

INSTITUTO FEDERAL DA BAHIA
CAMPUS CAMAÇARI-BA
BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

ALEXANDRE PEREIRA BRITO

**IMPLEMENTAÇÃO DA INTERNET DAS COISAS NO PROCESSO DE IRRIGAÇÃO
DE HORTALIÇAS**

ALEXANDRE PEREIRA BRITO

**IMPLEMENTAÇÃO DA INTERNET DAS COISAS NO PROCESSO DE IRRIGAÇÃO
DE HORTALIÇAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, *Campus Camaçari*, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Adilson Oliveira de Almirante.

B862 Brito, Alexandre Pereira

Implementação da internet das coisas no processo de irrigação de hortaliças / Alexandre Pereira Brito . – .
72 f.

TCC (Graduação em Bacharelado em Ciência da Computação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Camaçari, 2023.

Orientação: Prof. Me. Adilson Oliveira de Almirante.

1. Internet das coisas. 2. Automação. 3. Horticultura.
4. Irrigação agrícola. I. Título

CDU: 681.5

ALEXANDRE PEREIRA BRITO

**IMPLEMENTAÇÃO DA INTERNET DAS COISAS NO PROCESSO DE IRRIGAÇÃO
DE HORTALIÇAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, *Campus Camaçari*, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Aprovada em: 18 de setembro de 2023

Banca Examinadora

Orientador: Prof. Me. Adilson Oliveira de Almirante
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia (*Campus Camaçari*)

Membro Interno: Prof. Dr. Eduardo Oliveira Teles
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia (*Campus Camaçari*)

Membro Externo: Profa. Dra. Olívia Silva Nepomuceno Santos
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia (*Campus Lauro de Freitas*)

CAMAÇARI-BA
2023

RESUMO

A agricultura está gradualmente adotando os conceitos da Internet das Coisas (IoT) para impulsionar seu desenvolvimento, isso inclui a implementação de sensores e sistemas de comunicação entre máquinas. A integração da IoT a esse setor surge como uma solução fundamental para aprimorar o processo de irrigação de hortaliças, e, devido ao aumento da demanda por alimentos e da escassez de recursos hídricos, a eficiência na agricultura se tornou crucial. Este trabalho tem como objetivo principal desenvolver um sistema utilizando da IoT para auxiliar no processo de irrigação para o cultivo de hortaliças, também conhecidas como olerícolas. O público-alvo desta proposta são pessoas envolvidas na agricultura familiar, agricultura urbana ou pequenos produtores. Esta pesquisa é de natureza aplicada; com uma abordagem qualitativa e de caráter exploratório. O projeto foi dividido em várias etapas, incluindo: pesquisa, seleção e catalogação de artigos; planejamento do projeto; desenvolvimento da parte escrita; levantamento de requisitos do *software*; implementação da parte física do sistema; criação do *software*; testes e ajustes; e revisão tanto da monografia quanto do *software*. Como resultado, foi desenvolvida uma proposta de produto composta por três sistemas distintos cujo objetivo conjunto é auxiliar o produtor rural de hortaliças a enfrentar os desafios específicos desse setor. Esses sistemas representam uma solução inovadora para melhorar a eficiência e a produtividade na agricultura de hortaliças por meio da aplicação da IoT.

Palavras-chave: Internet das Coisas; irrigação; hortaliças; agricultura inteligente.

ABSTRACT

Agriculture is gradually adopting Internet of Things (IoT) concepts to boost its development, this includes the implementation of sensors and machine-to-machine communication systems. The integration of IoT into this sector appears as a fundamental solution to improve the vegetable irrigation process, and, due to the increase in demand for food and the scarcity of water resources, efficiency in agriculture has become crucial. This work's main objective is to develop a system using IoT to assist in the irrigation process for the cultivation of vegetables, also known as vegetable crops. The target audience for this proposal are people involved in family farming, urban agriculture or small producers. This research is applied in nature; with a qualitative and exploratory approach. The project was divided into several stages, including: research, selection and cataloging of articles; project planning; development of the written part; software requirements gathering; implementation of the physical part of the system; software creation; tests and adjustments; and review of both the monograph and the software. As a result, a product proposal was developed consisting of three distinct systems whose joint objective is to help rural vegetable producers face the specific challenges of this sector. These systems represent an innovative solution to improve efficiency and productivity in vegetable farming through the application of IoT.

Keywords: Internet of Things; irrigation; vegetables; smart agriculture.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Diagrama de Classe | 40 |
| Figura 2 - Diagrama do Banco de Dados..... | 44 |
| Figura 3 - Diagrama de Caso de Uso | 45 |
| Figura 4 - Circuito de conexão dos sensores e o ESP8266..... | 46 |
| Figura 5 - Tela de <i>Login</i> | 47 |
| Figura 6 - Tela de Registro | 48 |
| Figura 7 - Tela Principal..... | 49 |
| Figura 8 - Tela de Propriedades | 50 |
| Figura 9 - Tela de Cadastro de Propriedade..... | 51 |
| Figura 10 - Tela da Lista de Cultura por Propriedade | 52 |
| Figura 11 - Tela de Associação de Cultura com Propriedade..... | 53 |
| Figura 12 - Tela de Calendário com Filtro..... | 54 |
| Figura 13 - Tela de Calendário | 55 |
| Figura 14 - Tela de Cultura | 56 |
| Figura 15 - Tela de Alteração do Usuário | 57 |
| Figura 16 - Tela de Monitoramento..... | 58 |
| Figura 17 - Tela de <i>Login</i> do Sistema <i>Mobile</i> | 59 |
| Figura 18 - Tela das Propriedades do Sistema <i>Mobile</i> | 60 |
| Figura 19 - Tela de Culturas por Propriedade do Sistema <i>Mobile</i> | 61 |
| Figura 20 - Tela de Monitoramento do Sistema <i>Mobile</i> | 62 |
| Figura 21 - Seleção da Data para o Filtro | 63 |
| Figura 22 - Tela de Calendário do Sistema <i>Mobile</i> | 64 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

| | |
|---------|--|
| ABRACEN | Associação Brasileira de Centros de Ensino |
| AD | Agricultura de Digital |
| AP | Agricultura de Precisão |
| API | <i>Application Programming Interface</i> (Interface de Programação de Aplicativo) |
| CDMA | <i>CODE Division Mutiple Access</i> (Acesso Múltiplo por Divisão de Código) |
| CPF | Cadastro de Pessoa Física |
| CRUD | <i>Create, Read, Update, Delete</i> (Criar, Ler, Atualizar, Deletar) |
| DAO | <i>Data Access Object</i> (Objeto de Acesso a Dados) |
| ERIC | <i>Education Resources Information Center</i> (Centro de Informações de Recursos Educacionais) |
| FDMA | <i>Frequency Division Multiple Access</i> (Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência) |
| FMIS | <i>Farm Management Integrated System</i> (Sistema de Informação de Gerenciamento da Propriedade) |
| GNNS | <i>Global Navigation Satellite System</i> (Sistemas Globais de Navegação por Satélite) |
| GPS | <i>Global Positioning System</i> (Sistema Global de Posicionamento) |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| ICET | Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas |
| IoT | Internet of Things (Internet das Coisas) |
| IP | Internet Protocol (Protocolo Internet) |
| JDBC | <i>Java Database Connectivity</i> (Conectividade Java para Bancos de Dados) |
| JSON | <i>JavaScript Object Notation</i> (Notação de Objetos JavaScript) |
| MMS | <i>Multimedia Messaging Service</i> (Serviço de Mensagens Multimídia) |
| MQTT | <i>Message Queue Telemetry Transport</i> (Transporte de Telemetria da Fila de Mensagens) |
| MVC | <i>Model-View-Controller</i> |
| RISC | <i>Reduced Instruction Set Computer</i> (Computador com um Conjunto Reduzido de Instruções) |

| | |
|-------|--|
| SDK | <i>Software Development Kit</i> (Kit de Desenvolvimento de <i>Software</i>) |
| TCC | Trabalho de Conclusão de Curso |
| TCP | <i>Transmission Control Protocol</i> (Protocolo de Controle de Transmissão) |
| TDMA | <i>Time Division Multiple Access</i> (Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo) |
| USB | <i>Universal Serial Bus</i> (Barramento Serial Universal) |
| Wi-Fi | <i>Wireless Fidelity</i> (Rede sem Fio) |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 JUSTIFICATIVA | 14 |
| 3 OBJETIVOS | 16 |
| 3.1 Objetivo Geral | 16 |
| 3.2 Objetivos Específicos | 16 |
| 4 REVISÃO DE LITERATURA | 17 |
| 4.1 Internet das Coisas | 17 |
| 4.1.1 Conceito | 17 |
| 4.1.2 Requisitos necessários | 18 |
| 4.1.2 Arquitetura..... | 20 |
| 4.1.4 Aplicações..... | 21 |
| 4.2 Irrigação no cultivo das hortaliças | 21 |
| 4.2.1 Irrigação | 21 |
| 4.2.1.1 Conceito | 21 |
| 4.2.1.2 Fatores a serem considerados na implementação da irrigação | 23 |
| 4.2.1.3 Métodos de irrigação..... | 24 |
| 4.2.2 Hortaliças | 26 |
| 4.2.3 Implementação da irrigação no cultivo das hortaliças | 27 |
| 4.3 Aplicação da Internet das Coisas (IoT) no cultivo de hortaliças | 28 |
| 4.3.1 Agricultura digital..... | 29 |
| 4.3.2 Agricultura de precisão..... | 30 |
| 4.3.3 Agricultura digital para as hortaliças..... | 31 |
| 5 METODOLOGIA | 33 |
| 5.1 Levantamento bibliográfico | 34 |
| 5.2 Desenvolvimento do Sistema | 35 |

| | |
|---|-----------|
| 5.2.1 <i>Hardware</i> | 35 |
| 5.2.1.1 ESP8266 Nodemcu | 36 |
| 5.2.1.2 Sensores | 36 |
| 5.2.1.3 Atuadores..... | 37 |
| 5.2.1.4 Fonte de alimentação..... | 38 |
| 5.2.2 <i>Software</i> | 38 |
| 5.2.2.1 Sistema do ESP8266 | 39 |
| 5.2.2.2 Sistema <i>Desktop</i> | 39 |
| 5.2.2.3 Sistema <i>Mobile</i> | 41 |
| 5.2.2.4 Persistência de dados..... | 42 |
| 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES | 43 |
| 6.1 Modelagem | 43 |
| 6.2 Sistema do ESP8266 | 45 |
| 6.3 Sistema Desktop | 46 |
| 6.3.2 Telas | 47 |
| 6.3.2.1 Tela de <i>Login</i> | 47 |
| 6.3.1.2 Tela de Registro..... | 47 |
| 6.3.1.3 Tela Inicial | 48 |
| 6.3.1.4 Telas de Propriedades | 49 |
| 6.3.1.5 Tela de Cadastro de Propriedade | 50 |
| 6.3.1.6 Tela do Detalhamento da Propriedade..... | 51 |
| 6.3.1.7 Tela para Associar Cultura na Propriedade | 52 |
| 6.3.1.8 Tela de Calendário..... | 53 |
| 6.3.1.9 Tela de Cultura..... | 55 |
| 6.3.1.10 Tela do Usuário..... | 56 |
| 6.3.1.11 Tela de Monitoramento | 57 |
| 6.4 Sistema <i>Mobile</i> | 58 |

| | |
|--|-----------|
| 6.4.1 Telas | 58 |
| 6.4.1.2 Tela de <i>Login</i> | 59 |
| 6.4.1.2 Tela de Propriedades | 59 |
| 6.4.1.3 Tela do Detalhamento da Propriedade..... | 60 |
| 6.4.1.3 Tela de Monitoramento | 61 |
| 6.4.1.5 Tela de Seção de Filtro | 62 |
| 6.4.1.6 Tela do Calendário | 63 |
| 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 65 |
| REFERÊNCIAS | 66 |

1 INTRODUÇÃO

A agricultura se tornou uma atividade extremamente importante para a sociedade contemporânea. Isso ocorre pela tentativa de suprir as necessidades da população mundial, em ascendente crescimento, sendo um dos grandes desafios da atualidade, já que esse excesso populacional pode resultar em uma falta de recursos, como os alimentares e seus subprodutos (Xavier, 2018).

Isso demonstra a necessidade do aumento da produção agrícola que atenda corretamente esta demanda. Percebe-se que, com o crescimento da urbanização, as áreas verdes, antes disponíveis para o cultivo, passaram a ser regiões edificadas. Entretanto, para haver o aumento da produção agrícola, não necessariamente deve existir uma grande extensão de áreas para o plantio, mas sim eficiência nos processos e melhor aproveitamento do espaço disponível (Bellé, 2021; Vicente, 2018). Segundo Xavier (2018), essa eficiência produtiva está ligada à qualidade das culturas, otimização do período de cultivo, redução de perdas da safra e menor consumo de recursos.

Atualmente, com o desenvolvimento das tecnologias, quase todas as áreas do conhecimento humano contam com sistemas tecnológicos (Pezente, 2019), já que estes objetivam o aumento da produtividade, juntamente com a eficiência dos processos (Vicente, 2018; Xavier, 2018).

Dentre essas áreas, a agricultura vem, aos poucos, implementando os conceitos da Internet das Coisas (IoT) para seu desenvolvimento, como a utilização de sensores e sistemas de comunicação entre máquinas (Bassoi *et al.*, 2019), permitindo uma conexão entre dispositivos que executam um monitoramento do cultivo em tempo real, a fim de, por meio dos dados coletados, seja feita a tomada de decisão no intuito de diminuir gastos e otimizar a produção. No que se refere à otimização das plantações, Barbosa (2013) diz ser necessário investir em sistemas de monitoramento com a finalidade de restringir as principais grandezas físicas que podem causar problemas à lavoura. A irrigação é o mais importante deles, pois, com ela, se consegue munir as culturas com água, recurso essencial ao plantio.

Diante do cenário apresentado, este trabalho parte da seguinte questão norteadora: Como a utilização da IoT, no processo de irrigação, pode beneficiar o

cultivo de olerícolas, mais conhecidas como hortaliças, e como a utilização dessa tecnologia pode auxiliar na diminuição de perdas no cultivo?

Para resolver essa problemática, o objetivo principal deste trabalho é desenvolver um sistema, utilizando a IoT, para auxiliar no processo de irrigação no cultivo de hortaliças. A fim de alcançar esse objetivo, foram traçados os consequentes objetivos secundários: fazer levantamento bibliográfico, para compreender todas as nuances que envolvem a IoT, a irrigação e as hortaliças; desenvolver um sistema de *hardware* para o monitoramento, baseado na utilização de microcontroladores, sensores e atuadores; desenvolver um *software* responsável pelo tratamento de dados e seu armazenamento, e pela interação com o usuário.

2 JUSTIFICATIVA

Sobre o aumento populacional do mundo, a Organização das Nações Unidas (ONU) afirma que “A população poderá crescer para cerca de 8,5 bilhões em 2030 e 9,7 bilhões em 2050; é projetado para atingir um pico de cerca de 10,4 bilhões de pessoas durante a década de 2080 e permanecer nesse nível até 2100.” (ONU, 2022, p. 1).

Por conta desse crescimento e do consumo acentuado de alimentos, há uma preocupação global sobre a produção de alimentos, que, devido às projeções, podem não suprir a demanda populacional. A atual conjuntura mostra a grande importância que a agricultura tem no contexto mundial, sendo a produção de alimentos para toda a população uma preocupação legítima (Melo *et al.*, 2021). Diante disso, encontrar avanços tecnológicos que consigam otimizar a produção de alimentos, a fim de minimizar a escassez, é uma questão urgente.

Diversos conceitos da IoT vêm sendo introduzidos na produção agrícola (Bassoi *et al.*, 2019). Conceitos que possibilitam interconexões de aparelhos eletrônicos à internet, podendo auxiliar em diversas situações, sendo uma delas a geolocalização. A implementação dessas tecnologias da agricultura podem proporcionar diversos benefícios, já que os recursos podem ser melhor gerenciados por meio do uso da IoT, além de conseguir armazenar dados das plantações em tempo real e, com base nestes, orientar a tomada de decisão.

No que se refere, por exemplo, ao desenvolvimento e ao cultivo das hortaliças, é preciso um manuseio na rega (Pezente, 2019), uma vez que essas plantas necessitam de grande quantidade de água para seu correto crescimento (Pezente, 2019). Por este motivo, é utilizado de uma técnica de fornecimento de água chamado de irrigação para o cultivo de hortaliças.

Para otimizar a irrigação da forma mais eficiente possível, é necessário compreender a melhor maneira de fornecer água para a cultura, visando o máximo de aproveitamento e minimização das perdas (Albuquerque; Durães, 2007). A IoT desempenha um papel importante nesse processo, sendo frequentemente utilizada para coletar dados de umidade do solo, temperatura, índice de chuva, entre outros. Essas informações possibilitam fornecer às plantas apenas a quantidade essencial

para suprir as necessidades da planta, tornando o sistema altamente sustentável, uma vez que reduz os gastos desnecessários de água.

Diante do exposto, este trabalho se justifica pela relevância do tema, diante do cenário atual de produção de alimento e da exigência do mercado mundial. Assim, a IoT, aplicada à agricultura, pode fornecer subsídios necessários para o cultivo consciente e a combate ao desperdício de água, tão escassa, mas essencial à vida.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema, utilizando da IoT, para auxiliar no processo de irrigação para o cultivo de hortaliças.

