

**INSTITUTO
FEDERAL**
Pernambuco

**INSTITUTO FEDERAL DE PERNAMBUCO
CAMPUS BELO JARDIM
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE SOFTWARE**

**EDUARDO DUARTE XAVIER DE BRITO
IGOR JOSÉ RIBEIRO DOS SANTOS
MARIA RAQUEL CORDEIRO SANTOS**

**Desenvolvimento e Aplicação de um Sistema de
Monitoramento de Umidade do Solo com Sensores a base de
Gesso e integração com IoT**

**Belo Jardim, Pernambuco
09/08/2024**

**EDUARDO DUARTE XAVIER DE BRITO
IGOR JOSÉ RIBEIRO DOS SANTOS
MARIA RAQUEL CORDEIRO SANTOS**

Desenvolvimento e Aplicação de um Sistema de Monitoramento de Umidade do Solo com Sensores a base de Gesso e integração com IoT

Trabalho de conclusão de Curso (TCC)
apresentado como requisito parcial para
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Software.

Banca de Qualificação:

Jobson Tenório do Nascimento- IFPE - Campus Belo Jardim
Guilherme José de Carvalho Cavalcanti- IFPE - Campus Belo Jardim
Wellyson Fernando Nunes Souza- IFPE - Campus Pesqueira

Belo Jardim, Pernambuco, 09/08/2024.

Dados Internacionais de Catalogação - CIP

B862d Brito, Eduardo Duarte Xavier de

Desenvolvimento e aplicação de um sistema de monitoramento de umidade do solo com sensores a base de gesso e integração com IoT / Eduardo Duarte Xavier de Brito, Igor José Ribeiro dos Santos, Maria Raquel Cordeiro Santos. – Belo Jardim-PE, 2024.

72f.: il. ; 29 cm.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Software) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Campus Belo Jardim- PE, 2024.

Orientador: Prof.º Jobson Tenório do Nascimento.

Inclui referências.

1. Desenvolvimento de sistemas. 2. Ferramenta de TI. 3. Sensores. 4. Estudo do solo. I. Título. II. Santos, Igor José Ribeiro dos. III. Santos, Maria Raquel Cordeiro. IV. Nascimento, Jobson Tenório. V. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco.

CDD 005

**EDUARDO DUARTE XAVIER DE BRITO
IGOR JOSÉ RIBEIRO DOS SANTOS
MARIA RAQUEL CORDEIRO SANTOS**

**DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO
DE UMIDADE DO SOLO COM SENSORES A BASE DE GESSO E INTEGRAÇÃO
COM IOT**

Trabalho aprovado. Belo Jardim, 09/08/2024.

Jobson Tenório do Nascimento

Professor Orientador

Guilherme José de Carvalho Cavalcanti

Convidado 1

Wellyson Fernando Nunes Souza

Convidado 2

AGRADECIMENTOS

Eu, Igor, desejo expressar minha profunda gratidão aos meus pais, cuja dedicação incansável proporcionou uma educação de qualidade para mim. Em particular, presto homenagem ao meu falecido pai, cuja fé inabalável em mim e esforço incansável foram fundamentais para minha trajetória até o presente momento. Agradeço também à minha mãe, que sempre demonstrou preocupação com minha educação universitária e, apesar das adversidades, nunca deixou de me incentivar a prosseguir com meus estudos.

Expresso minha sincera gratidão a todas as pessoas que cruzaram meu caminho durante o curso, especialmente aos professores que dedicaram seu tempo e esforço para nos preparar. Um agradecimento especial vai para Hitalo Oliveira, que não apenas me inspirou como pessoa e educador, mas também ofereceu apoio nos momentos mais desafiadores, através de inúmeras conversas e conselhos valiosos.

Não posso deixar de mencionar minha noiva, Ellen Alta, que tem sido meu apoio constante, motivando-me a persistir e a não desistir dos meus sonhos e metas, por mais difíceis que possam parecer.

Expresso minha profunda gratidão à minha família como um todo, que esteve ao meu lado nos momentos mais difíceis e que sei que sempre estará presente, independentemente das circunstâncias.

Agradeço também ao meu orientador, Jobson Tenório, pelo tempo dedicado a nos ajudar. Ele não só é um ótimo professor, como também uma pessoa incrível, de quem aprendi muito. Agradeço aos meus colegas, Eduardo Duarte e Maria Raquel, pelo apoio e amizade durante a realização deste trabalho conjunto.

Por fim, expresso minha gratidão a Deus por tudo que Ele me proporcionou até hoje e pelo que está por vir, e rogo para que nunca me deixe esquecer que Ele é meu pastor e nada me faltará.

Eu, Maria Raquel, deixo aqui meus agradecimentos a Nossa Senhora Fátima e a minha família que tiveram a paciência de lidar comigo e pelas minhas ausências em eventos familiares e momentos cristãos para minha dedicação, de não somente na construção deste trabalho, mas também durante todo o curso; Foram e são minhas razões para não desistir de tudo quando eu simplesmente não tinha mais forças para nada.

Deixo também minha gratidão aos professores Hitalo Oliveira e a Jobson Tenório que tiveram a paciência de me orientar pois me perdi várias vezes; Aos meus amigos Eduardo Duarte, Igor Santos e a Maria Gabrielly pelo apoio e companheirismo nas madrugadas para a construção deste trabalho, que Deus os abençoe grandemente.

Por fim, quero deixar um agradecimento especial aos meus pais, Maria das Graças e José Maurinho, que sempre vinha conversar comigo e escutar sobre meus cansaços e sempre tentava me aconselhar e achar soluções para que eu conseguisse continuar, eu os amo.

Eu, Eduardo, agradeço primeiramente a Deus por ter me guiado em todos os momentos, garantindo que tudo desse certo durante minha trajetória e por ter colocado tantas pessoas no meu caminho para me ajudar. Teria que agradecer a muita gente se fosse considerar cada um que contribuiu para o meu desenvolvimento até aqui, pois cada pessoa que conheci me ensinou algo. Sou grato de coração a cada pessoa que, de maneira direta ou indireta, contribuiu para o meu crescimento (Principalmente, alô team ágil, é nozes!). Alguns nomes, porém, precisam ser citados: minha eterna gratidão aos meus pais, que sempre acreditaram e depositaram toda a confiança em mim — seu José Xavier (in memoriam) e dona Ana Duarte, que, aos seus 64 anos, me atura e me recebe todos os dias com um sorriso gigante e o melhor abraço do mundo assim que chego do trabalho; aos meus professores de teatro e capoeira, Tcharlles Amorim e André Pereira "Saranhado", respectivamente, que, assim como meus pais, foram grandes incentivadores para que eu sempre continuasse a estudar; aos professores mestres João Almeida, Elton Torres e Hitalo Oliveira, que foram os principais responsáveis pelo meu ingresso no curso, pois acreditaram em mim e me passaram muita confiança para que, mesmo durante o tecnólogo, eu participasse do processo seletivo de engenharia; a Hitalo e ao professor mestre Jobson Tenório, pelo tempo dedicado, paciência durante a orientação e todo o conhecimento compartilhado durante esta pesquisa (Senhores mestres, vocês são muito mais que apenas professores, vocês são amigos que terão para sempre minha gratidão por tudo); aos amigos Maria Raquel e Igor Santos, que, junto comigo, tornaram possível a realização deste trabalho — obrigado por todo o empenho e parceria, pessoal; por fim, ao meu amigo de infância Tony Márcio, graduado em Física e atualmente concluindo seu mestrado, pelo compartilhamento de toda a sua experiência adquirida durante sua trajetória acadêmica como grande pesquisador que se tornou, sem sombra de dúvidas, minha maior referência como discente acadêmico.

