things/dc6e4820-0a7a-42e3-af33-71f4da3ae432
4
5  Arduino IoT Cloud Variables description
6
7  The following variables are automatically generated and updated when changes are made to the Thing
8
9  int leituraDigital;
10 int umidadeSolo;
11
12 Variables which are marked as READ/WRITE in the Cloud Thing will also have functions
13 which are called when their values are changed from the Dashboard.
14 These functions are generated with the Thing and added at the end of this sketch.
15 */
16
17 #include "thingProperties.h"
18 int Sensor1 = 35;
19 const int Seco = 2940;
20 const int Umido = 1110;
21 int sensorval;
22 int percentHumidity;
23
24 void setup() {
25 // Initialize serial and wait for port to open:
26 Serial.begin(9600);
27 // This delay gives the chance to wait for a Serial Monitor without blocking if none is found
28 delay(1500);
29
30 // Defined in thingProperties.h
31 initProperties();
32
33 // Connect to Arduino IoT Cloud
34 ArduinoCloud.begin(ArduinoIoTPreferredConnection);
35
36 /*
37 The following function allows you to obtain more information
38 related to the state of network and IoT Cloud connection and errors.
39 the higher number the more granular information you'll get.
40 The default is 0 (only errors).
41 Maximum is 4
42 */
43 setDebugMessageLevel(2);
44 ArduinoCloud.printDebugInfo();
45 }

```

```
46
47
48 • void loop() {
49
50   ArduinoCloud.update();
51   umidadesolo = percentHumidity;
52   leituraDigital = sensorval;
53
54   sensorval = analogRead(Sensor1);
55   percentHumidity = map(sensorval, Seco,Umido, 0, 100);
56   Serial.println(String("Valor Digital: ") + sensorval);
57   Serial.println(String("Umidade do solo: ") + percentHumidity);
58   Serial.print(percentHumidity);
59   Serial.println("%");
60   delay(400);
61
62
63 }
64
65 /*
66  Since PercentHumidity is READ_WRITE variable, onPercentHumidityChange() is
67  executed every time a new value is received from IoT Cloud.
68 */
```

ANEXO 8 – Tabela lista de Materiais.

LISTA DE MATERIAIS				
ID	NOME	Descrição	QTDE	PREÇO
1	ESP32 NODEMCU-32SLUA	U6	1	R\$ 65,00
2	Sensor de Umidade e Temperatura DHT22	U4	1	R\$ 42,66
3	Sensor de Umidade de Solo Capacitivo	U3	1	R\$ 15,00
4	CAPACITOR POLIESTER 100nF	C1	1	R\$ 1,40
5	INDUTOR 10mH	L1	1	R\$ 4,80
6	BORNE PCI 2 VIAS	CN1	1	R\$ 1,10
7	BORNE PCI 2 VIAS	CN2	1	R\$ 1,10
8	DIODO 1N4148	D1	1	R\$ 0,10
9	TRANSISTOR BC547B	Q2	1	R\$ 0,30
10	RESISTOR 470	R1	1	R\$ 0,05
11	RELÉ SRD-05VDC-SL-C	RLY2	1	R\$ 4,80
12	Hi Link 5V fuente aislada 220 to 5v	U2	1	R\$ 50,09
13	KF301-5.0-3P	U3,U4	2	R\$ 1,80
14	KF301-5.0-4P COPY	U5	1	R\$ 1,50
15	CAIXA PATOLA (56X85)	*	1	R\$ 27,80
16	TUBO PARA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO	*	500 mts	R\$ 600,00
17	PAINEL ELETRICO 30X30 CEMAR	*	1	R\$ 330,00
18	FIOS ELETRICOS	*	50 mts	R\$ 37,90
19	BORNES PARA LIGAÇÃO	*	6	R\$ 30,00
20	DSJUNTOR BIPOLAR 20A	*	1	R\$ 29,35
21	DSJUNTOR MONOPOLAR 20A	*	1	R\$ 20,00
22	CONTADORES WEG CW07 10E	*	2	R\$ 140,00
23	CHAVE DUAS POSIÇÕES	*	1	R\$ 17,00
24	BOTÃO LIGA DESLIGA	*	1	R\$ 26,82
25	BOMBA HIDRAULICA BIVOLT	Ferrari	1	R\$ 232,90
26	CAIXA D'ÁGUA 500L	FortLev	1	R\$ 309,00
		TOTAL GERAL	15	R\$ 1.990,47