3.2 Objetivos Específicos

- Efetuar o levantamento bibliográfico em áreas relativas à IoT e irrigação de hortaliças;
- Investigar, por meio de livros e artigos selecionados, os princípios fundamentais da IoT, incluindo protocolos de comunicação e *hardwares* utilizados, bem como sua aplicação em sistemas agrícolas;
- Analisar as técnicas e a importância da irrigação no contexto do cultivo de hortaliças, compreendendo suas necessidades específicas;
- Desenvolver uma plataforma de *hardware* para monitoramento de irrigação de hortaliças baseada em microcontroladores, sensores e atuadores;
- Desenvolver um *software*, baseado em princípios e protocolos da IoT, capaz de exibir ao usuário e armazenar os dados reportados, a partir da plataforma de *hardware* implementada.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Internet das Coisas

4.1.1 Conceito

A Internet das Coisas, também conhecida como IoT (sigla para *Internet of Things*) é descrita por Kiran (2019) como uma rede global que possibilita a interconexão entre equipamentos físicos e virtuais, utilizando de tecnologias da informação e comunicação. Essa infraestrutura tem como característica conectar dispositivos físicos à internet, por meio de protocolos especializados que podem agrupar e dispersar dados, dependendo da função do dispositivo no momento da criação, tendo incontáveis possibilidades de aplicação, de sistemas de geolocalização, até reconhecimento inteligente de indivíduos (Henriques, 2021).

A IoT vem adquirindo cada vez mais destaque, já que a sociedade está a todo o momento conectada à internet. Essa tecnologia não traz apenas novos conceitos, mas tem por intuito agregar todos os dispositivos já existentes, para que, juntos, consigam projetar uma evolução na era digital (Henriques, 2021).

Para Costa (2016, p. 1), a IoT objetiva principalmente “[...] melhorar o fluxo dos produtos e informações sem a interferência direta do homem”. Entretanto, para o melhor o incremento da IoT, é necessário o desenvolvimento completo da união dos dispositivos, como sensores, atuadores, microcontroladores, dentre outros (Henriques, 2021). Isso demonstra que o enlace da camada física e virtual é apenas um meio para chegar a um objetivo específico.

O avanço da IoT ocorreu por meio das muitas áreas da engenharia, as quais desenvolveram sistemas de sensoriamento remoto e sistemas embarcados (Henriques, 2021). Exemplos de aplicação da IoT no cotidiano são: carros inteligentes, que utilizam sistemas de GPS, radares, sensores e câmeras; casas inteligentes, que empregam controle de acesso central a lâmpadas e eletrodomésticos, entre outros (Henriques, 2021).

A internet se tornou, em poucos anos, uma necessidade mundial; o que antes servia apenas para fins militares e acadêmicos, hoje se transformou uma das maiores invenções da humanidade (Costa; Oliveira; Móta, 2018). Isso muito se deu

pela sua função de comunicação aberta, que pode ser utilizada por qualquer pessoa, resultando em grandes oportunidades de desenvolvimento de diversos serviços. Brito (1999) analisou que esse crescimento acentuado foi movido também pela necessidade da sociedade de gerar novos serviços e conteúdo, fazendo com que as pessoas, que precisassem de um espaço para aprendizagem, investigação científica, comércio e entretenimento, tivessem tudo isso em apenas um local. A primeira aparição do conceito IoT foi apresentada por Kevin Ashton (1999), que produziu um sistema de endereçamento de dados com a internet para facilitar o fluxo de informações, sem interferência humana.

Atualmente, com o avanço da tecnologia, todos os dispositivos podem ser identificados e detectados, podendo, assim, com a conexão com a internet, serem controlados de maneira remota, por meio de sensores (Feng *et al.*, 2012). Entretanto, há diversos requisitos que precisam ser atendidos para que o conceito da IoT seja implementado da maneira correta (Henriques, 2021).

4.1.2 Requisitos necessários

Com a rápida expansão da tecnologia e a introdução do conceito da IoT na sociedade, estima-se que, em pouco tempo, as máquinas serão empregadas de maneira oculta em situações que hoje em dia são realizadas por mãos humanas (Atzori *et al.*, 2010). Chase (2013) já tinha feito uma análise e uma previsão da efetivação de dispositivos inteligentes. Até o ano de sua pesquisa, havia sido uns 5 bilhões de dispositivos e, para 2020, esse valor poderia chegar aos 50 bilhões.

No entanto, para haver desenvolvimento sem interrupções, é necessário que existam um suporte básico para o seu fim específico, que, na questão da IoT, se refere ao auxílio de ferramentas de radiofrequência, identificação, sensores, telefones, sistemas de redes, protocolos e até mesmo de conexão sem fio entre dispositivos (Atzori *et al.*, 2010). Para Mattern e Floerjemeier (2010), o conceito da IoT não se trata apenas uma tecnologia única, mas, na verdade, é o produto da união de diversas tecnologias, com a capacidade de se integrarem para desempenhar o papel de conectar o mundo digital ao mundo físico, onde não existe a separação entre esses dois espaços.

Uma das principais tecnologias responsáveis para o desenvolvimento da IoT é a própria internet, que é um sistema de rede de computadores conectados por meio de cabos intercontinentais (Monteiro, 2001). Com o passar do tempo, a internet também evoluiu a ponto de não haver mais necessidade de estar com os dispositivos conectados a cabos, surgindo assim a internet móvel.

Conforme Kraus (2021), a evolução da internet ocorreu por fases, ou gerações, nesta sequência:

- I. **Primeira geração** – A tecnologia 1G utilizava o método *Frequency Division Multiple Access* (FDMA), que trabalhava com bandas de frequências muito estreitas, sendo 30 KHz cada banda.
- II. **Segunda geração** – Na 2G houve um esforço de desenvolver as técnicas, criando assim o método *Time Division Multiple Access* (TDMA), que teve um surgimento trágico, já que apresentou diversos problemas sendo logo substituído por *Division Multiple Access* (CDMA - CODE), utilizando a faixa de frequência de 800 MHz.
- III. **Terceira geração** – A 3G surgiu com o intuito de ser um padrão global, atendendo uma frequência de 850 MHz.
- IV. **Quarta geração** – A 4G ficou marcada por sua grande eficiência, se comparada às gerações anteriores, trazendo a novidade do *Multimedia Messaging Service* (MMS) com frequência de 2,5 GHz.
- V. **Quinta geração** – A 5G, com o foco em maior velocidade, traz uma latência de até 1 ms e trabalha numa frequência de 2,5 GHz até 30 GHz.

Os requisitos para a utilização da IoT são específicos para cada sistema. Entretanto, para ser definido como um sistema inteligente, sua natureza precisa ter alguns objetivos. Henriques (2021) descreveu três requisitos fundamentais para a implementação da IoT, sendo eles:

- I. **Ter conexão com uma rede** – Esta função é a mais básica, já que é necessário que o sistema esteja em uma rede, compartilhando recursos com outras máquinas para que haja uma interconexão entre elas.
- II. **Recebimento de dados digitais obtidos por meio de sensores** – É necessário que o sistema tenha consigo sensores que forneçam dados suficientes para o sistema conseguir as informações necessárias à tomada de decisão.

- III. A autonomia do sistema** – Para que um dispositivo seja considerado inteligente, é essencial que não ocorra a necessidade de uma intervenção humana a cada processo. O dispositivo deve, por si só, fazer a tomada de decisão com base nos sensores ou nas informações identificadas pelos usuários.

Além dos requisitos necessários para a implementação da IoT, é preciso compreender toda arquitetura por trás dessa grande estrutura.

4.1.2 Arquitetura

Por mais que o conceito da IoT seja de fácil entendimento, ela pode ser implementada em sistemas com alto nível de complexidade. Visando facilitar essa percepção, foram criadas camadas para demonstrar a simplicidade de sua compreensão, em que inúmeros estudiosos descrevem, da maneira mais adequada, como deve ser uma arquitetura para IoT. Al-Fuqaha *et al.* (2015) e Khan *et al.* (2012) inferem que ela pode ser separada em cinco camadas, sendo elas:

- I. Camada de Percepção** – É a camada no qual está associada a todos os componentes de *hardware* necessários para a obtenção de dados, como: sensores e atuadores, e dados de temperatura, umidade, localização, luminosidade, dentre outros.
- II. Camada de Rede** – É a camada responsável por conduzir a informação dos sensores para o sistema. A tecnologia utilizada nessa camada pode ser específica de cada sistema, podendo ser: *bluetooth*, *wi-fi*, entre outras.
- III. Camada de *MiddleWare*** – Esta camada é o cérebro do sistema, sendo nela que ocorre o armazenamento dos dados recebidos dos sensores, no banco de dados, e seu processamento, além de ser o local onde é feita a tomada de decisão.
- IV. Camada de Aplicação** – É a camada que está em contato com o usuário. Nela há o serviço de inteligência, onde se define a necessidade do usuário.
- V. Camada de Negócio** – É, por fim, a camada de gerenciamento, onde é realizada toda administração dos dados e o suporte às outras camadas.

Já foram apresentados os principais conceitos, as demandas necessárias para uma correta implementação e todo o processo da arquitetura da IoT, restando

demonstrar exemplos de como a IoT pode ser utilizada, que será apresentado a seguir.

4.1.4 Aplicações

Após definir o conceito e os requisitos de implementação da IoT, se faz necessário citar ainda formas de sua aplicação e como a otimização de seu serviço se realiza. A utilização de dispositivos inteligentes tem como foco otimizar e favorecer a economia mundial na sua totalidade, já que a eficiência dos trabalhos e a redução de gastos e perdas, assim como o aumentando da produtividade, são objetivos almejados por todos (Henriques, 2021).

No agronegócio, a IoT vem trazendo cada vez mais benefício, sendo utilizada em praticamente todos os processos, como, por exemplo, realizar o monitoramento da plantação para ser analisado o desenvolvimento da safra, estimar situações meteorológicas indesejáveis, para não causar perdas a cultura, maior gestão da propriedade e, até mesmo, rastreamento do produto até seu destino final (Sundmaeker *et al.*, 2016).

4.2 Irrigação no cultivo das hortaliças

Nesta seção, se compreenderá os processos que envolvem a irrigação, tais como: conceito, fatores para implementação, os métodos e, por fim, será abordado sobre as hortaliças e a sua necessidade de irrigação.

4.2.1 Irrigação

4.2.1.1 Conceito

A irrigação é descrita como uma das técnicas mais utilizadas na agricultura. É tão antiga quanto a própria agricultura, e consiste em fornecer água para plantação, suprimindo a necessidade da cultura até que o solo esteja devidamente umedecido (Castro, 2003). Essa técnica visa minimizar problemas no momento do cultivo tais como má formação da safra ou mesmo a morte das plantas; também não deixa o

agricultor refém apenas de chuvas (Carvalho; Araujo, 2010). Entretanto, é preciso um estudo correto sobre a necessidade de cada tipo de cultura, já que o fornecimento de água excessivo pode acarretar em problemas de desenvolvimento da plantação, podendo limitar os processos essenciais, como o de fotossíntese, respiração, e, ainda, facilitar o aparecimento de doenças e pragas (Albuquerque; Durães, 2007).

A água é um recurso imprescindível à vida terrestre, incluindo as plantas, e seu uso é necessário para o crescimento da cultura, visando fornecer os nutrientes essenciais à vegetação, bem como auxilia no processo de transpiração, entre outros (Cunha, 2016).

Para que um sistema de irrigação seja o mais otimizado possível, é indispensável haver, de maneira equilibrada, a combinação entre o quanto de água uma cultura precisa e qual a quantidade fornecida para ela, levando em consideração a perda no processo de evaporação (Lima, Ferreira; Christofidis, 1999). Esse sistema pode ser de baixa vazão, quando fornecidos em menores volumes de água com maior frequência, ou o contrário, quando se fornece altos volumes por intervalos maiores entre o fornecimento (Testezlaf, 2017).

Segundo Silva e Freitas (2023), dados agropecuários do Brasil de 2017 demonstraram existir mais ou menos 6,7 milhões de hectares que utilizavam algum sistema de irrigação, um aumento significativo em relação ao censo anterior, de 2006, onde se tinha um equivalente de 4,5 milhões de hectares irrigados, sendo perceptível o aumento dos valores em pouco mais de dez anos. Altoé (2012) mostra que, no *ranking* da prática de irrigação, a região Sudeste está em primeiro lugar, seguida pela região Sul e Nordeste, mostrando a grande importância desse processo para uma melhora substancial no cultivo, incrementando a economia e o desenvolvimento do mercado.

Porém, no quesito produtividade, é essencial que o produtor rural tenha em seu planejamento o melhor método de irrigação, podendo este ser um fator crucial para uma safra próspera ou uma safra debilitada. Como mencionado, uma má irrigação pode levar ao uso desnecessário de água, ou até mesmo à falta dela nos solos, não conseguindo atingir o correto nível de umidade necessário à cultura para ela chegar a seu melhor potencial, gerando desperdício de capital com um método ineficiente (Altoé, 2012).

A irrigação, de fato, é uma técnica essencial ao cultivo de diversas culturas, entretanto a sua implementação não é feita de qualquer modo. É necessário um estudo para compreender as necessidades e os fatores que podem influenciar na escolha de empreender um determinado sistema de irrigação.

4.2.1.2 Fatores a serem considerados na implementação da irrigação

Para haver a eleição correta do melhor método de irrigação, os agricultores devem estar sempre atentos a sua necessidade, já que existem vantagens e desvantagens em cada um dos métodos, tendo como variáveis decisivas o tipo de plantio, solo, clima, cultura, entre outros (Guimarães, 2011; Santos, 2014).

Alguns desses motivos são descritos por Altoé (2012):

- I. **Solo** – Dependendo do tipo de solo, existe um cálculo que verifica a velocidade da água ao penetrá-lo, como, por exemplo, se a velocidade for maior de 60 mm/h, é recomendado que sejam utilizados os métodos de aspersão ou localizada. Já a velocidade menor que 12 mm/h, é essencialmente necessária a irrigação localizada.
- II. **Tipo de cultivo** – É preciso compreender o tipo de cultura que será cultivada em sua propriedade, para ser considerado o processo de rotação de culturas, fazendo com que um único sistema de irrigação seja benéfico para mais de uma cultura, se assim for necessário.
- III. **Clima** – Neste quesito, é fundamental compreender a relação do clima com a sua propriedade, para utilizar a irrigação como uma forma de complementar o que já existe, para poder ser extraído o máximo de desempenho nesse processo, podendo escolher, de forma mais precisa, a frequência e a quantidade de água.
- IV. **Necessidade hídrica da cultura** – Cada cultura tem sua necessidade bem definida, tornando extremamente importante ter consciência de quanto de água planta precisa, e, juntamente com o clima da região, auxiliar no processo hídrico.
- V. **Topografia** – O relevo em que a plantação está situada é de extrema importância, já que pode ser inclinado ou com a presença de rochas, ou

até mesmo com obstruções, levando a uma limitação entre os métodos apresentados.

Vistos os fatores a serem analisados para a implementação de um sistema de irrigação, é necessário também compreender qual melhor método para cada propriedade em específico.

4.2.1.3 Métodos de irrigação

Hoje existem diversas técnicas na utilização do processo de irrigação, sendo estes métodos classificados como irrigação de superfície, por aspersão, localizada, e por subirrigação; por trás de cada técnica, existem subcategorias de aplicação da irrigação (Altoé, 2012; Cunha, 2016), como discorrido a seguir:

- I. **Irrigação por Superfície** – É uma técnica na qual é distribuída a água pela superfície do solo de modo que o escoamento não cause erosão. A gravidade é a principal aliada nessa técnica, já que por meio dela o solo consegue absorver a água necessária. Este método é conhecido pela utilização de sulcos em sua aplicação (Altoé, 2012; Lucietti, 2014).
- II. **Irrigação por Aspersão** – É um método de irrigação no qual a água é conduzida por uma tubulação até um sistema de aspersão, simulando o mesmo processo de uma chuva (Embrapa, 2013), podendo ser indicado para vários tipos de culturas e solos. Santos (2014) diz que esse método é muito escolhido por ter um menor consumo de água e por possibilitar também a aplicação de fertilizantes. Ainda segundo o autor, essa técnica tem diversas desvantagens, como: investimento de um alto custo, ser prejudicial à polinização, e tende a contribuir para a aparição e o desenvolvimento de doenças. O sistema de aspersão pode ser apresentado de maneira convencional ou pela utilização do pivô central.
 - A) **Aspersão Convencional** – Conforme Cruz (2009), é a forma de irrigação por aspersão mais simples e que necessita menos de um investimento financeiro, entretanto é necessário ainda haver mão de obra humana para serem feitas as inspeções da tubulação utilizada. Este método consiste na emissão de esguichos de água lançados ao ar por uma tubulação.

B) **Aspersão com Pivô Central** – Este método possui um pivô central, isto é, um aparelho que bombeia água, sob pressão, para um tubo metálico. É acoplado a torres triangulares sobre rodas que se movimenta por meio de processo hidráulico, circulando em torno do seu pivô, podendo irrigar de 50 até 130 hectares (Carvalho, 2010). Quanto maior a área irrigada pelo pivô, menor é o custo.

- III. Irrigação Localizada** – Este método consiste em que a água seja transportada por uma tubulação que, juntamente com a utilização de equipamentos de técnica específica de gotejamento ou de microaspersores, consiga conduzir o recurso rente às raízes das plantas (Lucietti, 2014). As principais vantagens desse método é o baixo custo de energia, maior controle e gerenciamento da água, acarretando em maior economia. Contudo, tem como desvantagem o alto investimento, visto que é necessário a compra de diversos dispositivos e o risco de entupimento destes.
- IV. Gotejamento** – Tem como principal objetivo fornecer água de maneira muito mais lenta em pontos específicos da planta, para haver um maior aproveitamento do recurso hídrico fornecido ao vegetal, chegando à taxa de 90% (Carvalho; Araujo, 2010), sendo mais frequente em jardins, hortas, estufas e jarros, com variações de vazão de água de 2 a 10 litros por hora. Suas maiores vantagens são: não precisa de mão de obra, aplicável em qualquer tipo de terreno, gera muita economia de água, entre outros. E as principais desvantagens são: o alto custo inicial para a aplicação do sistema e ter muita chance de entupimento dos dispositivos responsáveis pela entrega da água para a planta.
- V. Microaspersão** – Neste método, a água é borrifada por microaspersores bem próximo à raiz da planta, sendo uma ótima escolha também para hortas, jardins, estufas e outros. A técnica conta com uma tubulação fixa central com microaspersores acoplados de maneira que sua posição se encontre rente ao solo, próximo ao sistema radicular da planta (Cruz, 2009). A maior diferença entre esse método e o gotejamento é que o primeiro aplica a água em uma área para uma absorção uniforme, enquanto o segundo irriga apenas em um ponto específico.