RESUMO

A crescente demanda por práticas agrícolas sustentáveis e eficientes tem impulsionado a busca por soluções inovadoras de monitoramento de umidade do solo. Nesse contexto, este trabalho de conclusão de curso apresenta o desenvolvimento e aplicação de um Sistema de Monitoramento de Umidade do Solo utilizando sensores à base de gesso integrados com a Internet das Coisas (IoT). O estudo concentra-se na criação de um sensor de umidade do solo de baixo custo, utilizando gesso como condutor elétrico, com medidas de resistência como base para a avaliação da umidade. O sistema de sensor desenvolvido transmite dados sem fio para a plataforma IoT ThingsBoard, com o objetivo de centralizar informações e criar painéis para monitoramento abrangente. A transmissão de dados é facilitada por um microcontrolador ESP32, que captura leituras de resistência e as envia via Wi-Fi usando o protocolo MQTT. Além disso, um aplicativo Android nativo desenvolvido com Kotlin complementa o sistema, permitindo que os usuários interajam com o controlador ESP32, fornecendo informações em tempo real sobre os níveis de resistência e o status da bateria do sensor, mesmo offline. Como resultado da criação deste sensor, agora é possível aferir a umidade do solo em áreas de cultivo de forma acessível, beneficiando tanto produtores rurais quanto entusiastas de jardinagem doméstica, que podem monitorar suas plantas através de um aplicativo móvel. Um caso de sucesso dessa aplicação foi a implementação em regiões de risco, como o bairro da Caixa d'Água, no Recife, onde auxilia na previsão de desmoronamentos ao fornecer dados em tempo real através da plataforma ThingsBoard. Essa implementação permite o acompanhamento contínuo e histórico das medições de umidade, contribuindo para a segurança e a tomada de decisões na área. Esta abordagem interdisciplinar oferece uma solução econômica para o monitoramento de umidade do solo, aproveitando sensores à base de gesso e integração IoT para otimizar práticas agrícolas e gestão hídrica.

Palavras-chave: monitoramento de umidade do solo, sensores à base de gesso, internet das coisas (IoT).

ABSTRACT

The growing demand for sustainable and efficient agricultural practices has driven the search for innovative soil moisture monitoring solutions. In this context, this thesis presents the development and application of a Soil Moisture Monitoring System using gypsum-based sensors integrated with the Internet of Things (IoT). The study focuses on the creation of a low-cost soil moisture sensor, using gypsum as an electrical conductor, with resistance measurements as the basis for moisture assessment. The developed sensor system wirelessly transmits data to the IoT platform ThingsBoard, aiming to centralize information and create dashboards for comprehensive monitoring. Data transmission is facilitated by an ESP32 microcontroller, which captures resistance readings and sends them via Wi-Fi using the MQTT protocol. Additionally, a native Android application developed in Kotlin complements the system, allowing users to interact with the ESP32 controller, providing real-time information on resistance levels and the sensor's battery status, even offline. As a result of the creation of this sensor, it is now possible to measure soil moisture in cultivation areas affordably, benefiting both rural producers and gardening enthusiasts who can monitor their plants through a mobile application. A successful case of this application was the implementation in risk areas, such as the Caixa d'Água neighborhood in Recife, where it aids in predicting landslides by providing real-time data through the ThingsBoard platform. This implementation allows continuous monitoring and historical tracking of moisture measurements, contributing to safety and decision-making in the area. This interdisciplinary approach offers an economical solution for soil moisture monitoring, leveraging gypsum-based sensors and IoT integration to optimize agricultural practices and water management.

Keywords: soil moisture monitoring, gypsum-based sensors, internet of things (IoT).

SIGLAS

AWS *Amazon Web Services*

EF Entidades Físicas

EV Entidades Virtuais

EXI *Efficient XML Interchange*

IA Inteligência Artificial, ou *Artificial Intelligence*

IEEE Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos ou Instituto de Engenheiros Eletrotécnicos e Eletrônicos

IFPE Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Pernambuco

IoT *Internet of Things*, ou Internet das coisas

IP Protocolo da Internet, ou *Internet Protocol*

MCU *Microcontroller Unit*, ou unidade de microcontrolador

MQTT *Message Queuing Telemetry Transport*

MVVM *Model-View-ViewModel*

NFC *Near Field Communication*

OWL *Web Ontology Language*

PET Polietileno tereftalato

PIB Produto Internet Bruto

PVC Policloreto de vinila

RDF *Resource Description Framework*

RFID *Radio Frequency Identification*

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------|---|----|
| 1.1 | Mapa do índice nacional de analfabetismo no Brasil, destacando as regiões com a maior e a menor taxa. | 15 |
| 1.2 | Gráfico ilustrando a queda mencionada no parágrafo anterior. | 16 |
| 2.1 | Crescimento da população, do primeiro bilhão em 1800 ao sétimo em 2011. . . | 20 |
| 2.2 | Estrutura IoT. | 23 |
| 4.1 | Molde de cano PVC. | 35 |
| 4.2 | Componentes necessários para montar a parte interna no sensor. | 35 |
| 4.3 | Separador de polos. | 36 |
| 4.4 | Interna do sensor montado. | 37 |
| 4.5 | Sensor montado. | 38 |
| 4.6 | Sensor montado, preenchido de gesso. | 39 |
| 4.7 | Sensor de umidade pronto. | 39 |
| 4.8 | Gráfico de dispersão, resistência versus peso do sensor 1. | 44 |
| 4.9 | Gráfico de dispersão, resistência versus peso do sensor 2. | 44 |
| 4.10 | Gráfico de dispersão resultante do primeiro particionamento dos dados. | 45 |
| 4.11 | Gráfico de dispersão resultante do segundo particionamento dos dados. | 46 |
| 4.12 | Gráfico de dispersão resultante do terceiro particionamento dos dados. | 46 |
| 4.13 | Comparação entre abordagens da geração da equação de conversão de resistência em umidade. | 47 |
| 4.14 | Função em linguagem JavaScript para conversão de resistência em umidade percentual. | 48 |
| 4.15 | Área de dispositivos criados na plataforma. | 49 |
| 4.16 | Detalhes do dispositivo selecionado. | 50 |
| 4.17 | Última telemetria do sensor. | 50 |
| 4.18 | Dashboard para gerenciamento de dispositivos ativos. | 51 |
| 4.19 | Dashboard do gateway dos sensores selecionado. | 52 |
| 4.20 | Dashboard exibindo o histórico das aferições da umidade por timestamp em forma de tabela. | 52 |
| 4.21 | Dashboard exibindo o histórico das aferições da umidade por timestamp em forma de gráfico. | 53 |
| 4.22 | Dashboard exibindo o histórico da tensão do sensor. | 53 |
| 4.23 | Dashboard exibindo o histórico da resistência do sensor. | 54 |
| 4.24 | Diagrama de conexão bluetooth entre ESP32 e dispositivo android. | 55 |
| 4.25 | Protocolo de comunicação entre o ESP e o Dispositivo. | 56 |
| 4.26 | Páginas de Onboarding. | 58 |
| 4.27 | Diálogos de erro e aviso. | 59 |
| 4.28 | Página principal sem nenhum dispositivo conectado. | 60 |
| 4.29 | Página dispositivos pareados ao bluetooth. | 61 |
| 4.30 | Dashboard de visualização de umidade e bateria do dispositivo conectado. . . . | 62 |