VI. Irrigação por Subirrigação – Este método consiste na aplicação da água abaixo do solo, criando assim um lençol freático a uma profundidade em que as raízes da cultura consigam absorvê-la, permitindo o fluxo desse recurso entre elas (Altoé, 2012).

Foi apresentado, até o momento, o conceito de irrigação, os fatores a serem considerados para sua implementação, seus métodos e suas finalidades. A partir deste ponto, será preciso compreender a necessidade hídrica das hortaliças, e se é realmente necessário o emprego da irrigação para o seu cultivo.

4.2.2 Hortaliças

As hortaliças são plantas utilizadas fundamentalmente para alimentação, já que concentram uma grande quantidade de nutrientes, vitaminas e sais minerais (Pezente, 2019). Elas se caracterizam por possuir pequeno porte, podendo ser cultivadas em pequenos espaços, têm um ciclo de colheita curto e, por terem alto valor nutritivo, podem ser ingeridas *in natura*, ou seja, sem manipulação industrial (Clemente; Haber 2012). Costa (2016) traz a informação de que a maioria das plantas comestíveis apresentam intervalo de cultivo de um ano, sendo conhecidas como plantas anuais.

Baseado na intensa comercialização das hortaliças, feita praticamente todos os dias, Camargo Filho e Camargo (2017) fizeram um estudo para identificar o índice de produção e transações envolvendo esses vegetais. O resultado mostrou que houve um aumento de 30% no consumo de hortaliças no mundo, entre o período de 2001 a 2013, e, no Brasil, o aumento foi de 24%. Esse aumento foi atribuído ao avanço no desenvolvimento de melhorias para inúmeras culturas, gerando espécies híbridas e aprimoradas.

O território brasileiro, por ser incrivelmente extenso, apresenta uma diversidade de regiões, climas e vegetações, sendo adequado para distintos tipos de hortaliças, gerando um grande acervo de possibilidades (Sampaio *et al.*, 2018). Bellé (2021) identificou que, até o ano de 2018, as culturas de maior importância econômica cultivadas no Brasil eram as frutícolas e olerícolas. O estudo de Ceuppens *et al.* (2014) constatou que apenas a alface, hortaliça mais consumida,

sozinha corresponde a 40% do volume total de vendas pelas empresas que tem como ramo o fornecimento de produtos *in natura*.

O Sistema Nacional de Centrais de Abastecimentos (ABRACEN) fez uma classificação das hortaliças em três categorias (ABRACEN, 2011):

- I. **Hortaliças fruto** – São hortaliças com seu fruto destinado ao consumo, como jiló, quiabo, ervilha, tomate, entre outros.
- II. **Hortaliças tuberosas** – São hortaliças com partes comestíveis abaixo do solo, sendo ainda subdivididas em bulbos, como alho e cebola; em raízes, como beterraba, batata-doce e cenoura; em tubérculos, como batata, e em rizomas, como inhame.
- III. **Hortaliças herbáceas** – São as culturas com as partes utilizadas para o consumo acima do solo, também subdivididas em folhas, como alface e espinafre; em flores, como brócolis e couve-flor; em talos e hastes, como aspargo e aipo.

4.2.3 Implementação da irrigação no cultivo das hortaliças

O cultivo de hortaliças está sempre ligado a um fornecimento constante de água, já que esse tipo de plantas tem uma média de 80% de seu corpo constituído por ela. Por esse motivo, na maioria das vezes, se utiliza sistemas de irrigação para facilitar o processo de cultivo, sendo realizado o estudo para verificar a necessidade da frequência e do volume de água (Clemente; Haber, 2012; Fedrigo, 2018). Maguire (2014) cita que o momento ideal para ser realizada a irrigação é no fim da tarde e no começo da manhã, onde as temperaturas são mais amenas, possibilitando que a água chegue até as raízes sem sofrer evaporação. Sobre o cultivares de morangos, Santos *et al.* (2005) descrevem a necessidade hídrica dessa cultura, demonstrando que são plantas sensíveis a qualquer tipo de deficiência de água no solo.

A irrigação no cultivo de hortaliças é de extrema importância, já que são culturas que necessitam de água, na maioria das vezes, diariamente. Pezente (2019) descreve que, para as hortaliças na sua fase inicial, é recomendada a rega diária; para as hortaliças de frutos e raízes, a recomendação é a rega a cada três dias; e,

por fim, as hortaliças de folhas devem continuar seguindo as mesmas orientações da hortaliça na sua fase inicial.

Em relação ao consumo de água das hortaliças, Pezende (2019) menciona que é necessária uma média de 4 a 10 litros por metro quadrado, e 3 a 5 litros por cova, adicionados vagarosamente. Para ser feita a rega, pode ser utilizado diferentes tipos de sistemas de irrigação, sendo necessária uma avaliação detalhada de diversos fatores, entretanto, como opções, tem-se a irrigação superficial, subsuperficial, por aspersão e a localizada.

Para semear as hortaliças, existem duas opções disponíveis, descritas por Fedrigo (2018), por semeadura diretamente ao solo ou por meio de mudas. Para a semeadura diretamente ao solo, é comumente inserida 3 (três) sementes por cova a aproximadamente 2 (dois) centímetros da superfície. Nas mudas, quando for possível constatar as três folhas definitivas das sementes, é necessário identificar a planta mais desenvolvida e eliminar das mais fracas, processo este conhecido como raleio (Clemente; Haber, 2012). A distinção entre a utilização de sementes ou de mudas está na experiência do agricultor e nos recursos para o desenvolvimento da cultura, ou seja, se o agricultor tiver recursos e experiência, são recomendadas sementes, e para novatos são mais aconselháveis mudas (Costa, 2016).

Por fim, o ideal é fazer o processo de poda, que consiste em cortar partes da planta para facilitar e auxiliar no seu desenvolvimento; e, nas hortaliças, a remoção de galhos que não geram frutos (Costa, 2016; Fedrigo, 2018). Este processo é realizado na planta já adulta para melhorar seu progresso e otimizar o uso de água e dos nutrientes, gerando economia de recursos.

Foi demonstrado, nesta seção, o que são hortaliças, como estão divididas e a sua necessidade hídrica. Por fim, é preciso compreender como a tecnologia foi introduzida na agricultura, sua finalidade e os resultados apresentados até o momento.

4.3 Aplicação da Internet das Coisas (IoT) no cultivo de hortaliças

Nesta seção, será abordado como a IoT pode ser aplicada no processo de cultivo de hortaliças, destacando conceitos como Agricultura Digital e Agricultura de Precisão.

4.3.1 Agricultura digital

O avanço no desenvolvimento da tecnologia, a chegada da IoT no meio rural e o aumento da computação na nuvem permitiram a combinação perfeita para o progresso da agricultura (Sundmaeker *et al.*, 2016), resultando na criação do conceito de Agricultura Digital (AD) – ou agricultura inteligente, como também é chamada –, sendo um tema bastante discutido na literatura (Wolfer *et al.*, 2017).

A AD vem como um auxílio aos proprietários de terras no aumento da produtividade no setor agrícola, possibilitando lidar com diversas variáveis presentes no meio rural e propiciando um melhor gerenciamento delas na armazenagem de dados coletados em tempo real, que poderão ser utilizados para as tomadas de decisões ou até para o levantamento de estatísticas (Wolfer *et al.*, 2014).

Porém, a ideia de haver um tipo de gerenciamento de uma propriedade rural não é nova, pode ser oriunda do Sistema de Informação de Gerenciamento da Propriedade (FMIS), do inglês *Farm Management Integrated System*. O FMIS foi citado pela primeira vez por Sorensen *et al.* (2010) para ser um sistema com capacidade de coleta de dados, processamento, armazenamento e análise estatística para a implementação de um processo mais eficiente e organizado.

Para a realização do seu objetivo, a agricultura inteligente utiliza meios tecnológicos, como comunicação entre máquina, sensores e dispositivos, com tendência a gerar grandes números de dados (Pivoto *et al.*, 2018).

Atualmente, o avanço da tecnologia gera o desenvolvimento econômico, já que é por meio de novos conceitos e novas aplicações que é possível realizar tarefas de maneira mais eficiente, ou seja, reduzindo as perdas e maximizando os lucros. Como o mercado é extremamente competitivo e necessita desse avanço, é essencial que as empresas estejam à frente no quesito investimento, para que, no final, alcance maiores lucros. Outro ponto que estimula todo esse crescimento é a busca pela sustentabilidade, e, devido à crise ambiental global, muitas propriedades rurais, empresas e negócios precisaram sofrer mudanças para a introdução de alternativas mais ecológicas (Tilman *et al.*, 2002).

Por este motivo, é um grande desafio a implementação das agriculturas digitais, posto que devam sempre buscar maior sustentabilidade nos seus processos de fertilização, no uso consciente de pesticidas, na correção dos solos e outras

demandas, porém com o foco no aumento da produtividade, extraindo ao máximo de eficiência em cada etapa da ação agrícola.

O Brasil tem investido cada vez mais em adotar este novo conceito, pois os recursos advindos do meio rural estão ficando cada vez mais escassos, como a mão de obra e o espaço de área disponível para o plantio. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) fez um levantamento de dados que demonstrou que 84,4% da população brasileira está alocada no meio urbano, e a previsão é que em 2030 esse número chegue a 91,1% (IBGE, 2010). Mediante esse contexto, os proprietários rurais deverão buscar a automação de suas fazendas, com o objetivo de suprir essa crescente demanda, pois outros estudos dizem que até 2055 praticamente mais da metade das atividades realizadas por humanos podem ser automatizadas, ou seja, realizadas por máquinas ou sistemas autônomos (Manyika *et al.*, 2017).

4.3.2 Agricultura de Precisão

Dentro da AD, há um conceito que, muitas vezes, é confundido com ela mesma – a Agricultura de Precisão –, sendo esta uma técnica de gestão de informações das culturas, por meio da compreensão da variabilidade espacial e temporal, que permite o manuseio de técnicas específicas do meio rural, como irrigação, correção do solo, aplicação de fertilizantes, e outras (Basso *et al.*, 2019). Por meio dessa técnica, o agricultor consegue fazer o uso racional dos seus recursos, no momento e em quantidade correta, a fim de otimizar o potencial da cultura, para obter maiores lucros e menores perdas (Basso *et al.*, 2011; Ezenne *et al.*, 2019).

Entretanto, a Agricultura de Precisão (AP) é uma técnica complexa e custosa, posto que, para o seu correto funcionamento, são necessários muitos dados e informações, sendo elas das culturas, da fauna e da flora regional, do clima, do tipo de solos, dentre outras. Esses dados precisam ser georreferenciados e bem estruturados para servirem de base para a construção do projeto (Adamchuk, 2004; Basso *et al.*, 2019). Para isso, uma das tecnologias utilizadas para o auxílio da AP é o Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), do inglês *Global Navigation Satellite System*, empregado por máquinas de grande porte, equipamentos e até

mesmo sensores, para garantir o correto mapeamento do ambiente em que a propriedade está inserida (Basso *et al.*, 2019).

O grupo Kleffmann – Instituto Internacional de Pesquisa de Mercado Agrícola – fez um estudo no Brasil referente à utilização de ferramentas tecnológicas em propriedades nas regiões Sul, Centro-oeste, e em alguns estados do país, onde foi constatado que 45%, de 992 (novecentos e noventa e dois) produtores, utilizam ao menos 1 (uma) tecnologia em sua propriedade. Foi verificado que tais ferramentas foram empregadas na aplicação de sementes, com uma taxa de 13%; no uso de agroquímicos, com 14%; e na utilização de fertilizantes, com 26% (Basso *et al.*, 2019).

Um dos desafios, além da sua complexidade e de custo elevado, é a grande dificuldade de abranger todas as variáveis que englobam o meio rural, sendo algumas delas: a temperatura, a incidência da chuva, as especificações do solo e das plantas, e as indicações dos agrônomos referentes ao plantio. Por este motivo, é recomendada a existência de um projeto referente à utilização da AP, para definir corretamente o local e a forma de usos dos sensores, das máquinas ou de quaisquer outros sistemas tecnológicos (Basso *et al.*, 2019).

4.3.3 Agricultura Digital para as hortaliças

Nobre e Moura (2023) descrevem que, para o cultivo da alface, é necessário manter a umidade e a temperatura ideal para seu pleno crescimento, pois qualquer alteração destas variáveis pode gerar uma queda na qualidade do produto, demonstrando que é preciso monitoramento e irrigação, para que a tecnologia seja utilizada a favor dos agricultores.

Com base no estudo proposto por Dias (2019), é possível identificar diversos benefícios da implementação da IoT no processo de irrigação, uma vez que, por meio do sistema, é possível integrar todas as informações, de forma a ajudar na tomada de decisão do agricultor, além da facilidade gerada pelo sistema, que substitui o olhar diário do agricultor mediante a plantação.

Sawant, Durbha e Jagarlapudi (2017) descrevem que a Índia fez um movimento para uma grande implementação de sensores meteorológicos, tendo como o foco a coleta de dados de algumas variáveis em diversas produções

agrícolas, objetivando monitorar as plantações, por meio de cálculos feitos pelo sistema, para ser possível o fornecimento contínuo de água. Todos os dados coletados foram armazenados e contrapostos posteriormente aos dados de uma estação meteorológica do país, tendo sucesso na comparação e autenticando a eficiência de todo o sistema (Sawant; Durbha; Jagarlapudi, 2017).

Já Rodrigues *et al.* (2020) produziram um projeto que teve como objetivo a implementação de um *software* de monitoramento e irrigação de hortaliças, a fim de realizar a otimização de todo o processo de cultivo das culturas, tornando o plantio mais eficiente e com o mínimo de mão de obra. Após a produção e a implementação do *software*, todo o processo foi avaliado por professores e alunos do Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia (ICET) do Amazonas e por agricultores de hortaliças da região.

5 METODOLOGIA

Cada pesquisa tem sua própria característica, que pode gerar alterações dependendo do tema e do problema escolhido para o projeto, tornando a metodologia diferente de trabalho para trabalho (Tomanik, 1994). Para um correto desenvolvimento de uma pesquisa científica, é necessário determinar qual a metodologia que melhor se encaixa dentro do escopo do projeto, conseguindo identificar a abordagem e natureza da pesquisa e o objeto de estudo (Dias, 2019).

No que se refere à abordagem, esta pesquisa utiliza a qualitativa. Segundo Fazenda (2017, p. 62) “[...] a abordagem qualitativa é uma modalidade da pesquisa voltada para o entendimento e a interpretação de fenômenos humanos, cujo objetivo é alcançar uma visão mais detalhada [...]”. Por meio do levantamento bibliográfico, a criação do estado da arte conseguiu unificar informações já existentes, diminuindo a complexidade e facilitando o entendimento. Conforme Triviños (1987), a pesquisa qualitativa é uma forma de abordagem que explora as informações coletadas dentro do seu contexto.

Quanto à natureza, esta pesquisa se caracteriza como aplicada. Conforme Brasil (2006, p. 1), na pesquisa aplicada, “[...] os trabalhos executados [objetivam] adquirir novos conhecimentos, com vistas ao desenvolvimento ou aprimoramento de produtos, processos e sistemas”. Isso respalda esta pesquisa, que tem como objetivo desenvolver um produto de IoT que facilite o dia a dia dos agricultores rurais no processo de irrigação de hortaliças.

Concernente ao objetivo, este estudo tem caráter exploratório, pois a pesquisa que tem como foco principal desenvolver a compreensão sobre certo fenômeno, explorando todas as suas nuances (Gil, 2007). No caso deste estudo, é o entendimento de como a IoT pode facilitar a rega de hortaliças, gerando uma proposta de produto que auxilie todo o processo de irrigação desses vegetais, trazendo uma nova perspectiva de desenvolvimento da IoT na zona rural.

Como já existem pesquisas e estudos similares na internet, foram empregados procedimentos bibliográficos para a construção do embasamento teórico deste trabalho. O estudo de caso foi escolhido, a fim de compreender quais pontos o processo de construção do sistema necessitava.

A proposta do produto teve como o público-alvo pessoas que praticam agricultura familiar, agricultura urbana ou até mesmo pequenos produtores. E o sistema proposto foi pensado para plantações de pequeno e médio porte, porém já foi desenvolvida com o pensamento de expansão, para dar suporte a grandes propriedades também.

O processo de produção deste Trabalho de Conclusão de Curso foi dividido em algumas etapas, como: Construção do tema; Busca, separação e catalogação de artigos; Planejamento da obra; Desenvolvimento da parte da escrita; Levantamentos de requisitos do *software*; Implementação da parte física do sistema; Construção do *software*; Testes e ajustes; Correção desta monografia e do *software*.

A etapa de criação se deu com interesse no conceito de IoT, de intercomunicação entre máquinas e como isso pode afetar nosso futuro. Após conversa com o orientador, foi delimitado o tema e o problema da pesquisa. Assim, foi decidido retomar um antigo projeto feito no início do curso – um sistema de irrigação inteligente – e implementá-lo de maneira apropriada.

5.1 Levantamento bibliográfico

Após a escolha do tema e do problema foi realizada uma pesquisa aprofundada de artigos científicos, anais e livros que pudessem servir para o embasamento teórico da pesquisa. Foi feita uma pesquisa nas bases de dados: *Google Acadêmico*, *SciELO*, periódico Capes e ERIC, nos quais foram coletados artigos científicos de 3 (três) diferentes campos de atuação.