| | | |
|------|--|----|
| 4.31 | Página principal com a aferição da última sincronização. | 63 |
| 5.1 | Implantação do sensor. | 65 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-----|--|----|
| 3.1 | Descrição das etapas da pesquisa, incluindo seus prazos. | 31 |
| 4.1 | Valores dos componentes utilizados no sistema | 40 |
| 4.2 | Sensor 1 - Dados das aferições | 42 |
| 4.3 | Sensor 2 - Dados das aferições | 43 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Introdução | 13 |
| 1.1 | Contexto | 14 |
| 1.2 | Justificativa | 14 |
| 1.3 | Problema e questão de pesquisa | 16 |
| 1.4 | Objetivos | 16 |
| 1.5 | Escopo Negativo | 17 |
| 1.5.1 | Não Testagem de Campo do Sensor em Diferentes Tipos de Solo | 17 |
| 1.5.2 | Não Testagem do Aplicativo Desenvolvido | 17 |
| 1.5.3 | Falta de Dados para Testagens e Exibição de Resultados | 17 |
| 1.5.4 | Não Acoplamento do Sensor em uma Estação Meteorológica ou Sistema de Irrigação | 17 |
| 2 | Fundamentação Teórica | 19 |
| 2.1 | Impacto da aferição de umidade no combate ao desperdício de recursos naturais | 19 |
| 2.1.1 | Crescimento Populacional e a alta demanda por recursos naturais | 19 |
| 2.1.2 | Escassez dos recursos naturais essenciais para a humanidade | 20 |
| 2.2 | A Revolução Tecnológica no Agronegócio: Inovações, Impactos e Oportunidades | 21 |
| 2.2.1 | Fases da Revolução Industrial | 21 |
| 2.2.2 | A Indústria 4.0 e a Internet das Coisas (IoT) | 22 |
| 2.2.3 | A tecnologia no agronegócio. | 24 |
| 2.3 | Tipos de Solo | 24 |
| 2.3.1 | Solo Argiloso | 25 |
| 2.3.2 | Solo Arenoso | 25 |
| 2.3.3 | Solo Siltoso | 25 |
| 2.3.4 | Solo Orgânico | 25 |
| 2.3.5 | Solo Calcário | 26 |
| 2.3.6 | Solo Latossolo | 26 |
| 2.4 | A importância da aferição da umidade do solo | 26 |
| 2.4.1 | Relação entre Umidade do Solo e Fertilidade | 26 |
| 2.4.2 | Economia de Água e Eficiência na Irrigação | 27 |
| 3 | Metodologia | 29 |
| 3.1 | Classificação Metodológica | 29 |
| 3.2 | Método Experimental | 29 |
| 3.2.1 | Sistema de notação clássica fornecida por (CAMPBELL; STANLEY, 2015) | 30 |
| 3.3 | Técnicas e ferramentas de coleta de dados | 30 |
| 3.4 | Etapas da pesquisa | 31 |
| 3.5 | Execução do experimento | 31 |
| 3.5.1 | Equipamentos utilizados | 31 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.5.2 | Ambiente Controlado | 32 |
| 3.5.3 | Variáveis e Cenários executados | 32 |
| 4 | Implementação | 34 |
| 4.1 | Construção do Sensor de Umidade do Solo | 34 |
| 4.2 | Valores | 39 |
| 4.3 | Coleta de Dados | 40 |
| 4.4 | Plataforma de conexão | 48 |
| 4.5 | Dispositivos | 49 |
| 4.6 | Dashboards para monitoramento | 51 |
| 4.7 | Aplicativo móvel | 54 |
| 4.7.1 | Protótipo da Aplicação Móvel Funcional | 56 |
| 5 | Resultados | 64 |
| 6 | Conclusões | 66 |
| 6.1 | Contribuições | 66 |
| 6.2 | Limitações da pesquisa | 66 |
| 6.3 | Trabalhos Futuros | 66 |
| | Referências Bibliográficas | 68 |

1 Introdução

Comumente vemos notícias sobre o alto nível da seca no nosso território e também sobre os prejuízos que ela ocasiona. Há um crescimento considerável na agricultura irrigada no Brasil visando economizar recursos hídricos, visto que, essa irrigação é responsável por 75% do consumo de água do país (FREIRE; CONT; BARBOSA, 2019). E se existissem meios que pudessem evitar o desperdício de água, além de apresentar diferentes dados sobre o solo?

Existem inúmeros sistemas disponíveis no mercado, capazes de aferir os níveis de umidade e apresentar resultados de alta fidelidade possibilitando assim, controlar e prever os estados de um terreno. Entretanto, sensores mais elaborados que entregam uma alta taxa de precisão, apresentam um alto custo de aquisição além de que, muitas vezes não trazem uma interface de conectividade para com outros dispositivos, como relata Guimarães e Bauchspiess (2012) ao mencionar o Sensor de umidade SMRT-Y. Dito isso, a utilização desse tipo sensor em um projeto de larga escala se torna inviável, sendo necessário buscar opções mais acessíveis, a fim de tornar o produto escalável e reproduzível. Uma possível maneira de contornar esse fator, se dá por buscar e adquirir sensores de baixo custo ou até mesmo confeccionar os próprios sensores fazendo uso da IoT (Internet of Things).

Segundo Costa, Oliveira e Móta (2018) "De uma forma geral compreende-se por IoT a maneira com que objetos físicos do nosso cotidiano se interconectam na web, muitos destes equipamentos estão incorporados com inteligência ubíqua e são controlados pela Internet". Essa ideia é implementada juntamente a outra área, a qual é chamada de indústria 4.0. Esse termo surgiu a partir de iniciativas estratégicas do governo da Alemanha para consolidar o país como líder na área de tecnologia e fortalecer sua competitividade global (SANTOS; MANHÃES; LIMA, 2018). Para (SANTOS, Beatrice Paiva et al., 2018) essa ideia tem um potencial bastante ambicioso e promete maior eficácia operacional, ganhos de produtividade, crescimento e desenvolvimento de novos modelos de negócio, serviços e produtos.

Diante desses desafios, este trabalho visa desenvolver e entregar um produto de valor, que não apenas ajude a solucionar as demandas mencionadas anteriormente, mas também seja acessível e fácil de implementar. O foco está em criar uma solução que, apoiada em baixo custo e facilidade de aplicação, possa ser amplamente adotada para atender às necessidades de monitoramento de umidade do solo, contribuindo para a eficiência na gestão de recursos hídricos e para a sustentabilidade na agricultura.