Primeiramente, realizou-se uma análise de artigos voltados à agricultura e ao cultivo de hortaliças para compreender o conceito, surgimento, importância e evolução da agricultura no decorrer dos anos, bem como processos, técnicas, características e funcionamento do cultivo das hortaliças. Assim, foram utilizadas as palavras-chave: agricultura, importância da agricultura, evolução da agricultura, processo de irrigação, Agricultura Digital e Agricultura de Precisão.

Posterior ao levantamento na área da agricultura, adotou-se o mesmo procedimento metodológico para a pesquisa sobre a IoT. Então, realizou-se uma busca com as palavras-chave: IoT, surgimento da IoT, aplicações da IoT, arquitetura

e requisitos da IoT, visando compreender melhor todos os conceitos e processos que rodeiam esse tema.

Por fim, foi feita uma pesquisa específica no intuito de conseguir artigos que já tenham introduzido a IoT no cultivo e no processo de irrigação de hortaliças ou mesmo de outras culturas, sendo utilizada as palavras-chave: IoT na irrigação, IoT no cultivo de hortaliças, IoT na agricultura.

Logo após a coleta de todos os 82 (oitenta e dois) artigos científicos, realizou-se uma análise minuciosa para identificar quais os trabalhos seriam úteis para este projeto, separando-os em 2 (dois) grupos: 1) Artigos úteis, prontos para a utilização imediata; 2) Artigos de segunda opção, aqueles que, em algum momento, poderiam ser utilizados.

Para o desenvolvimento do produto referente a este projeto, foi utilizado o artigo de Gonçalves e Dias (2019), que demonstrou toda a cobertura que as redes 4G e 5G podem proporcionar. Até o momento, a internet 4G é a melhor opção para implementação deste projeto, pois, para que a internet 5G consiga ter um desempenho similar ou próximo da 4G, é necessário alto investimento, podendo até superar o benefício da velocidade (Gonçalves; Dias, 2019). Além disso, o microcontrolador, utilizado para este projeto, trabalha na frequência mais próxima da internet 4G, havendo melhor compatibilidade.

5.2 Desenvolvimento do Sistema

Nesta seção, serão detalhadas as ferramentas utilizadas para a construção do produto deste projeto, sendo elas divididas em *hardware* e *software*. No tópico *hardware*, se discorrerá sobre os sensores utilizados, e no item *software* serão descritos alguns processos dos sistemas.

5.2.1 Hardware

A primeira fase do desenvolvimento do sistema foi a aquisição dos componentes do *hardware*, que, em um momento posterior à aquisição, foram testados o funcionamento de cada componente e a projeção do sistema físico. A seguir, serão apresentados os componentes adquiridos.

5.2.1.1 ESP8266 Nodemcu

O esp8266 é um microcontrolador *Open-source*, utilizado para a construção de sistemas IoT. Por ser um microcontrolador, este componente contém um núcleo de processamento, memórias e *chip* que permite a comunicação *Wi-Fi*, funciona por meio do protocolo TCP/IP, possui entrada micro USB para alimentação e/ou para programação e entradas para periféricos de entrada e de saída. A escolha desse microcontrolador para o projeto foi devido a sua grande eficiência em projetos de desenvolvimento, seu baixo custo e a grande quantidade de informações sobre ele disponibilizada pela comunidade.

O esp8266 é fabricado pela empresa Espressif, tendo uma arquitetura RISC 32 bits trabalhando em uma frequência de 80 MHz podendo chegar até os 160 MHz e o módulo *Wi-Fi* opera em uma frequência de 2,4 GHz. Este microcontrolador tem disponibilidade de 4 Mb de memória para o algoritmo principal, mas, para os dados do sistema, é liberado 50 kB, com tensão nominal para seu funcionamento de 3,3 Volts (Espressif, 2020).

5.2.1.2 Sensores

Conforme Patsko (2006), um sensor é um componente eletrônico que permite a coleta de dados referente a uma determinada variável do ambiente. As variáveis podem ser de situações mais simples, como coletar os dados de temperatura do ambiente ou luminosidade, até situações mais complexas, como o nível de radiação emitida por certos objetos. Thomazini e Urbano (2011) descrevem melhor o conceito de sensor como um dispositivo capaz de mensurar energias do ambiente, sendo elas cinética, térmica, luminosa, entre outras, estando vinculadas a grandezas de medida, como velocidade, aceleração, temperatura, pressão etc.

5.2.1.2.1 DHT11

Para a coleta de dados, referente à temperatura do ambiente, foi utilizado o sensor DHT11, que possui um papel extremamente importante no sistema, pois, por

meio dos dados obtidos por ele, pôde-se fazer o levantamento das condições climáticas onde as hortaliças estavam inseridas; estes dados foram posteriormente utilizados no cálculo para a irrigação.

O DHT11 foi escolhido pela facilidade de manipulação, pelo baixo custo e pela grande disponibilidade no mercado, além de sua precisão, pois consegue coletar temperaturas de 0 – 50° C, tendo divergência de 2° C, tanto para mais quanto para menos. Ademais, esse sensor tem, em sua composição, um microcontrolador de 8 bits, responsável pelo envio das informações por meio do pino de dados, que é digital (DHT11, 2010).

5.2.1.2.1 Higrômetro

No quesito de coleta de dados referente à umidade do solo, foi utilizado, no sistema, o sensor higrômetro. O higrômetro é baseado no circuito integrado LM393; o dispositivo também possui duas interfaces, sendo elas: digital e analógica. Esse fator foi extremamente importante para o projeto, pois, por meio deles, pôde-se medir a umidade do solo onde as hortaliças se encontram; além disso, ele foi escolhido por conta do seu baixo custo e simplicidade de implementação. O sensor higrômetro funciona com uma tensão de 3,3 – 5 Volts. A única desvantagem deste sensor é não ter uma grande precisão, sendo necessário calibrar o sensor para coincidir com o valor correto do solo.

5.2.1.3 Atuadores

Os atuadores são dispositivos que transformam energia elétrica, pneumática e hidráulica em energia mecânica. São geralmente comandados pelos controladores, que, a partir do comando, enviam informação para o atuador, para exercer uma função. Eles podem gerar movimentos giratórios, oscilatórios, ou até mesmo lineares.

5.2.1.3.1 Relés

O relé é um exemplo de atuador elétrico, sendo considerado um dos atuadores mais simples, já que tem sua funcionalidade bem descomplicada,

podendo trabalhar como um tipo de motor, ou até mesmo interruptor, utilizado geralmente na operação de máquinas ou em trabalhos que contêm válvulas.

Neste projeto, foi utilizado de relé para o acionamento da válvula solenoide (sua função será explicada a seguir) por conexão com o ESP8266. O relé funciona acionando cargas de energia que podem variar de 250 vac com correntes de 10A. Para o projeto, foi utilizado o módulo relé de 2 (dois) canais, entretanto, só foi utilizado 1 (um) canal.

5.2.1.3.2 Solenoides

Foi utilizada uma válvula solenoide para controlar o fluxo de água. Ela pode funcionar em tensões variadas e tem como papel primário se manter fechada, impedindo o fluxo, e, ao ser acionada, libera água para a plantação. Possui uma pequena bobina com o formato cilíndrico na posição de 90º, em relação ao fluxo de água, sendo responsável por sua barragem.

5.2.1.4 Fonte de alimentação

Como este projeto não foi testado em campo, a fonte de alimentação utilizada foi a entrada USB, que fornece 5V. Entretanto, para a implementação do projeto no campo, pode ser feita a utilização de baterias, caso não haja outra fonte de alimentação, como o fornecimento de uma rede pública. Para o segundo caso, é necessária a utilização de um regulador de tensão, observando os limites suportados pelos equipamentos a serem alimentados.

5.2.2 Software

No tópico 5.2.1 foram descritas as principais ferramentas utilizadas para a construção do *hardware*. A partir daqui, será discorrida a função de cada sistema e como ele foi desenvolvido.

5.2.2.1 Sistema do ESP8266

Para o processo de desenvolvimento do sistema, que fará a conexão entre todos os sensores e coletará os dados, para enviar posteriormente ao banco de dados, foi utilizada a ferramenta chamada Arduino IDE.

O Arduino IDE é um ambiente de desenvolvimento no qual é possível a criação de algoritmos em formato de *sketches*, que gera um arquivo com a extensão *.ino*, capaz de ser executado dentro de microcontroladores, como os da família do Arduino. Então, foi utilizado esse ambiente para fazer toda conexão do ESP8266 com os sensores para a coleta de dados.

Para a conexão com os sensores, foi necessária a utilização da biblioteca DHT.h. Além da conexão do microcontrolador com os sensores, é no Arduino IDE que é gerado os métodos de conexão do ESP8266 com o *Wi-Fi*, da comunicação com o *broker*, que atua como um servidor intermediário, direcionando as mensagens para os seus correspondentes, por meio do protocolo *Message Queue Telemetry Transport* (MQTT).

5.2.2.1.1 MQTT

O MQTT é um protocolo de comunicação desenvolvido pela IBM, a fim de interconectar os sensores de sistemas de petróleo até sistemas de satélites, gerando uma transferência de mensagens, usando um modelo de *publish* e *subscribe* (Yuan, 2017).

Nesta pesquisa, toda comunicação entre os sensores e atuadores com o sistema *desktop* e o *mobile* foi realizada pelo MQTT. Para isso, foi necessário gerar tópicos para cada atuador e para cada sensor do sistema, a fim de que fosse feita a transmissão da mensagem pelo *broker* – um servidor que recebe as mensagens publicadas e repassa para os dispositivos que se inscreveram no tópico.

5.2.2.2 Sistema *Desktop*

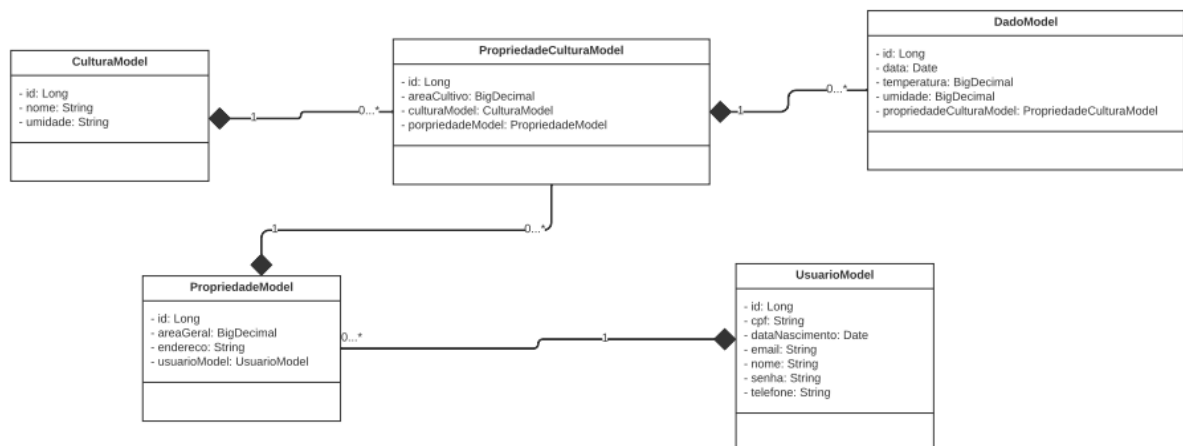
No desenvolvimento da aplicação *desktop*, foi utilizada a linguagem de programação *Java*. Esta escolha foi feita por ser uma linguagem muito popular, com

uma comunidade muito engajada, que facilita a procura de soluções para diversos tipos de situações. É uma linguagem também de alto desempenho, com muitos critérios de segurança, além de ser de grande afinidade do autor desta obra.

Para a construção do sistema *desktop*, foi utilizado o ambiente de desenvolvimento chamado de Eclipse. A escolha desta ferramenta se deu porque o autor deste trabalho já possui uma maior familiaridade com a IDE, além de ser ela quem fornece um amplo processo de customização de projetos com a utilização de *plugins*. Entretanto, para manipulação do *design* das telas foi utilizado a IDE do *netbeans* por dar uma maior liberdade no posicionamento dos elementos gráficos.

Inicialmente, foram geradas classes *Model*, representando as entidades criadas no banco de dados (Figura 1).

Figura 1 - Diagrama de Classe



Fonte: Elaboração própria (2023)

Este projeto foi construído no padrão *Model-View-Controller* (MVC), com algumas alterações para se enquadrar corretamente ao sistema escolhido. Essa opção de arquitetura foi feita para garantir a organização do projeto, mantendo-o coeso, facilitando a reutilização de código e o entendimento do sistema.

Em relação ao algoritmo, foram feitas divisões de pacotes para agrupar corretamente os arquivos, sendo esses o: *Model*, *View*, *controller*, *DAO* e *Útil*.

- O pacote *Model* contém todas as classes que foram utilizadas neste projeto, conforme a Figura 1;
- O pacote *View* é o local onde ficaram armazenados os arquivos referentes às telas do sistema;

- O pacote *Controller* é onde se encontram os arquivos que fazem todo processamento de dados e das regras de negócio, responsável pela inicialização de variáveis e validação de entradas;
- O pacote DAO é o local que abriga os arquivos responsáveis pela conexão ao banco e todo o processo do *Create, Read, Update, Delete* (CRUD). Por isso, é utilizado o nome DAO, que significa *Data Access Object* (Objeto de Acesso de Dados);
- E, por último, a pasta *Útil*, que é um pacote que armazena códigos genéricos, podendo ser utilizados a qualquer momento, por qualquer classe. O pensamento para a criação desta pasta foi de ter um repositório com métodos genéricos para que nos outros repositórios se contenha apenas o necessário.

Para o processo de acesso ao banco de dados, o próprio Java possui uma ferramenta chamada *Java DataBase Connectivity* (JDBC), que traz métodos de conexão, manipulação e fim de fechamento de conexão.

No processo da *View*, foi utilizado o *Java Swing*, um *framework* que contém diversos métodos e elementos gráficos. Esta escolha, em comparação com outras ferramentas, foi pelo seu grande número de usuários, que mantém uma comunidade ativa e está sempre sofrendo atualizações.

5.2.2.3 Sistema *Mobile*

Na implementação do sistema *móBILE*, foi utilizada a linguagem *Java*, visto já ser utilizada no sistema *desktop*, facilitando o desenvolvimento do projeto.

No ambiente de desenvolvimento *móBILE*, foi utilizado o *Android Studio*. Esta preferência se deu por diversos motivos, a saber: Compatibilidade com a linguagem *Java*, a escolhida para a produção deste projeto; Integração com o *Android SDK* (*Kit de Desenvolvimento de Software para Android*), pois foi identificado que outros ambientes de desenvolvimento precisavam da instalação do *Android SDK* por meio de outros processos; Facilidade de implementação do *design* das interfaces que permite a funcionalidade *Drag-and-Drop* – uma técnica de arrastar e soltar os componentes no local que se deseja.

O desenvolvimento *mobile* teve sua implementação similar ao do sistema *desktop*, utilizando as mesmas classes *Model*. As diferenças do desenvolvimento

mobile se deram no processo de conexão ao banco de dados e na implementação das interfaces, e em como funciona a integração entre o código *Java* e as interfaces em XML (Linguagem de Marcação Extensível), sendo a extensão utilizada nos arquivos de interface do *Android Studio*.

Uma das grandes dificuldades foi compreender a melhor forma de conexão com o banco de dados, pois, para o desenvolvimento *desktop*, foi utilizada uma base de dados local. Entretanto, para o desenvolvimento *móvil*, não é recomendado esta ação, visto que vai de encontro ao conceito de ter um *app* móvel, já que, para ter acesso ao banco de dados local, é necessário ingressar no sistema dentro da mesma rede em que o banco de dados está implementado. Sendo assim, foi utilizada uma API básica, apenas para consulta no banco que o resultado retorna um *Json* (*JavaScript Object Notation*) – formato de arquivo simples e leve que contém informações. Assim, o sistema *mobile* precisa apenas ler o *Json* e interpretá-lo.

O objetivo do sistema *mobile* é apenas para consulta, já que o proprietário nem sempre estará perto do computador para acessar o sistema *desktop*, podendo acompanhar as informações da cultura de qualquer lugar.

5.2.2.4 Persistência de dados

O banco de dados é uma ferramenta extremamente importante, visto que, por meio dele, é possível armazenar dados de todos os tipos, que, por sua vez, são fundamentais na tomada de decisão de empresas, projetos, sistemas, entre outros. E, neste estudo, não foi diferente, motivo pelo qual foi utilizado o banco de dados MySQL.

A escolha do MySQL como o sistema de gerenciamento de banco de dados deste projeto ocorreu devido a sua grande popularidade, além de sua interface simplificada com funcionalidades que auxiliam na criação de diagramas e pela segurança do sistema.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o desenvolvimento de todos os processos citados na Metodologia desta pesquisa, tem-se, como resultado, um produto composto por 3 (três) sistemas que, juntos, objetivam auxiliar o produtor rural de hortaliças no processo de irrigação de suas culturas, podendo, assim, monitorar todo o procedimento de forma a conseguir otimizar o tempo do agricultor e ter uma maior precisão nesse transcurso.