1.1 Contexto

O presente trabalho busca apresentar um sensor de umidade de solo de baixo custo, que possa extrair dados e ser implementado em diferentes sistemas, seja de irrigação de precisão, monitoramento de plantas e outros. O protótipo construído é um modelo de sensor confeccionado com componentes de baixo custo como, água, gesso, parafusos de pequeno porte e um cano de PVC como molde. Este sensor estará conectado a uma central de controle formada por uma esp32 e a mesma estará conectada à uma plataforma que permite o desenvolvimento e gerenciamento de projetos IoT.

1.2 Justificativa

Visando dar continuidade ao projeto de extensão construído e aplicado ainda nos primeiros períodos da graduação, também tendo conhecimento do alto custo de sensores de precisão devido a pesquisas feitas pela equipe responsável por esse trabalho. Foi identificado como uma necessidade e posteriormente definida como objetivo do projeto, atender produtores agrícolas e plantações de pequeno e médio porte, proporcionando uma ampliação de alcance no monitoramento de área, graças à possibilidade de conectividade com internet e também ao baixo custo de desenvolvimento e aplicação.

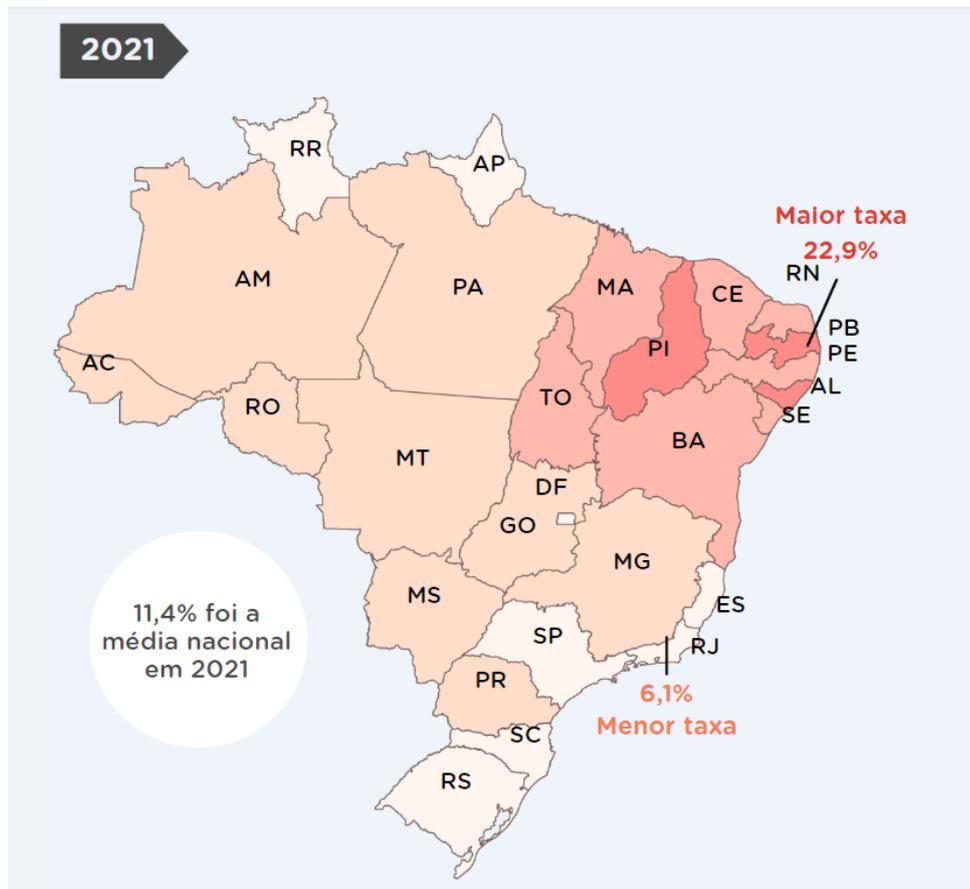
Considerando essa possibilidade, a motivação para desenvolver um sensor que combine alto desempenho com baixo custo de implementação surgiu da necessidade de atender às demandas específicas dos agricultores familiares, especialmente aqueles de pequeno e médio porte. Esses agricultores muitas vezes enfrentam desafios significativos, como recursos financeiros limitados e acesso restrito a tecnologias avançadas. Por isso, a criação de uma solução acessível e eficiente se torna essencial para melhorar a produtividade e a sustentabilidade dessas pequenas propriedades, garantindo que eles possam competir em condições mais justas no mercado agrícola.

Ao focar em um sensor economicamente viável, buscamos não apenas atender às necessidades técnicas, mas também contribuir para o fortalecimento da agricultura familiar, que desempenha um papel crucial na segurança alimentar e no desenvolvimento econômico da região. A pesquisa de Toledo Fonseca et al. (2022) aponta que cerca de 35,7% das famílias rurais vivem abaixo da linha da pobreza. Visto que a agricultura familiar tem uma importância bastante relevante, sendo ela responsável por 77% dos estabelecimentos agrícolas e por corresponder a 67% de toda atividade ocorrente nesse meio (ESTADÃO, 2021). Agricultura Familiar pode ser definida através de uma lista de diferentes características, tamanho e tipos de solo, idade, escolaridade, mono ou policultivo, agricultura ou agropecuária, vegetal cultivado ou animal criado e muitas outras características significativas (CASTRO, 2023).

Espera-se conseguir ajudar essa classe tão importante para a sociedade levando um pouco da tecnologia para a vida do campo por meio do produto desenvolvido. Além da intenção de construir algo barato, o foco também é que seja algo acessível e simples de aplicar, devido a este seletivo grupo ter um índice considerável de analfabetismo e analfabetismo funcional.

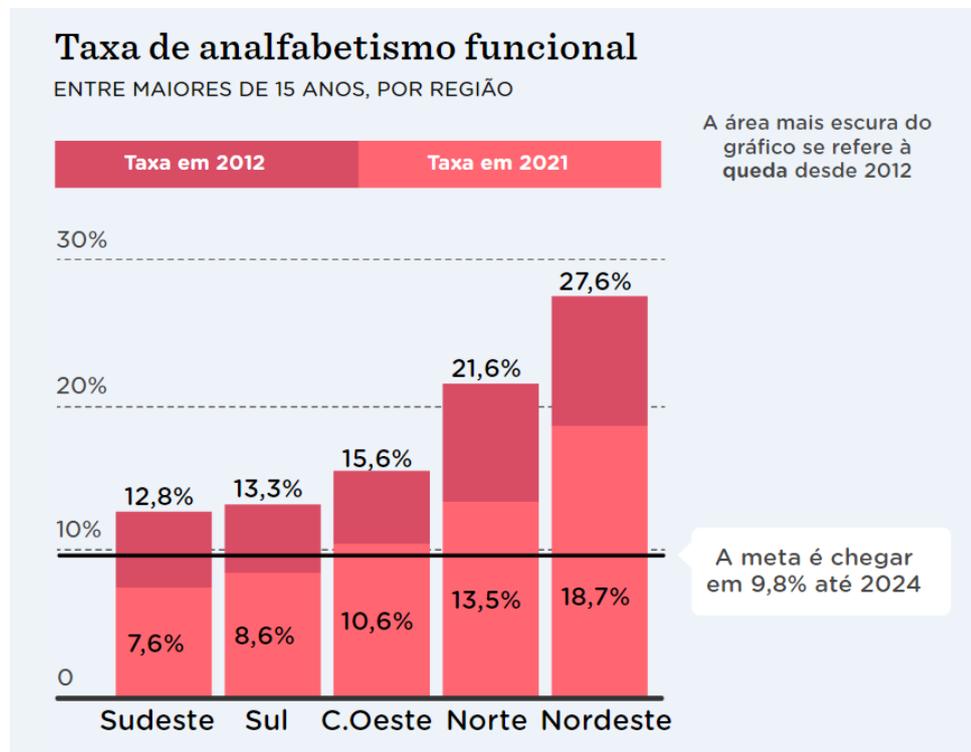
Em 2021, como podemos ver na imagem 1.1 a média nacional foi de 11,4% e como visto na imagem 1.2, espera-se que esse número caia para 9,8% até 2024. Separando por estados, vê-se que os maiores taxas estão na região Nordeste e Norte sendo 18,7% e 13,5% respectivamente (HEMERLY; PRETTO, 2023).

Figura 1.1: Mapa do índice nacional de analfabetismo no Brasil, destacando as regiões com a maior e a menor taxa.



Fonte: Hemerly e Pretto (2023).

Figura 1.2: Gráfico ilustrando a queda mencionada no parágrafo anterior.



Fonte: Hemerly e Pretto (2023).

1.3 Problema e questão de pesquisa

Apesar dos avanços na tecnologia de monitoramento agrícola, a acessibilidade e o custo elevado dos sensores de umidade do solo de alta precisão continuam sendo uma barreira significativa para pequenos e médios agricultores. Os sensores disponíveis no mercado frequentemente apresentam a necessidade de investimentos substanciais para implementação, o que não é viável para muitas famílias rurais que não tem um alto poder aquisitivo.

A problemática central deste trabalho de conclusão de curso é: Como desenvolver e validar um sensor de umidade de solo de baixo custo que seja funcional e possa ser integrado eficientemente a sistemas de irrigação e/ou monitoramento de dados, superando as limitações de tempo e recursos?

O protótipo de sensor de umidade de solo desenvolvido neste trabalho, utilizando materiais de baixo custo, propõe uma solução acessível e eficaz para monitoramento agrícola. Este sensor é projetado para ser integrado à plataforma ThingsBoard, que facilita a visualização e o gerenciamento dos dados coletados.

1.4 Objetivos

O objetivo geral busca construir e disponibilizar para a comunidade, um sensor de baixo custo que possa auxiliar em sistemas de irrigação e de monitoramento de solos e que consiga

apresentar uma boa precisão nas medições. Todos esses requisitos devem ser atendidos por meio de um produto que tenha um baixo grau de dificuldade na implementação e aplicação deste sistema. Como objetivos específicos podemos listar a confecção do sensor, desenvolvimento de um software que auxilie no acompanhamento e controle dos dados recebidos e apresentação de testes realizados em ambiente controlado.

1.5 Escopo Negativo

Diversos desafios e limitações foram encontrados durante o desenvolvimento deste trabalho, algumas metas propostas inicialmente não foram alcançadas e como principais impeditivos encontrados podemos citar:

1.5.1 Não Testagem de Campo do Sensor em Diferentes Tipos de Solo

Não foi possível realizar testes de campo do sensor desenvolvido em diversos tipos de solo. Essa etapa é essencial para validar a eficácia e a precisão do sensor em condições variadas, mas foi comprometida devido à falta de acesso a ambientes propícios para a realização dos testes.

1.5.2 Não Testagem do Aplicativo Desenvolvido

O aplicativo desenvolvido para coletar e analisar os dados do sensor não foi testado em condições reais de uso. A validação do aplicativo é crucial para assegurar sua funcionalidade e usabilidade, mas a etapa de testes foi limitada por restrições de tempo e logística.

1.5.3 Falta de Dados para Testagens e Exibição de Resultados

A ausência de dados reais coletados pelo sensor impediu a realização de testagens completas e a exibição de resultados concretos. A falta de dados compromete a capacidade de demonstrar a eficiência do sistema desenvolvido e de realizar análises aprofundadas. Os protótipos desenvolvidos, foram doados para um projeto realizado em Recife, no período dos deslizamentos de barreiras, e os dados obtidos a partir desta sua aplicação não foram disponibilizados, se tornando assim, impossível tirar conclusões sobre a real eficiência apresentada pelos sensores.

1.5.4 Não Acoplamento do Sensor em uma Estação Meteorológica ou Sistema de Irrigação

O sensor não foi integrado a uma estação meteorológica ou a um sistema de irrigação automatizado. Essa integração é importante para demonstrar a aplicação prática do sensor em sistemas de monitoramento ambiental e de gerenciamento de irrigação, mas não foi realizada devido a limitações de tempo e recursos.

Essas limitações ocorreram principalmente por dois fatores: falta de tempo e dificuldades no acesso a ambientes adequados para a realização dos testes necessários. Embora esses aspectos

não tenham sido alcançados, o desenvolvimento teórico e prático do projeto forneceu uma base sólida para futuras pesquisas e aprimoramentos.

2 Fundamentação Teórica

No segundo capítulo deste trabalho, exploramos a importância da aferição de umidade como uma estratégia fundamental no combate ao desperdício de recursos naturais, a fim de conscientizar sobre como nossa solução pode ser aplicada e como pode ajudar. Buscamos apresentar o impacto direto que a medição precisa da umidade pode ter na conservação de recursos hídricos, na otimização do uso de água e prevenção ao desperdício na agricultura.

Em seguida, adentramos no cenário do agronegócio, buscando explicar como a tecnologia está moldando significativamente as práticas e os processos na agricultura. Analisamos as inovações emergentes e citamos a forte ligação do IoT nesse meio. Dentro do contexto agrícola, dedicamos uma seção à compreensão dos diferentes tipos de solos. Exploramos como a composição do solo afeta a absorção de água e nutrientes pelas plantas, destacando a importância de considerar esses fatores ao realizar medições de umidade.

2.1 Impacto da aferição de umidade no combate ao desperdício de recursos naturais

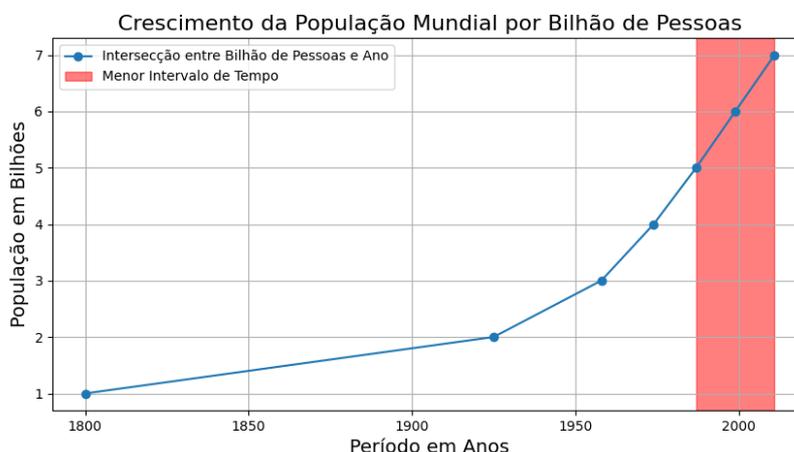
Comumente é possível presenciar pessoas aguçando as plantas em excesso, a fim de que as mesmas possam passar alguns dias, isentas de irrigação. Porém, esta ação pode ser prejudicial, pois ao penetrar a terra, a água em excesso acaba levando para longe das raízes nutrientes essenciais para as plantas. Além de que, outro ponto muito importante surge quando falamos do excesso de rega, que é o desperdício de água.