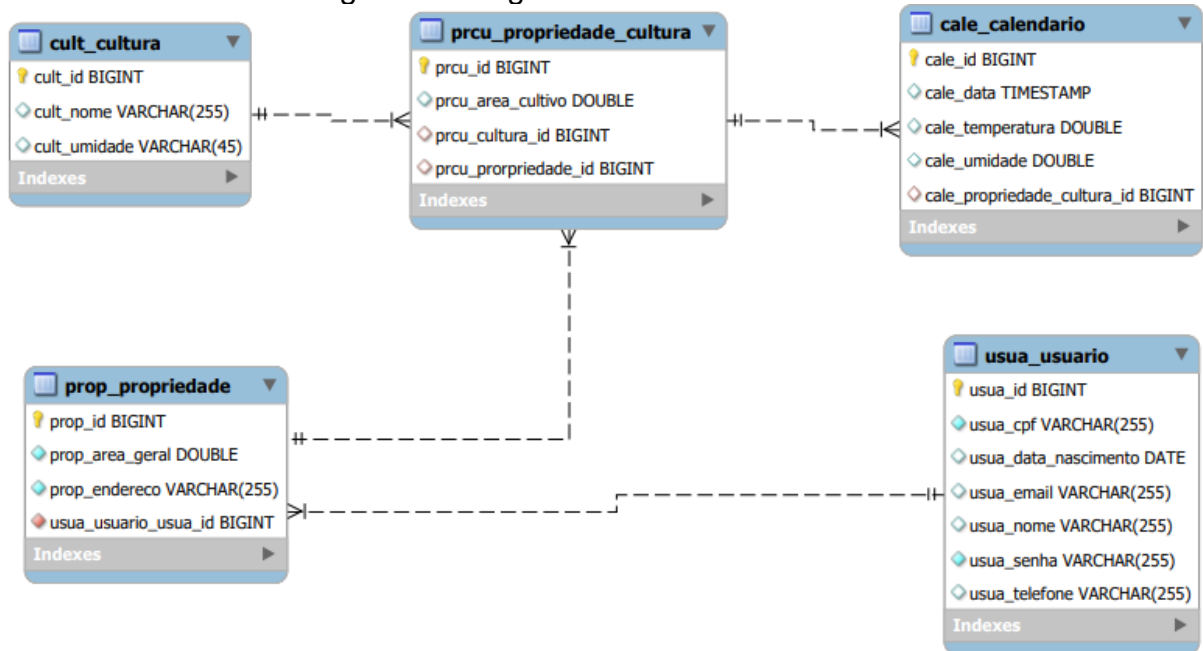
6.1 Modelagem

No processo de modelagem, foi utilizado o sistema UML, que se destaca cada vez mais internacionalmente na área de engenharia de *software* (Guedes, 2009). Para o desenvolvimento do sistema, foram pensadas as principais entidades, sendo elas: culturas, usuários, propriedade e dados.

- A tabela cultura tem como foco armazenar quais culturas estão sendo cultivadas pelos usuários;
- A tabela usuária é necessária para armazenar os dados dos clientes e os recursos de *login* e senha;
- A tabela propriedade é utilizada para comportar as informações das propriedades do cliente, como a área e o endereço, e fazer relacionamento com a cultura para identificar qual espécie de hortaliça é cultivada em cada propriedade;
- A tabela de dados é a responsável por armazenar os dados captados pelos sensores.

Para uma melhor compreensão durante o processo de criação do banco de dados, foi elaborado um diagrama do banco para que se pudessem identificar mais facilmente todos os relacionamentos necessários (Figura 2).

Figura 2 - Diagrama do Banco de Dados

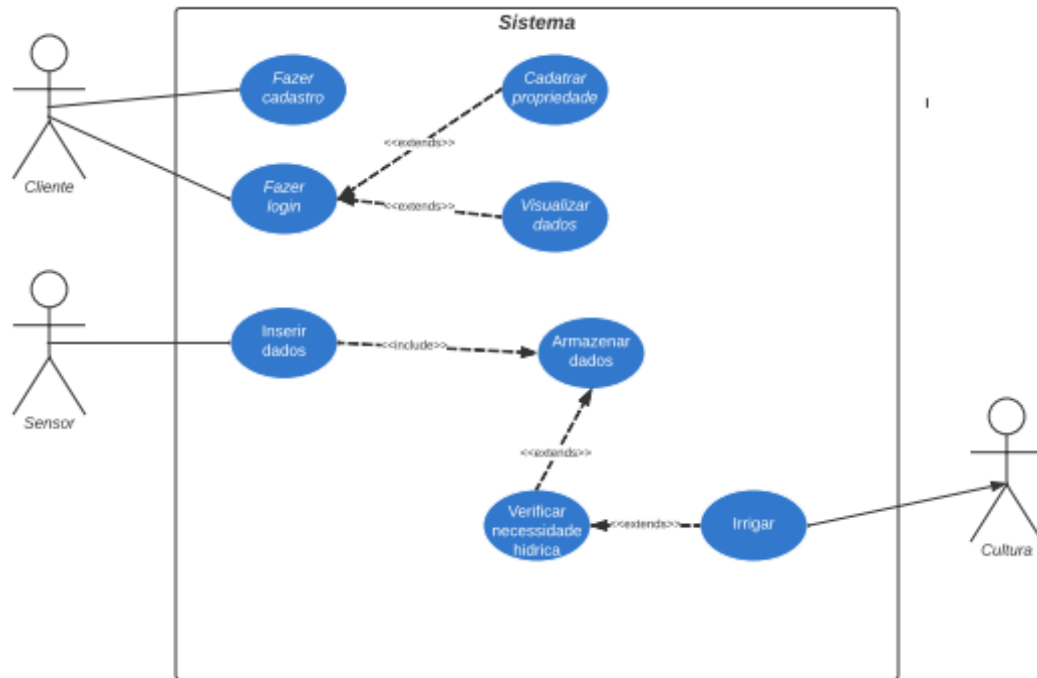


Fonte: Elaboração própria (2023)

Para auxiliar no processo de modelagem do sistema, foi utilizado o diagrama de caso de uso, uma forma de destacar as interações que pode haver no sistema. Nesse tipo de diagrama é demonstrado as interações que os autores (situações externas que interagem com o sistema) têm com as funcionalidades do *software* (Bezerra, 2007).

No diagrama de caso de uso, utilizado na Figura 3, é possível identificar a interação que o usuário tem com o sistema, tanto na realização de cadastro e no *login*, sendo ainda visível uma funcionalidade do sistema que é a de cadastro de propriedades e visualização de dados. Podemos compreender que os sensores têm como sua função informar os dados que serão posteriormente armazenados pelo sistema. E, por fim, com base nos dados fornecidos pelos sensores, é feita uma verificação para a rega das culturas.

Figura 3 - Diagrama de Caso de Uso



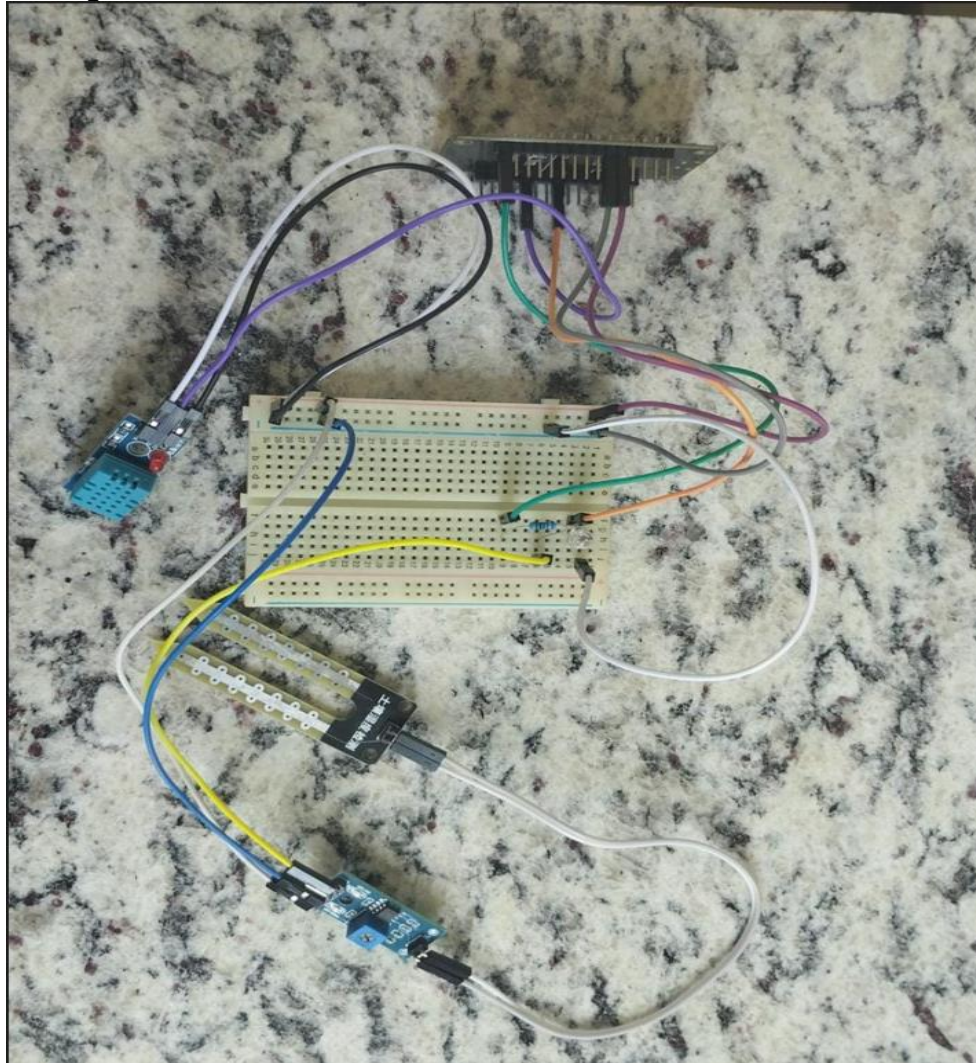
Fonte: Elaboração própria (2023)

6.2 Sistema do ESP8266

O primeiro sistema a ser comentado é o sistema do próprio ESP8266, que objetiva principalmente enviar os dados coletados para o *broker*. Para que esse alvo seja cumprido, é utilizado sensores para coletar os dados do local em que a cultura está sendo cultivada. Assim, é utilizado o módulo *Wi-Fi* do ESP8266 para se conectar à internet, e, por fim, se usa o protocolo MQTT para enviar os dados coletados para o *broker* e receber a autorização a fim de acionar o relé, permitindo que a irrigação seja feita.

Todos os sensores e o microcontrolador foram conectados utilizando uma *proto-board*, como pode ser visto na Figura 4.

Figura 4 - Circuito de conexão dos sensores e o ESP8266



Fonte: Arquivo pessoal (2023)

6.3 Sistema Desktop

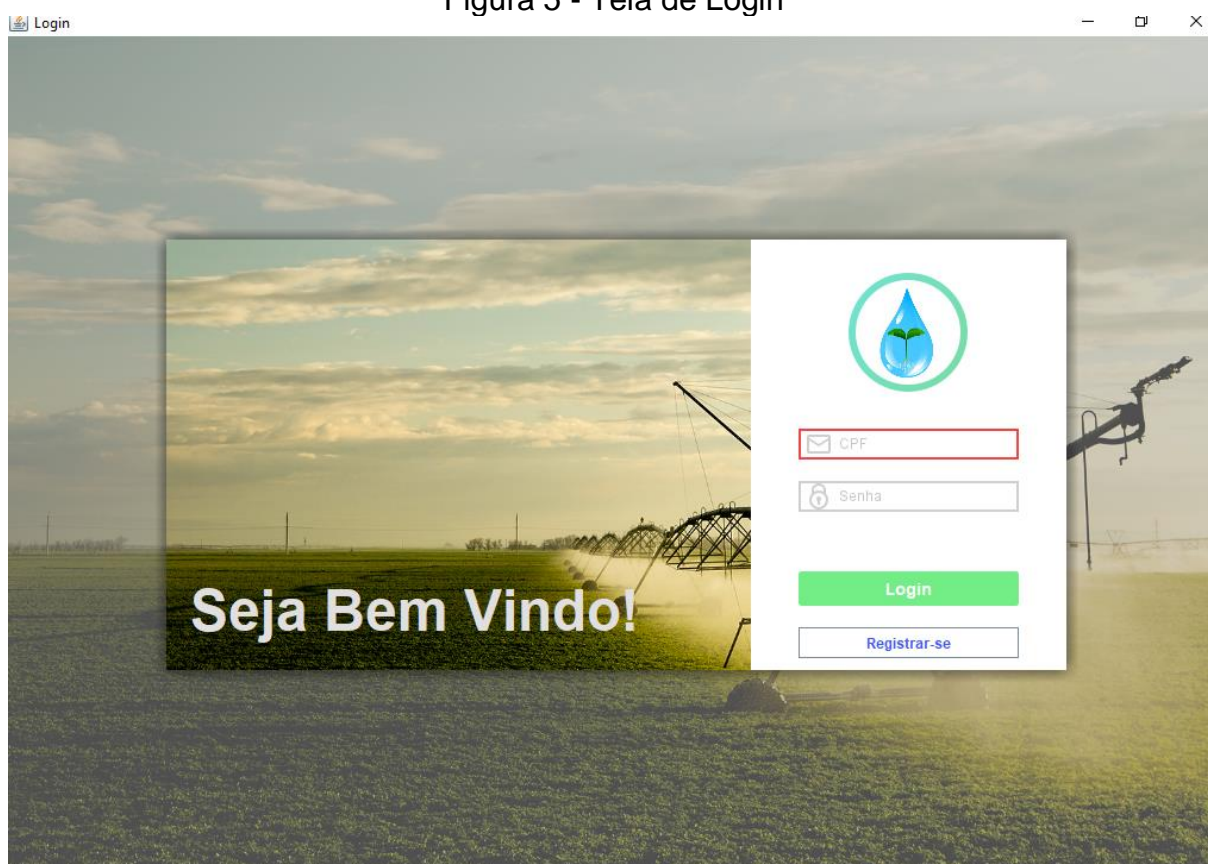
O segundo sistema é o *desktop*, que tem como principal objetivo armazenar todos os dados no banco de dados, funcionando como um servidor. Também é responsável por todos os cadastros e seu consequente armazenamento, tanto das informações do proprietário, como seus dados pessoais, quanto o endereço da propriedade e as culturas nela existentes. Quanto ao armazenamento dos dados enviados pelo ESP8266, este é realizado por meio do *broker*.

6.3.2 Telas

6.3.2.1 Tela de *Login*

A primeira tela do sistema é a de *Login*. Por meio dela, o usuário pode se cadastrar ou acessar as funcionalidades do sistema. Ao acessar o *app*, o usuário se depara com 2 (dois) campos para preenchimento, e 2 (dois) botões que permitem que se faça o *login* ou o registro (Figura 5). Os campos são o de CPF e o da senha. O usuário insere o CPF e a senha cadastrada no sistema *desktop*.

Figura 5 - Tela de Login

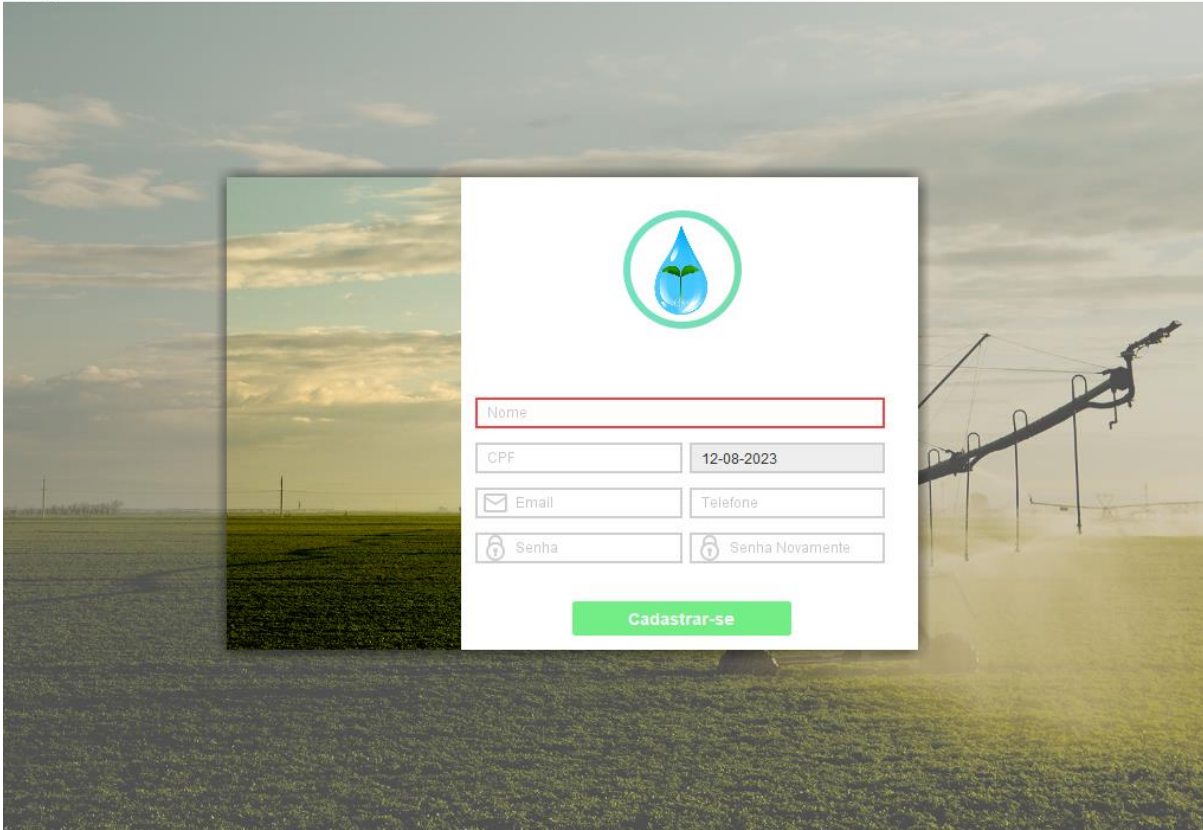


Fonte: Elaboração própria (2023)

6.3.1.2 Tela de Registro

A tela de Registro é onde o usuário cadastra/registra seus dados pessoais básicos, caso não tenha acesso ainda ao sistema (Figura 6).