2.1.1 Crescimento Populacional e a alta demanda por recursos naturais

A terra é um bem da humanidade que impacta de inúmeras formas as nossas vidas. É o nosso lar, apresenta fornecimento hídrico, uma grande quantidade de recursos naturais renováveis e não renováveis, e entre estes, está nossa maior fonte de alimentação. Porém, toda essa vasta oferta é finita, se considerada a demanda proveniente da alta população. Estima-se que haviam cerca de 250 milhões de habitantes no ano 1 da era cristã e que em 1500 esse número subiu para 500 milhões. Por volta de 1800, a população atingiu 1 bilhão de pessoas (ALVES, 2010). A população mundial cresceu aceleradamente no século XX. Em 1800 havia o primeiro bilhão de pessoas e em 1925 o segundo. O tempo necessário para atingir um novo bilhão foi se reduzindo e enquanto do primeiro para o segundo levou 125 anos, do quinto para o sétimo levou apenas 24 (SILVA, 2019). É possível visualizar a curva de crescimento se posicionarmos esses dados em um gráfico. Utilizando a linguagem de programação Python e a biblioteca Matplotlib, foi

possível aplicar os dados fornecidos acima e montar o seguinte gráfico, como exibido na figura 2.1.

Figura 2.1: Crescimento da população, do primeiro bilhão em 1800 ao sétimo em 2011.



Fonte: o autor(2023).

Com esse crescimento acelerado, surge a preocupação com a alta demanda por recursos naturais que levanta alguns questionamentos, como por exemplo: como alimentar tantas pessoas? Será que o planeta irá suprir tamanha demanda por comida e água?

2.1.2 Escassez dos recursos naturais essenciais para a humanidade

Em todo o mundo, a vasta quantidade de áreas de cultivo é um testemunho da nossa dependência da agricultura para atender às necessidades alimentares globais. No entanto, com o crescimento constante da população mundial e o consequente aumento da demanda por alimentos, surge uma preocupação crescente: será que a capacidade de produção do planeta conseguirá acompanhar essa alta demanda? A subseção acima ilustra bem quão grande é a população existente no planeta e nos faz acreditar que para atender a todos, é necessário uma alta produção.

Reduzindo o range de análise a fim de exemplificar, vemos que, a estimativa de produção apenas para a safra de grãos no ciclo 2023/2024 era de 317,5 milhões de toneladas com uma área semeada ultrapassando os 78 milhões de hectares (CONAB, 2023). Desconsiderando áreas de reflorestamento ou seja apenas lavouras, no mundo, estima-se que haja cerca de 1,87 bilhão de hectares (MIRANDA, 2018). Diante desse cenário, a eficiência no uso dos recursos torna-se crucial para garantir a sustentabilidade da produção agrícola

Segundo (UCKER et al., 2013) a nível de campo, aproximadamente metade da água aplicada em uma irrigação não é realmente consumida pelo cultivo e acaba como água de drenagem. Existem algumas maneiras de melhor aproveitamento, e para ele, usar essa fração não consumida de água de irrigação já desviada é uma delas. A outra, é de fato, reduzir a quantidade aplicada

em cada irrigação. Para isso, uma alternativa é controlar a rega e entre algumas alternativas existentes, uma delas é a solução proposta por este trabalho, sendo a aferição de umidade do solo, a fim de saber exatamente quando será preciso regar ou não.

2.2 A Revolução Tecnológica no Agronegócio: Inovações, Impactos e Oportunidades

Já se passou muito tempo desde a primeira revolução industrial que contou de maneira significativa no avanço tecnológico e industrial. As fases da Revolução Industrial simbolizam um novo patamar alcançado no desenvolvimento da civilização humana, no que diz respeito aos avanços tecnológicos, ao surgimento de novas indústrias, bem como à capacidade produtiva de cada uma delas (SOUSA, 2024).

2.2.1 Fases da Revolução Industrial

De acordo com (SAKURAI; ZUCHI, 2018), a mesma surgiu aproximadamente no final do século XVIII e início do século XIX na Inglaterra, a revolução logo se espalhou para outros países como França, Bélgica, Holanda, Rússia, Alemanha e Estados Unidos. A grande revolução iniciou em 1760 na indústria têxtil, a razão se deu pelo rápido crescimento da população e também pelo alto índice de migração do homem do campo para as grandes cidades (CAVALCANTE; SILVA², 2011). Segundo (SAKURAI; ZUCHI, 2018), Venturelli afirma que esse período foi marcado por importantes invenções, uma grande evolução do setor produtivo e de transporte ocorreu, devido ao aperfeiçoamento da máquina a vapor por James Watt, colocando a indústria têxtil como símbolo da produção excedente, gerando a riqueza da época e criando um novo modelo econômico.

Iniciada na última metade do século XIX e de fato realizada no século XX, diferente da primeira fase, que baseou-se no ferro e na energia a vapor do carvão, a segunda teve como base a eletricidade e o aço (DATHEIN, 2003). “A segunda revolução (1850-1945) envolveu o desenvolvimento de indústrias química, elétrica, de petróleo e aço, além do progresso dos meios de transporte e comunicação” (SANTOS, 2019). Para (SOUSA, 2024), na busca por maiores lucros, o fordismo, introduzido por Henry Ford na indústria automobilística dos Estados Unidos, que caracterizou-se pela especialização do trabalho, produção em série e uso de esteiras rolantes para dinamizar o processo de montagem dos carros, foi um modelo adotado pela indústria. Conforme (SOUSA, 2024), os motores a combustão, tanto a gasolina quanto a gás, tomaram, em sua maioria, o lugar das máquinas a vapor. A substituição do carvão pelo petróleo possibilitou um maior poder de produção, gerando assim um novo significado para a indústria.

Com base em Cavalcanti e Boettcher, (SAKURAI; ZUCHI, 2018) diz que a terceira revolução industrial ou também nomeada de Revolução Técnico-Científica e Informacional, teve como principal marca, processos de inovação tecnológica e trouxe uma renovação no processo econômico, político e social, com grande dinamismo e alta complexidade. Tal como mencionado por (PASQUINI, 2020), foi iniciada no início da década de 1970, teve como base a tecnologia

de ponta (high-tech) e foram criadas a telefonia móvel; robôs usados nas indústrias, Foguete de longo alcance, biotecnologia e a utilização da energia atômica.

Assim como ocorreu entre as últimas 3 etapas, as mudanças e ganhos oferecidos pela evolução tecnológica foram muito expressivos. (LIMA et al., 2019) defende que, a Quarta Revolução Industrial integrou novas tecnologias e inovações de maneira significativamente mais rápida e abrangente do que as revoluções anteriores e a Inteligência Artificial (IA) mudou a forma como a humanidade se relaciona, desde carros autônomos, drones, assistentes virtuais e até softwares de tradução. Para (SCHWAB et al., 2019), a quarta utiliza o conhecimento e sistemas das revoluções anteriores, especialmente os recursos digitais da terceira. Ela engloba tecnologias como IA, robótica e nanotecnologia, mas vai além de uma mera mudança tecnológica.

2.2.2 A Indústria 4.0 e a Internet das Coisas (IoT)

O termo Indústria 4.0 remete a Quarta Revolução Industrial (CANDIA et al., 2018). Vemos em (SAKURAI; ZUCHI, 2018) que segundo Kagermann (2013), o termo Indústria 4.0 surgiu publicamente em 2011 na Alemanha, diante de um contexto político e em 2012 foi apresentado um relatório de recomendações ao Governo Federal Alemão, para planejar a implementação dessa nova indústria.

Como visto no fim da última subseção, essa indústria está ligada diretamente às tecnologias atuais. Ela atende vários conjuntos e dentre estes, está a Internet das Coisas (IoT). Segundo (COSTA; OLIVEIRA; MÓTA, 2018), o termo IoT foi pregado por Kevin Ashton pela primeira vez em 1999, e “de forma geral compreende-se por IoT a maneira com que objetos físicos do nosso cotidiano se interconectam na web, muitos destes equipamentos estão incorporados com inteligência ubíqua e são controlados pela Internet.” Ele completa citando (XIA et al., 2012), onde afirma que graças aos avanços tecnológicos, é possível identificar, monitorar e controlar remotamente objetos físicos utilizando sensores e atuadores.

Com base em (INÁCIO, 2009) os **Sensores** podem ser classificados em:

- **Sensores internos:** Utilizados para determinar parâmetros de movimento, como posição, velocidade, aceleração e força.
- **Sensores externos:** Utilizados para um robô determinar parâmetros do ambiente que o cerca e do objeto a ser manipulado, como distância, tato e visão.

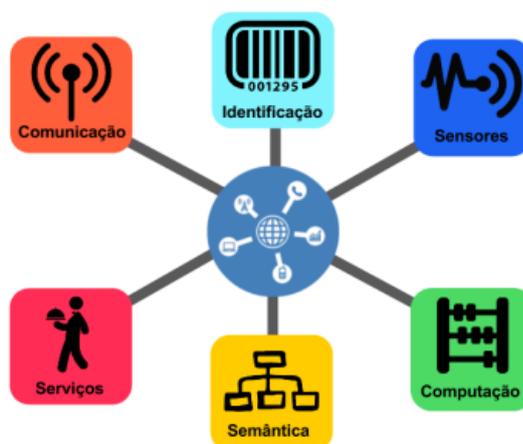
E os **Atuadores:** basicamente convertem energia elétrica, hidráulica ou pneumática em potência mecânica. Através dos sistemas de transmissão, a potência mecânica gerada pelos atuadores é enviada aos links para que se movimentem.

A IoT tem um grande potencial, proporciona uma gama muito relevante de possibilidades, para diferentes meios. A Internet das Coisas, “possibilita que equipamentos sejam capazes de

capturar, processar, transferir, conectar e fazer o uso inteligente de informação” (PEREIRA, 2022). Ela tem uma estrutura lógica e pode trabalhar em conjunto a diversas outras tecnologias.

A seguir, está a definição dos blocos básicos que compõem a IoT, referenciada ao fim da descrição. A estrutura de IoT é composta por diversos componentes interconectados, como é possível ver na figura 2.2.

Figura 2.2: Estrutura IoT.



Fonte: (SANTOS, Bruno P et al., 2016).

Identificação: é um dos blocos mais importantes, visto que é primordial identificar os objetos unicamente para conectá-los à Internet. Tecnologias como RFID, NFC (Near Field Communication) e endereçamento IP podem ser empregados para identificar os objetos.

Sensores/Atuadores: sensores coletam informações sobre o contexto onde os objetos se encontram e, em seguida, armazenam/encaminham esses dados para data warehouses, clouds ou centros de armazenamento. Atuadores podem manipular o ambiente ou reagir de acordo com os dados lidos.

Comunicação: diz respeito às diversas técnicas usadas para conectar objetos inteligentes. Também desempenha papel importante no consumo de energia dos objetos sendo, portanto, um fator crítico. Algumas das tecnologias usadas são WiFi, Bluetooth, IEEE 802.15.4 e RFID.

Computação: inclui a unidade de processamento como, por exemplo, microcontroladores, processadores e FPGAs, responsáveis por executar algoritmos locais nos objetos inteligentes.

Serviços: a IoT pode prover diversas classes de serviços, dentre elas, destacam-se os Serviços de Identificação, responsáveis por mapear Entidades Físicas (EF) (de interesse do usuário) em Entidades Virtuais (EV) como, por exemplo, a temperatura

de um local físico em seu valor, coordenadas geográficas do sensor e instante da coleta; Serviços de Agregação de Dados que coletam e sumarizam dados homogêneos/heterogêneos obtidos dos objetos inteligentes; Serviços de Colaboração e Inteligência que agem sobre os serviços de agregação de dados para tomar decisões e reagir de modo adequado a um determinado cenário; e Serviços de Ubiquidade que visam prover serviços de colaboração e inteligência em qualquer momento e qualquer lugar em que eles sejam necessários.

Semântica: refere-se à habilidade de extração de conhecimento dos objetos na IoT. Trata da descoberta de conhecimento e uso eficiente dos recursos existentes na IoT, a partir dos dados existentes, com o objetivo de prover determinado serviço. Para tanto, podem ser usadas diversas técnicas como Resource Description Framework (RDF), Web Ontology Language (OWL) e Efficient XML Interchange (EXI).

((SANTOS, Bruno P et al., 2016))

2.2.3 A tecnologia no agronegócio.

O modelo de agronegócio é caracterizado pela expansão do capital no campo, beneficiando grandes empresas transnacionais e sendo altamente dependente de insumos químicos e máquinas agrícolas (MENDONÇA, 2013). O agronegócio tem um impacto muito relevante na economia, contribuindo significativamente para o PIB, a geração de empregos e as exportações.

Este setor é um dos pilares fundamentais para o crescimento econômico, impulsionando tanto a indústria quanto os serviços relacionados. Com base no cenário brasileiro, (SILVA, N. M. G. da; CESARIO; CAVALCANTI, 2006) relata que o agronegócio é fundamental para a economia do Brasil, representando cerca de um terço do PIB, mais de 40% das exportações totais e sendo uma importante fonte de empregos no país.

Assim como todo cenário de importância considerável comumente busca, se atualizar, encontrar meios de aprimorar resultados e automatizar processos, com a agricultura não seria diferente. A aplicação da tecnologia nesse meio, visando uma redução de custos, tempo e um melhor aproveitamento na produtividade é nomeada de Agricultura 4.0 (SANTOS; FERREIRA; FERREIRA, 2023). São inúmeros os possíveis ganhos e também as tarefas que ela pode proporcionar e ele continua ao comentar que, além de prevenir incêndios com inteligência artificial, a Indústria 4.0 moderniza o agronegócio ao aperfeiçoar processos como monitoramento, colheita, transporte e processamento de matérias-primas. Essas tecnologias analisam funcionalidades, vantagens e resultados, atendendo às expectativas do setor.