Figura 6 - Tela de Registro



The image shows a registration form titled "Registrar-se" overlaid on a background image of a field with an irrigation system. The form contains the following fields and elements:

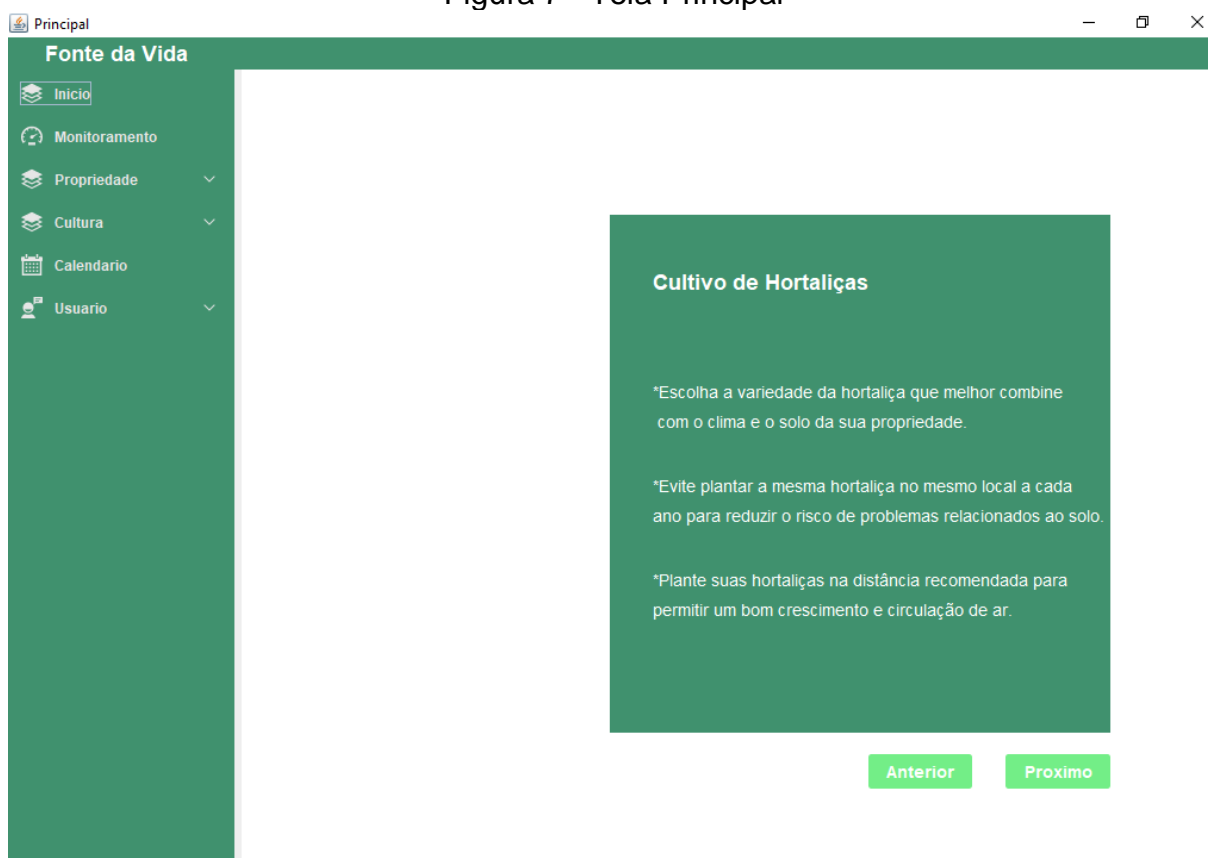
- A logo at the top center featuring a blue water drop with a green plant sprout inside a circular frame.
- A text input field labeled "Nome".
- A text input field labeled "CPF" with the value "12-08-2023" displayed to its right.
- A text input field labeled "Email" with an envelope icon on the left.
- A text input field labeled "Telefone".
- A text input field labeled "Senha" with a lock icon on the left.
- A text input field labeled "Senha Novamente" with a lock icon on the left.
- A green button labeled "Cadastrar-se" at the bottom center.

Fonte: Elaboração própria (2023)

6.3.1.3 Tela Inicial

Posterior à tela de *Login* e de Registro, o usuário é encaminhado para a tela inicial. Esta contém 5 (cinco) botões, entretanto, para o usuário que não é administrador, aparecerão apenas 4 (quatro) botões, a dizer: monitoramento, propriedade, calendário e usuário (Figura 7).

Figura 7 - Tela Principal



Fonte: Elaboração própria (2023)

6.3.1.4 Telas de Propriedade

Após o usuário clicar no botão de Propriedade, ele é encaminhado para a próxima tela, onde aparece uma lista de propriedades que estão cadastradas no seu perfil (Figura 8). Além disso, o usuário tem um botão para cadastrar novas propriedades.

Figura 8 - Tela de Propriedades



The screenshot shows a web application window titled 'Propriedade'. On the left is a green sidebar menu with the following items: 'Início', 'Monitoramento', 'Propriedade' (with a dropdown arrow), 'Cultura' (with a dropdown arrow), 'Calendario', and 'Usuario' (with a dropdown arrow). The main content area is titled 'Seleção da Propriedade' and contains a table with three columns: 'ID', 'Endereço', and 'Area'. The table lists two properties.

| ID | Endereço | Area |
|----|----------------------------|-------|
| 3 | Rua Humberto Porto, 325 | 250.0 |
| 4 | Av Oceanico Pacifico, 439D | 132.0 |

Fonte: Elaboração própria (2023)

6.3.1.5 Tela de Cadastro de Propriedades

Caso o usuário queira cadastrar uma nova Propriedade, ele é encaminhado para uma tela que contém 2 (dois) campos a serem preenchidos, ou seja, um do endereço e o outro do tamanho da propriedade (Figura 9).

Figura 9 - Tela de Cadastro de Propriedades

The screenshot shows a web application window titled 'Cadastrar Propriedade'. On the left is a dark green sidebar with the text 'Fonte da Vida' at the top. Below it are menu items: 'Início', 'Monitoramento', 'Propriedade' (with a dropdown arrow), 'Cultura' (with a dropdown arrow), 'Calendario', and 'Usuário' (with a dropdown arrow). The main content area is white and contains the title 'Cadastrar Propriedade' at the top. Below the title are two text input fields: the first is labeled 'Endereço da Propriedade' and the second is labeled 'Área da Propriedade'. At the bottom center of the form is a prominent green button with the text 'Cadastrar'.

Fonte: Elaboração própria (2023)

6.3.1.6 Tela do Detalhamento das Propriedades

Caso o usuário clique em uma Propriedade, ele será encaminhado para uma tela com todas as culturas associadas àquela propriedade e a área utilizada para seu cultivo (Figura 10). Além dessa lista, existe um botão chamado 'associar' caso o usuário queira associar uma nova cultura a sua propriedade.

Figura 10 - Tela da Lista de Cultura por Propriedade

The screenshot displays a web application interface for 'Fonte da Vida'. On the left is a green sidebar with navigation options: Início, Monitoramento, Propriedade, Cultura, Calendário, and Usuário. The main content area is titled 'Seleção da Cultura' and features a table with the following data:

| ID | Endereço | Cultura | Área de Cultivo |
|----|-------------------------|---------|-----------------|
| 5 | Rua Humberto Porto, 325 | Laranja | 17.0 |
| 6 | Rua Humberto Porto, 325 | Feijão | 30.0 |

A green 'Associar' button is located in the top right corner of the table area.

Fonte: Elaboração própria (2023)

6.3.1.7 Tela para Associar Cultura na Propriedade

A tela para associação da cultura na propriedade contém 3 (três) campos para preenchimento: o endereço da propriedade (já fixado na tela), uma lista de todas as culturas cadastradas no sistema e a área que será utilizada na propriedade (Figura 11).

Figura 11 - Tela de Associação de Cultura com Propriedade

Fonte da Vida

Associar Propriedade e Cultura

Associar a Cultura a Propriedade

Endereço da Propriedade

Arroz

Area de Cultivo

Associar

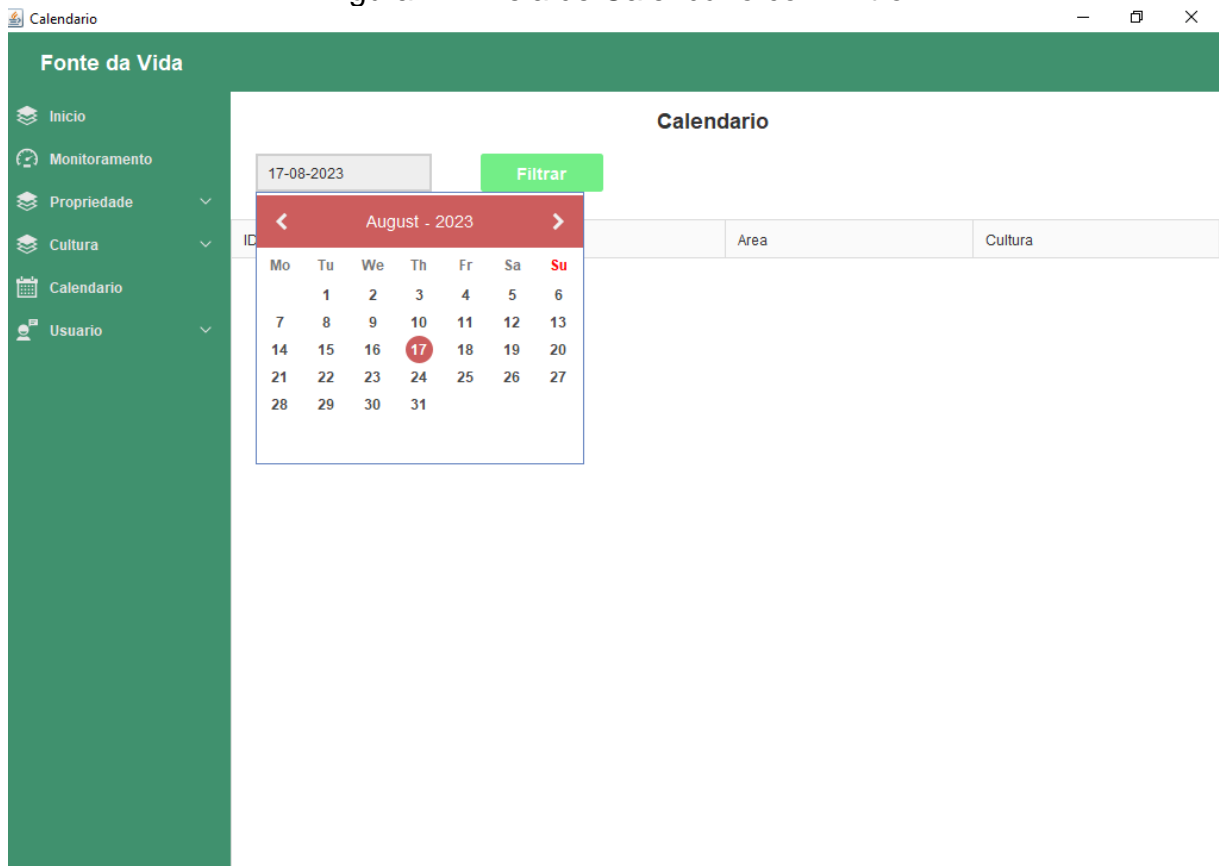
Fonte: Elaboração própria (2023)

6.3.1.8 Tela de Calendário

Para o usuário chegar à tela de Calendário, será necessário acessar uma tela para escolher qual propriedade deseja consultar e, posteriormente, escolher qual cultura deseja visualizar, como mostram, respectivamente, as Figuras 8 e 10.

Após o usuário escolher a propriedade e a cultura, ele será encaminhado para a tela Calendário, onde haverá um filtro a ser preenchido mediante um botão que renderiza um calendário e um botão que confirma (Figura 12).

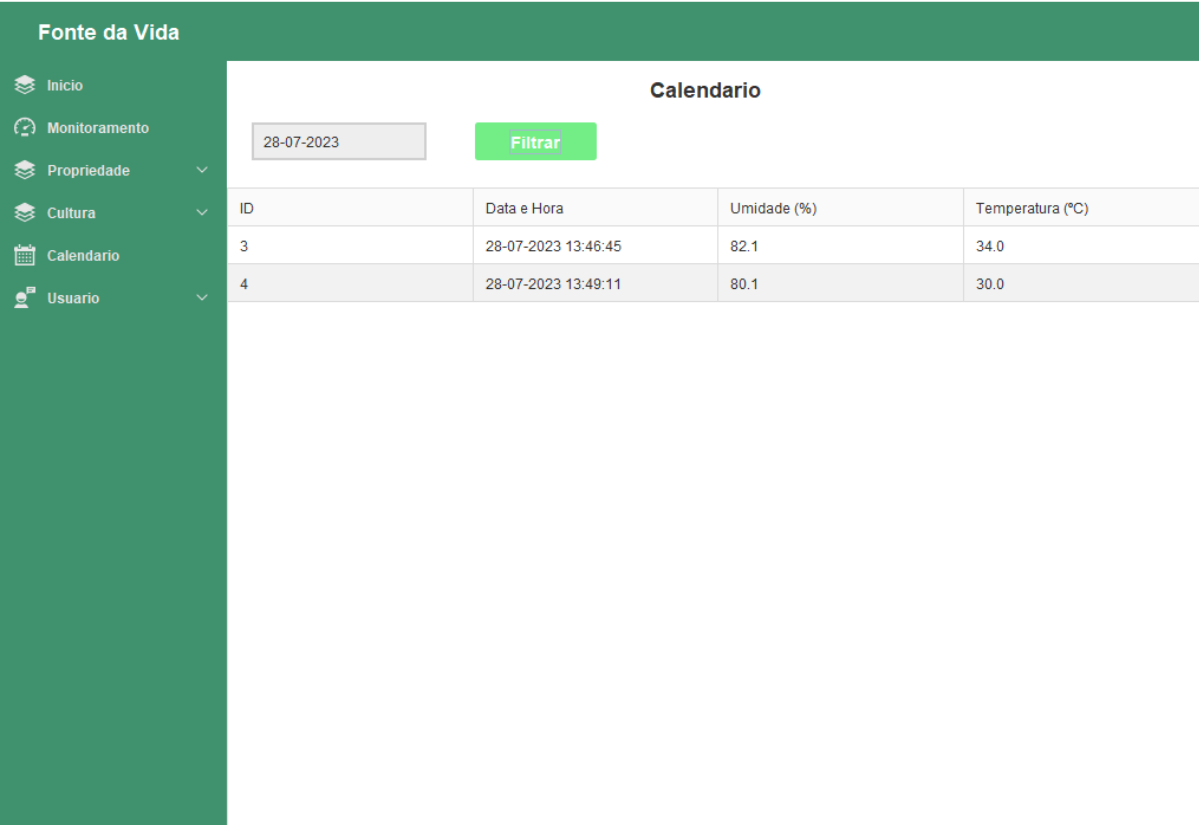
Figura 12 - Tela de Calendário com Filtro



Fonte: Elaboração própria (2023)

Após o usuário filtrar a data, aparecerão todos os dados daquele dia específico, como data, hora, umidade e temperatura (Figura 13).

Figura 13 - Tela de Calendário



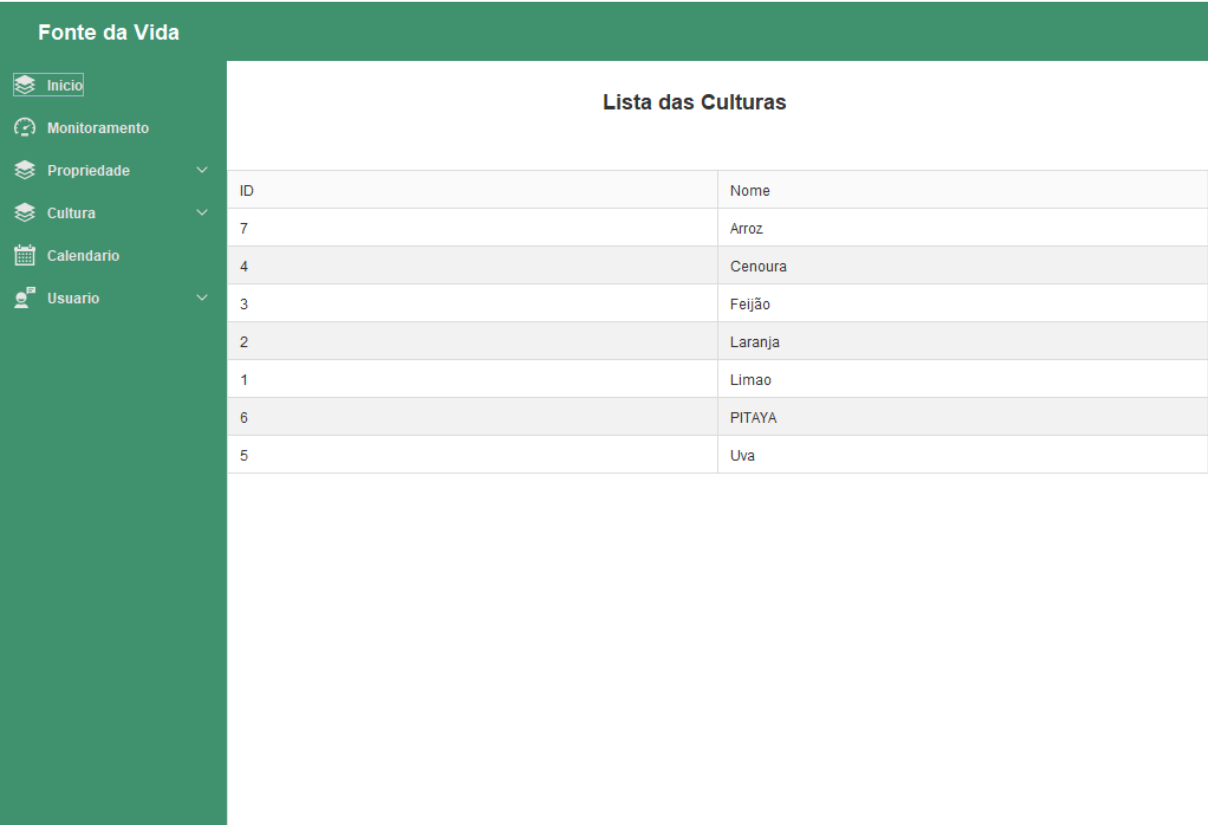
| ID | Data e Hora | Umidade (%) | Temperatura (°C) |
|----|---------------------|-------------|------------------|
| 3 | 28-07-2023 13:46:45 | 82.1 | 34.0 |
| 4 | 28-07-2023 13:49:11 | 80.1 | 30.0 |

Fonte: Elaboração própria (2023)

6.3.1.9 Tela de Cultura

Se o usuário administrador clicar no botão da Cultura, ele será encaminhado para outra tela, que contém uma lista de culturas que estão cadastradas no seu perfil (Figura 14). Além disso, o usuário administrador tem a funcionalidade de cadastrar novas culturas.

Figura 14 - Tela de Cultura



| ID | Nome |
|----|---------|
| 7 | Arroz |
| 4 | Cenoura |
| 3 | Feijão |
| 2 | Laranja |
| 1 | Limao |
| 6 | PITAYA |
| 5 | Uva |

Fonte: Elaboração própria (2023)

6.3.1.10 Tela do Usuário

Na tela do Usuário há os mesmos campos existentes no momento do registro, exceto o da senha (Figura 15). Esses campos aparecem preenchidos, caso o usuário precise fazer alguma alteração.

Figura 15 - Tela de Alteração do Usuário

The screenshot shows a web application window titled 'Editar Usuarios'. The main content area is titled 'Editar Usuario' and contains a form with the following fields:

- Nome: Alexandre Brito
- Telefone 1: 07828625510
- Data: 2023-08-07
- Telefone 2: 71999663589
- E-mail: alexandrepe@gmail.com

At the bottom of the form is a green button labeled 'Alterar'.

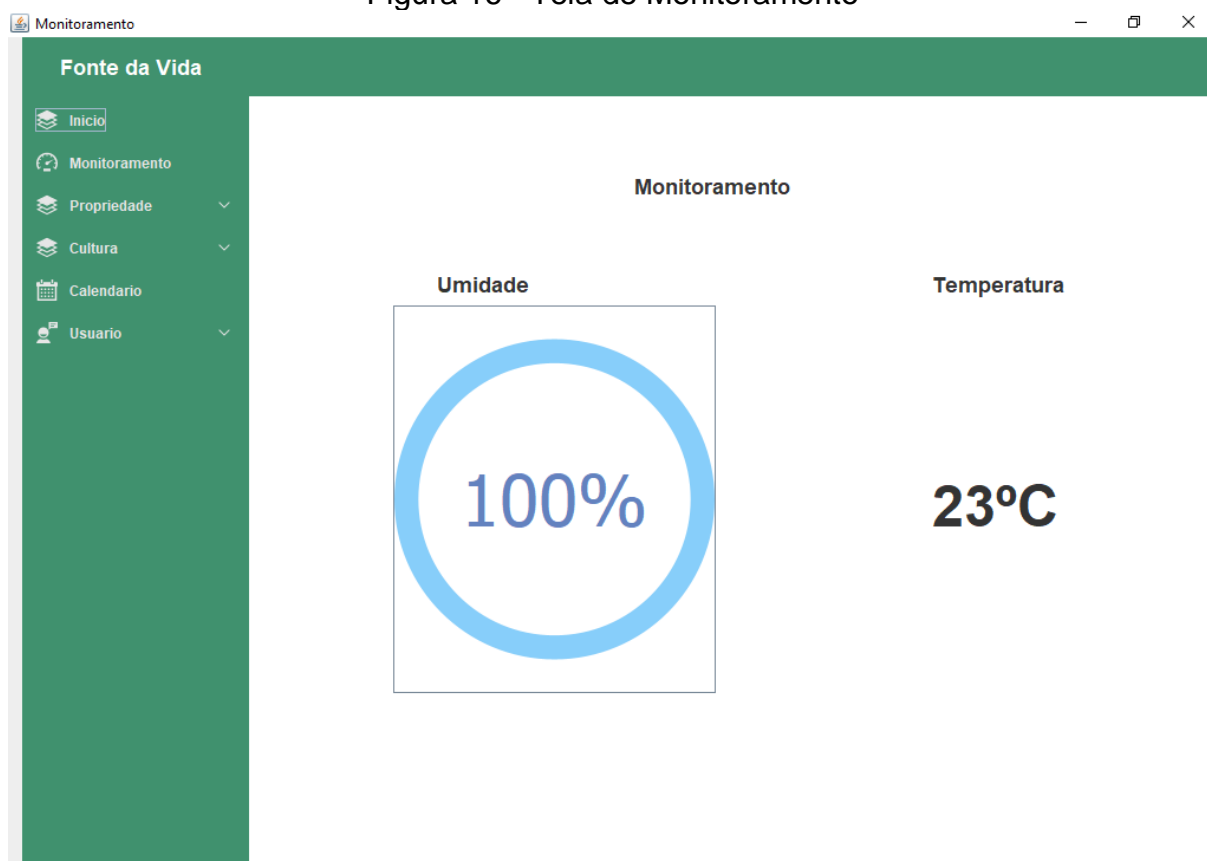
Fonte: Elaboração própria (2023)

6.3.1.11 Tela de Monitoramento

Similar ao processo da tela de Calendário, para o usuário acessar a de Monitoramento, é necessário passar por uma tela de seleção de Propriedade (Figura 8) e pela seleção da Cultura (Figura 10).

A tela de Monitoramento é onde o usuário poderá ver o gráfico de porcentagem da umidade do solo e a temperatura do ambiente que sua cultura está inserida (Figura 16).

Figura 16 - Tela de Monitoramento



Fonte: Elaboração própria (2023)

6.4 Sistema *Mobile*

Por fim, tem-se o sistema *mobile*, com o objetivo de ser uma forma fácil e rápida para o usuário verificar todas as informações referentes à sua propriedade. Esse sistema é apenas para consulta, já que o proprietário nem sempre estará perto do computador para acessar o sistema *desktop* e verificar todos os dados. O sistema *mobile* permite ao usuário acompanhar as informações da sua plantação e de sua propriedade de qualquer lugar.

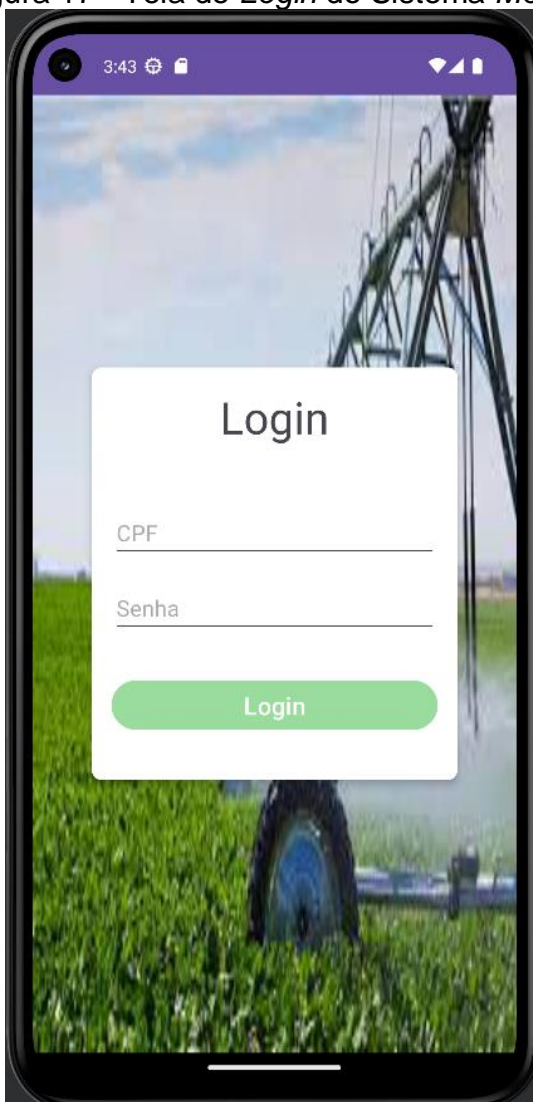
6.4.1 Telas

Como o intuito do sistema *mobile* é a capacidade de interação com o usuário, foram criadas interfaces para que se possa acessar de maneira visual no sistema e visualizar todas as informações necessárias.

6.4.1.2 Tela de *Login*

A tela de *Login* é a primeira do aplicativo. Ao acessar o *app*, o usuário se depara com 2 (dois) campos para preenchimento e um botão que permite o *login* (Figura 17). Os campos são o de CPF e o da senha. O usuário irá inserir o CPF e a senha cadastrada no sistema *desktop*.

Figura 17 - Tela de *Login* do Sistema *Mobile*



Fonte: Elaboração própria (2023)

6.4.1.2 Tela de Propriedades

Após o usuário passar pela tela de *Login*, ele é encaminhado para a tela de Propriedades, onde aparece uma lista de todas as propriedades cadastradas em seu

perfil (Figura 18), cadastro esse feito no *Java desktop*. Essa lista de propriedades se comporta como um botão, e assim que o usuário clica na propriedade desejada, é encaminhado para a próxima tela.

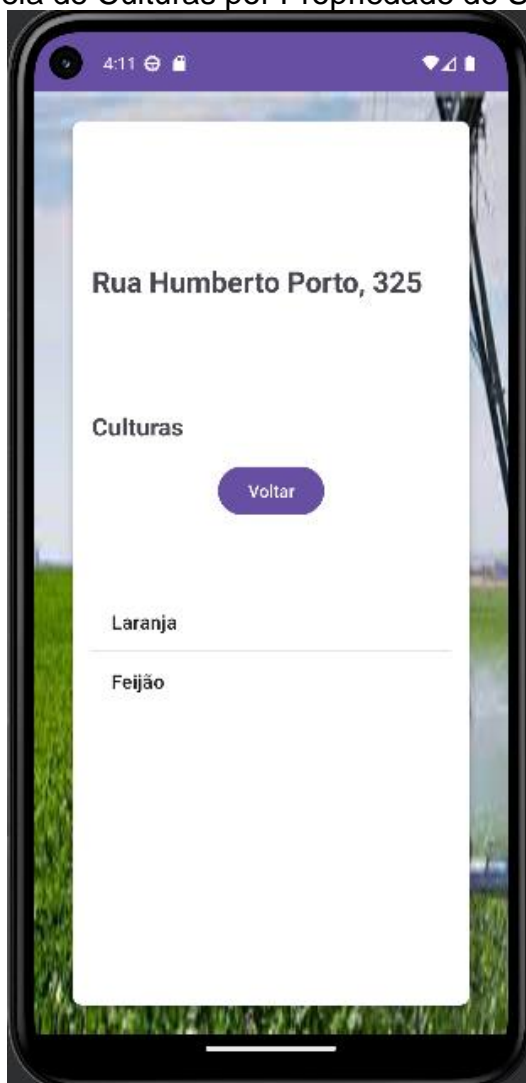
Figura 18 - Tela das Propriedades do Sistema *Mobile*



Fonte: Elaboração própria (2023)

6.4.1.3 Tela do Detalhamento da Propriedade

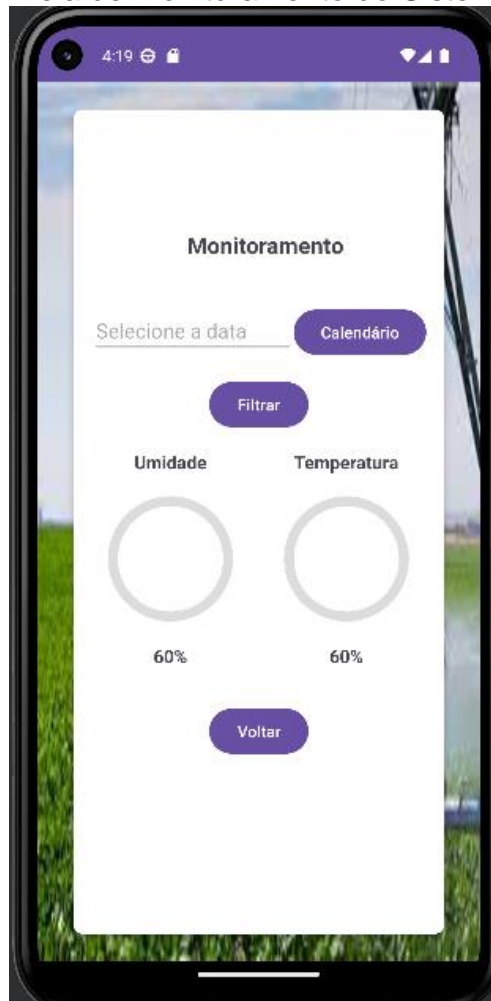
Esta tela tem o título dinâmico, conforme a seleção anterior da propriedade. Ela apresenta a lista de culturas que foram associadas a esta propriedade (Figura 19). De maneira similar à tela de Propriedade, ao clicar na Cultura, o usuário é encaminhado para a tela de Monitoramento.

Figura 19 - Tela de Culturas por Propriedade do Sistema *Mobile*

Fonte: Elaboração própria (2023)

6.4.1.3 Tela de Monitoramento

Na tela de Monitoramento é possível visualizar os dados da plantação. Nela o usuário irá visualizar, em tempo real no gráfico circular, a umidade e a temperatura (Figura 20). Além dessa visualização, o usuário poderá utilizar o campo de Filtro para pesquisar datas antigas.

Figura 20 - Tela de Monitoramento do Sistema *Mobile*

Fonte: Elaboração própria (2023)

6.4.1.5 Tela de Seção de Filtro

A Seção de Filtro é composta por 1 (um) campo e 2 (dois) botões. O botão é responsável por mostrar o Calendário, onde o usuário poderá clicar na data desejada, sendo exibida no campo ao lado (Figura 21). E, por fim, o campo que faz o redirecionamento para a próxima página.

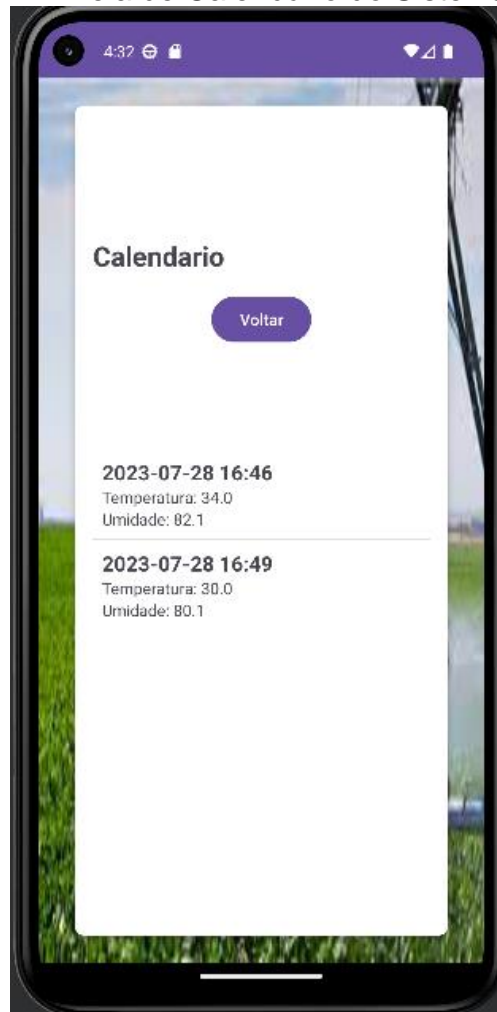
Figura 21 - Seleção da Data para o Filtro



Fonte: Elaboração própria (2023)

6.4.1.6 Tela do Calendário

Na tela de Calendário é possível verificar as coletas de dados feitas no dia correspondente à data selecionada na tela anterior. Nesta tela, o usuário poderá visualizar uma lista com a data, hora, temperatura e umidade (Figura 22).

Figura 22 - Tela de Calendário do Sistema *Mobile*

Fonte: Elaboração própria (2023)

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo desenvolver um sistema, utilizando da IoT, para auxiliar produtores rurais no processo de irrigação para o cultivo de hortaliças.

Por meio do sistema desenvolvido, é possível fazer com que o agricultor tenha informações sobre suas plantações sem a necessidade de ir até o local para averiguar de maneira física. Esse sistema também permite que o agricultor consulte os dados antigos de sua plantação de maneira simples, prática e rápida.

Ademais, além de projetar um produto, o presente trabalho teve como foco, mediante revisão bibliográfica, compreender todo o contexto da IoT, desde seu surgimento e implementação, até a arquitetura utilizada e suas aplicações no mundo moderno.

Em acréscimo ao aprofundamento dos processos da IoT, este trabalho também apresentou os conceitos da agricultura, seu desenvolvimento com o passar dos anos, e sua relevância no cenário mundial. Discorreu, ainda, sobre a irrigação e a sua importância para o cultivo de hortaliças, as técnicas utilizadas, bem como o que são hortaliças e quais necessidades para seu cultivo.

Por fim, foi exposto como a agricultura moderna vem introduzindo a tecnologia nas propriedades rurais, mostrando que a implementação de tecnologias como a IoT ocasiona uma geração de produção agrícola cada vez mais otimizada.

Este projeto não foi implementado em um ambiente real, devido a não se ter acesso a uma cultura existente ou a um ambiente de testes no *campus* Camaçari. Todavia, o sistema produzido pode ser implementado em mini-hortas residenciais, podendo, assim, auxiliar o usuário que deseja iniciar no cultivo em casa.

Considerando o resultado obtido por esta pesquisa, sugere-se, para estudos posteriores, além de testes em ambientes reais, a implementação de uma Interface de Programação de Aplicativo (API) meteorológica, a fim de manter o agricultor ciente do que se espera no futuro, juntamente com um sistema de inteligência artificial, com o intuito de haver melhoramento no processamento de dados. E, com a utilização deste sistema, pode ser produzido um *kit* de cultivo residencial, no qual o usuário poderá obter canteiros, solo devidamente preparado e um sistema eficiente de irrigação.

REFERÊNCIAS

- ADAMCHUK, V. I. *et al.* On-the-go soil sensors for precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, [s. l.], v. 44, p. 71-91, 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169904000444>. Acesso em: 15 jul. 2023.
- ALBUQUERQUE, P. E. P; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo de irrigação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 528 p.
- AL-FUQAHA, A. *et al.* Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. **IEEE Communication Surveys & Tutorials**, [s. l.], v. 17, n. 4, p. 2347-2376, 2015. Disponível em: <https://fardapaper.ir/mohavaha/uploads/2018/10/Fardapaper-Internet-of-Things-A-Survey-on-Enabling-Technologies-Protocols-and-Applications.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2023.
- ALTOÉ, M. A. C. **Sistema automatizado de irrigação para culturas específicas**. Brasília/DF: Centro Universitário de Brasília, 2012.
- ANDRADE, C. de L. de; BRITO, R. A. L. **Métodos de irrigação e quimigação**. Circular Técnica n. 86, Embrapa, Sete Lagoas, 2006. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/19630/1/Circ_86.pdf. Acesso em: 20 maio 2023.
- ASHTON, K. That 'internet of things' thing. **RFID Journal**, [s. l.], v. 22, 2009. Disponível em: <https://www.rfidjournal.com/that-internet-of-things-thing>. Acesso em: 2 mar. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS CENTRAIS DE ABASTECIMENTO (org.). **Manual Operacional da CEASAS do Brasil**. Brasília, DF: AD2 Editora, 2011. 241 p. Disponível em: <https://abracen.org.br/noticia/s/manual-operacional-dos-ceasas/>. Acesso em: 20 maio 2023.
- ATZORI, L. *et al.* The Internet of Things: a survey. **Computer Networks**, [s. l.], v. 54, n. 15, p. 2787-2805, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128610001568>. Acesso em: 16 ago. 2023.
- BARBOSA, J. W. **Sistema de irrigação automatizado utilizando a plataforma Arduino**. 2013. 57 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência da Computação) – Fundação Educacional do Município de Ensino Superior de Assis, Assis, 2013. Disponível em: <https://cepein.femanet.com.br/BDigital/arqTccs/1011330043.pdf>. Acesso em: 20 maio 2023.
- BASSOI, L. H. *et al.* Agricultura de precisão e agricultura digital. **TECCOGS**, [s. l.], n. 20, p. 17-36, jul./dez. 2019. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1121544>. Acesso em: 26 maio 2023.

BELLÉ, D. **Adoção de inovação tecnológica no cultivo de hortaliças em sistema plantio direto na agricultura familiar**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2021. Disponível em:

<https://www.repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/27003>. Acesso em: 26 maio 2023.

BEZERRA, E. **Princípios de análise e projeto de sistemas com UML**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2007.

BRASIL. **Decreto nº 5.798, de 7 de junho de 2006**. Regulamenta os incentivos fiscais às atividades de pesquisa tecnológica e desenvolvimento de inovação tecnológica. Brasília, DF: Presidência da República, 2006. Disponível em:

https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/decreto/d5798.html. Acesso em: 20 jul. 2023.

BRITO, P. Q. **O futuro da internet: estado da arte e tendências de evolução**. Lisboa: Centro Atlântico, 1999.

CAMARGO FILHO, W. P.; CAMARGO, F. P. A quick review of the production and commercialization of the main vegetables in Brazil and the world from 1970 to 2015.

Horticultura Brasileira, Brasília, DF, v. 35, n. 2, p. 160-166, 2017. Disponível em: https://www.horticulturabrasileira.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=5&Itemid=121&artigo=https://www.horticulturabrasileira.com.br/images/stories/35_2/20173522.pdf. Acesso em: 20 maio 2023.

CARVALHO, D. F. de. **Engenharia de água e solo**. 2010. 66 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2010.

CARVALHO, E. S.; ARAUJO, L. A. O. Irrigação inteligente. *In*: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA INSTITUTO SUSTENTAR, 17., 2010, Valinhos, São Paulo. **Anuário de Iniciação Científica Discente**. Valinhos-SP: Anhanguera Educacional Ltda., 2010. p. 323-336.

CASTRO, N. **Apostila de irrigação**. Porto Alegre: UFRGS, 2003.

CEUPPENS, S. *et al.* Microbiological quality and safety assessment of lettuce production in Brazil. **International Journal of Food Microbiology**, [s. l.], v. 181, p. 67-76, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/international-journal-of-food-microbiology/vol/181/suppl/C>. Acesso em: 1 jun. 2023.

CHASE, J. The evolution of the internet of things. **Texas Instruments**, Texas, v. 1, n. 1388, p. 1-7, 2013. Disponível em:

https://www.ti.com/lit/ml/swrb028/swrb028.pdf?ts=1696427039380&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F. Acesso em: 5 jun. 2023.

CLEMENTE, F. M. V. T.; HABER, L. L. **Hortas em pequenos espaços**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 56 p.

COSTA, C. **Horta em vasos**. 1. ed. São Paulo, SP: Matrix, 2016. 100 p.

COSTA, C. L.; OLIVEIRA, L.; MÓTA, L. S. M. Internet das coisas (IoT): um estudo exploratório em agronegócios. In: **SIMPÓSIO DAS CIÊNCIAS DO AGRONEGÓCIO**, 6., Porto Alegre, 2018, Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/cienagro/wp-content/uploads/2018/10/Internet-das-coisas-IOT-um-estudo-explorat%C3%B3rio-em-agroneg%C3%B3cios.docx-Cain%C3%A3-Lima-Costa.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2023.

CRUZ, T. M. L. **Estratégia de monitoramento e automação em sistemas de irrigação utilizando dispositivos de comunicação em redes de sensores sem fio**. 2009. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009. Disponível em: <https://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/18074>. Acesso em: 30 jun. 2023.

CUNHA, K. C. B.; ROCHA, R. V. da. Automação no processo de irrigação na agricultura familiar com plataforma Arduino. **Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, ISSN 2448-0452 versão *online*, v. 1, n. 2, p. 62-74, 2015. Disponível em: <https://owl.tupa.unesp.br/recodaf/index.php/recodaf/article/view/13>. Acesso em: 30 jun. 2023.

DHT11. DHT11 Datasheet. 2010. Disponível em: <https://datasheetspdf.com/pdf-file/785590/D-Robotics/DHT11/1>. Acesso em: 15 jul. 2023.

DIAS, K. C. Internet das Coisas (IoT) para a produção de tomate rasteiro no sul goiano. 2019. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia da Produção) – Universidade de Brasília, Brasília, 2019. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/22940>. Acesso em: 20 jun. 2023.

ESPRESSIF. ESP8266 Datasheet. 2020. Disponível em: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf. Acesso em: 15 jul. 2023.

EZENNE, G. I. *et al.* Current and potential capabilities of UAS for crop water productivity in precision agriculture. **Agricultural Water Management**, [s. l.], v. 218, p. 158-164, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377418318298>. Acesso em: 14 jun. 2023.

FAZENDA, I. C. A. **Interdisciplinaridade na pesquisa científica**. Campinas, SP: Papyrus Editora, 2017.

FEDRIGO, B. Sistema de cultivo de hortaliças com controle automático de manutenção em ambientes residenciais. 2018. 147 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Design de Produto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. Disponível em: https://lume.ufrgs.br/handle/10183/234124?locale-attribute=pt_BR. Acesso em: 4 jun. 2023.

FENG, X.; LAURENCE, T. Y.; LIZHE, W. Internet of Things. **International Journal of Communication Systems**, [s. l.], v. 25, n. 9, p. 1101-1102, 2012. Disponível em:

<https://www.deepdyve.com/browse/journals/1074-5351/2012/v25/i9>. Acesso em: 20 jun. 2023.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo, SP: Atlas, 2007.

GONÇALVES, D. P.; DIAS, U. S. Estudo de predição de cobertura com aplicação em redes 5G. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES E PROCESSAMENTO DE SINAIS*, 37., 2019, Petrópolis, RJ, 2019. Disponível em: <http://sbprt.org.br/sbprt2019/wp-content/uploads/2019/09/1570556996.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2023.

GUEDES, G. T. A. **UML 2: uma abordagem prática**. São Paulo, SP: Novatec, 2009. *E-book*. Disponível em: <https://s3.novatec.com.br/capitulos/capitulo-9788575222812.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2023.

GUIMARÃES, V. G. Automação e monitoramento remoto de sistemas de irrigação visando agricultura familiar. 2011. 97 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2011. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/15621/1/2011_ViniciusGalvaoGuimaraes_tcc.pdf. Acesso em: 23 jul. 2023.

HENRIQUES, L. F. A. **Implementação e monitoramento de um sistema de irrigação automatizado em IoT utilizando módulo ESP32 em plantio caseiro**. 2021. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2021. Disponível em: https://riu.ufam.edu.br/bitstream/prefix/6003/5/TCC_LuizHenriques.pdf. Acesso em: 29 jul. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico 2010. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 2010. Disponível em: <https://ibge.gov.br/estatistica/populacao/censo2010>. Acesso em: 20 maio 2023.

KHAN, R. *et al.* Future internet: the internet of things architecture, possible applications and key challenges. *In: International Conference on Frontiers of Information Technology*, 10., Islamabad, Paquistão, 2012. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6424332>. Acesso em: 4 maio 2023.

KIRAN, D. R. **Production planning and control: a Comprehensive Approach**. 1. st. Edition. England: Butterworth-Heinemann, 2019.

KRAUS, D. **Computação de borda para indústria utilizando a rede 5G**. 2021. 95 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/228613>. Acesso em: 19 maio 2023.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. **O uso da irrigação no Brasil: o estado das águas no Brasil**. Brasília, DF: Agência Nacional de Energia Elétrica, 1999.

LUCIETTI, D. Irrigação das hortaliças. **Blog Cultive Horta Orgânica**, Santa Catarina, 22 jan. 2014. Disponível em: <http://cultivehortaorganica.blogspot.com/2014/01/>. Acesso em: 20 maio 2023.

MAGUIRE, K. **Horta em vasos**: 30 projetos passo a passo para cultivar hortaliças, frutas e ervas. 1. ed. São Paulo, SP: Senac, 2014. 176 p.

MANYIKA, J. *et al.* A future that works: automation, employment, and productivity. **McKinsey Global Institute**, New York, 12 jan. 2017. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/digital-disruption/harnessing-automation-for-a-future-that-works>. Acesso em: 20 maio 2023.

MATTERN, F.; FLOERKEMEIER, C. From the Internet of Computers to the Internet of Things. **Systems Group, Institute for Pervasive Computing**, ETH Zurich, 2010. Disponível em: <https://vs.inf.ethz.ch/publ/papers/Internet-of-things.pdf>. Acesso em: 29 maio 2023.

MELO, E. B. *et al.* A importância da agricultura para a sociedade: breve revisão de literatura. **Scientia Generalis**, [s. l.], v. 2, n. supl. 1, p. 144-144, 2021. Disponível em: <https://scientiageneralis.com.br/index.php/SG/article/view/362>. Acesso em: 15 maio 2023.

MONTEIRO, L. A internet como meio de comunicação: possibilidades e limitações. *In*: **CONGRESSO BRASILEIRO DA COMUNICAÇÃO**, 24., Campo Grande, 2001. INTERCOM – Sociedade Brasileira de Estudos Interdisciplinares da Comunicação, Campo Grande, MS, 2001. Disponível em: <http://www.portcom.intercom.org.br/pdfs/62100555399949223325534481085941280573.pdf>. Acesso em: 23 maio 2023.

NOBRE, T. L.; MOURA, M. B. **Sistema de automação e controle inteligente no processo de irrigação usando IoT no cultivo da alface**. 2022. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia da Computação) – Instituto Federal da Paraíba, Campina Grande, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/jspui/handle/177683/2769>. Acesso em: 27 maio 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. World Population Prospects 2022: Summary of Results. ONU, 2022. Disponível em: https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pdf/files/undesa_pd_2022_wpp_key-messages.pdf. Acesso em: 20/05/2023.

PATSKO, L. F. Tutorial aplicações, funcionamento e utilização de sensores. **Maxwell Bohr**, [s. l.], 14 dez. 2006. Disponível em: <https://www.maxwellbohr.com.br/downloads/robotica/mec1000kdr5000/tutorial-eletronica-aplicacoes-e-funcionamento-de-sensores.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2023.

PEZENTE, D. P. **Sistema de monitoramento avançado para cultivo de hortaliças**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia da Computação) – Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina, Santa Catarina, 2019. Disponível em: <http://repositorio.satc.edu.br/bitstream/satc/372/2/DaviPezente.pdf>. Acesso em: 5 jul. 2023.

PIVOTO, D. *et al.* Scientific development of smart farming technologies and their application in Brazil. **Information Processing in Agriculture**, ISSN 2214-3173 versão *online*, v. 5, n. 1, p. 21-31, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214317316301184>. Acesso em: 5 jul. 2023.

RODRIGUES, R. B. *et al.* A internet das coisas na agricultura: contribuições para monitorar as condições ideais para o plantio, cultivo e colheita. *In: XIV Semana Nacional de Ciência e Tecnologia*, 7 a 12 de dezembro de 2020, Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia, UFAM, Itacoatiara, AM, 2020. Disponível em: https://sncticet.ufam.edu.br/2020/anais/download/artigos/A_Internet.pdf. Acesso em: 23 jul. 2023.

SAMPAIO, L. *et al.* Estufa inteligente: sistema automatizado para o cultivo de hortaliças. *In: ESCOLA REGIONAL DE COMPUTAÇÃO BAHIA, ALAGOAS E SERGIPE (ERBASE)*, 18., 2018, Aracaju. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2018. p. 135-140. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/erbase/article/view/8534>. Acesso em: 23 jul. 2023.

SANTOS, A. M. *et al.* Irrigação e fertirrigação. *In: Embrapa. Sistemas de Produção do Morango*, 5. [Pelotas]: Embrapa Clima Temperado, [2005]. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/744878/1/Sistema-de-Producao-do-Morango.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2023.

SANTOS, L. B. **Sistema automatizado para controle de umidade e temperatura em cultura de morangos aplicados aos pequenos produtores**. 2014. 100 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia da Computação) – Centro Universitário de Brasília, Brasília, DF, 2014. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/235/5938/1/21016773.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2023.

SAWANT, S.; DURBHA, S. S.; JAGARLAPUDI, A. Interoperable agro-meteorological observation and analysis platform for precision agriculture: a case study in citrus crop water requirement estimation. **Computers and Electronics in Agriculture**, [s. l.], v. 138, p. 175-187, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169916304082>. Acesso em: 10 jul. 2023.

SILVA, I.; FREITAS, L. A agricultura irrigada no Brasil: uma comparação entre os dados do censo agropecuário de 1996/1995, 2006 e 2017. **Real Repositório Institucional**, [s. l.], v. 2, n. 1, 2023. Disponível em: <http://revistas.icesp.br/index.php/Real/article/view/4479>. Acesso em: 1 ago. 2023.

SORENSEN, C. G. *et al.* Conceptual model of a future farm management information system. **Computers and Electronics in Agriculture**, [s. l.], v. 72, n. 1, p. 37-47, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169910000396>. Acesso em: 6 ago. 2023

SOUZA, K. F.; LOPES, M. P.; MAGALHÃES, T. B. Estufa inteligente para cultivo indoor: green in. 2022. 41 p. Monografia (Especialização em Engenharia Industrial

4.0) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2022. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1884/79867>. Acesso em: 20 maio 2023.

SUNDMAEKER, H. *et al.* Internet of food and farm 2020. *In*: VERMESAN, O., FRIESS, P. (org.). **Digitising the industry**: internet of things connecting physical, digital and virtual worlds. Gistrups: River Publishers, 2016. p. 129-151.

TESTEZLAF, R. **Irrigação**: métodos, sistemas e aplicações. Campinas, SP: Unicamp/FEAGRI, 2017. 215 p.

THOMAZINI, D.; URBANO, P. B. D. A. **Sensores industriais**: fundamentos e aplicações. 7. ed. São Paulo, SP: Érica Ltda., 2011.

TILMAN, D. *et al.* Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, [s. l.], v. 418, n. 6898, p. 671-677, 2002. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature01014>. Acesso em: 12 jul. 2023.

TOMANIK, E. A. **O olhar no espelho**: “conversas” sobre a pesquisa em ciências sociais. Maringá: EDUEM, 1994.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais**: a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo, SP: Atlas, 1987.

VICENTE, H. S. **Robô inteligente para uso na agricultura urbana**. 2018. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, 2018. Disponível em: https://bdm.ufmt.br/handle/1/997?locale=pt_BR. Acesso em: 28 jul. 2023.

WOLFERT, S. *et al.* Big data in smart farming: a review. **Agricultural systems**, [s. l.], v. 153, p. 69-80, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X16303754>. Acesso em: 12 jul. 2023.

WOLFERT, S.; GOENSE, D.; SØRENSEN, C. A. G. A future internet collaboration platform for safe and healthy food from farm to fork. *In*: **2014 Annual SRII Global Conference**, 23-25 de April, San Juan, CA, 2014. p. 266-273. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6879694>. Acesso em: 12 jul. 2023.

XAVIER, R. S. **Utilização de sensores capacitivos no monitoramento e manejo da irrigação da cultura do melão (cucumis melo L.)**. 2018. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/40022>. Acesso em: 18 jul. 2023.

YUAN, M. Conhecendo o MQTT. **IBM Developer**, [s. l.], 2017. Disponível em: <https://developer.ibm.com/br/articles/iot-mqtt-why-good-for-io>. Acesso em: 15 jul. 2023.