2.3 Tipos de Solo

Para garantir a precisão na aferição da umidade do solo pelo sensor desenvolvido, é fundamental compreender os diferentes tipos de solo e como suas características impactam no

desempenho do sensor. A variação nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos pode influenciar significativamente a medição da umidade, tornando essencial o conhecimento detalhado dessas características para a calibração e eficácia do sensor. Os solos são classificados de diversas maneiras dependendo de suas características físicas, químicas e biológicas. As principais classificações incluem a granulometria, a composição mineral e a capacidade de retenção de água. As subseções a seguir detalham os diferentes tipos de solo e suas características.

2.3.1 Solo Argiloso

O solo argiloso é caracterizado por suas partículas muito finas, o que lhe confere uma textura pegajosa quando úmido e dura quando seco. Este tipo de solo possui uma alta capacidade de retenção de água e nutrientes devido à sua baixa permeabilidade, mas também pode ser propenso à compactação, o que pode dificultar o desenvolvimento radicular das plantas (BRADY; WEIL, 2016). A precisão do sensor de umidade pode ser afetada pela alta capacidade de retenção de água do solo argiloso, necessitando de ajustes específicos na calibração do sensor.

2.3.2 Solo Arenoso

Os solos arenosos são compostos por partículas grandes e grossas, resultando em alta permeabilidade e rápida drenagem da água. No entanto, isso também significa que eles retêm menos nutrientes e água, tornando-se menos férteis em comparação com outros tipos de solo (SINGER; MUNNS, 2006). Devido à rápida drenagem, os sensores de umidade instalados em solos arenosos podem registrar variações mais rápidas nos níveis de umidade, o que exige uma calibração que leve em conta essa característica.

2.3.3 Solo Siltoso

O solo siltoso contém partículas de tamanho intermediário entre argila e areia, possuindo uma textura suave e sedosa. Este tipo de solo é mais fértil do que o solo arenoso, mas tem menor capacidade de retenção de água comparado ao solo argiloso (FOOD; UNITED NATIONS, 2006). A capacidade do solo siltoso de reter uma quantidade moderada de água pode proporcionar medições de umidade mais estáveis, mas ainda assim pode exigir calibração específica para assegurar a precisão dos dados coletados pelo sensor.

2.3.4 Solo Orgânico

Os solos orgânicos são ricos em matéria orgânica decomposta, como húmus, e são altamente férteis, retendo bem a água e os nutrientes (CLAESSEN, 1997). No entanto, esses solos podem apresentar problemas de drenagem, especialmente em áreas pantanosas. Os sensores de umidade instalados em solos orgânicos devem considerar a alta variabilidade na retenção de água e a presença de matéria orgânica, o que pode afetar a condutividade elétrica do solo e, conseqüentemente, as leituras de umidade.

2.3.5 Solo Calcário

Os solos calcários contêm uma alta concentração de carbonato de cálcio, derivado principalmente de rochas calcárias. Eles têm um pH alcalino, o que pode limitar a disponibilidade de certos nutrientes para as plantas, exigindo correções de acidez para alguns tipos de cultivo (SANTOS, H. G. et al., 2013). A presença de carbonatos pode interferir na precisão dos sensores de umidade, especialmente aqueles que utilizam medições de condutividade elétrica, necessitando de calibrações específicas para este tipo de solo.

2.3.6 Solo Latossolo

Os latossolos são típicos de regiões tropicais e apresentam uma camada profunda e bem drenada. Eles são altamente intemperizados e pobres em nutrientes, necessitando de fertilização regular para a agricultura (SANTOS, H. G. et al., 2013). A alta permeabilidade e a baixa capacidade de retenção de nutrientes dos latossolos exigem uma calibração cuidadosa dos sensores de umidade para garantir medições precisas em ambientes agrícolas.

Compreender os diferentes tipos de solos e principalmente os solos predominantes no Brasil é crucial para a calibração e o desempenho preciso de sensores de umidade de solo. Cada tipo de solo possui características específicas que influenciam a capacidade de retenção de água, a fertilidade e a necessidade de manejo. Latossolos, argissolos, neossolos, cambissolos, planossolos e gleissolos representam a diversidade de solos no Brasil, cada um com suas particularidades que devem ser consideradas no desenvolvimento e aplicação de tecnologias agrícolas. O conhecimento detalhado desses solos permite a otimização dos sensores de umidade, garantindo medições mais precisas e contribuindo para práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis.

2.4 A importância da aferição da umidade do solo

A aferição da umidade do solo é um aspecto crucial para a gestão eficiente e sustentável da agricultura. A umidade do solo não só influencia diretamente o crescimento e a saúde das plantas, mas também afeta a fertilidade do solo, a eficiência na utilização da água e a produtividade geral das culturas.

2.4.1 Relação entre Umidade do Solo e Fertilidade

A Fertilidade do solo é a capacidade do mesmo de fornecer ao plantio, macronutrientes e micronutrientes que são nutrientes exigidos, respectivamente, em maior quantidade e em menor quantidade para o crescimento das plantas, no entanto, seguindo (MENDES, 2024), a presença de algum nutriente ou algum outro elemento químico não implica que sejam essenciais para o

crescimento do plantio, mas que podem ser benéficos. Para que algum elemento seja definido como essencial deve-se satisfazer alguns critérios de essencialidade (ARNON; STOUT, 1939):

- Em sua ausência a planta não consegue finalizar seu ciclo.
- Sua deficiência pode ser prevenida ou corrigida mediante de, apenas, seu fornecimento.
- Deve-se estar diretamente envolvido com a nutrição da planta, sendo que sua ação não pode decorrer de uma ação indireta.

Um exemplo clássico, apontado por (MENDES, 2024), que satisfaz esses critérios é o Mg.

Entretanto, levanta-se o questionamento de qual seria a relação da presença da água no solo com a fertilidade do mesmo, já que o H₂O não atende a todos os critérios de essencialidade listado acima?

É incontestável o fato de que as plantas necessitam de água (H₂O), absorvida pelas raízes, e de outras moléculas orgânicas, compostas por C, H, O, como o CO₂, absorvida via fotossíntese, para sobreviver.

A essencialidade destes elementos é comprovado pelo fato de que juntamente a eles são absorvidos os elementos essenciais e os benéficos que estão entre os macronutrientes (muitos classificados como essenciais pelo critério de essencialidade): Nitrogênio (N), Fósforo (P), Enxofre (S), Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg), e os micronutrientes: Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Boro (B), Molibdênio (Mo) e Cloro (Cl) (MENDES, 2024).

2.4.2 Economia de Água e Eficiência na Irrigação

A economia de água e a eficiência na irrigação são questões cruciais no contexto da agricultura moderna. Com a crescente demanda por alimentos e a pressão sobre os recursos hídricos, torna-se extremamente relativo buscar e adotar práticas que maximizem o uso eficiente da água. Métodos tradicionais de irrigação muitas vezes resultam em desperdício significativo, levando a uma utilização insustentável dos recursos disponíveis. Neste cenário, a tecnologia e estratégias inovadoras de gestão da água emergem como soluções essenciais para garantir a sustentabilidade agrícola, melhorar a produtividade e preservar os recursos naturais.

Plantações com sistema de irrigação apresentam ser mais produtivas do que as que não contam com este recurso e o avanço da tecnologia busca atender o objetivo de reduzir o esforço do trabalho humano aumentando ainda mais o poder de trabalho (PAULA et al., 2019). De acordo com (NOBRE; MOURA, 2023) citando (Nunes, 2016) “Utilizar a tecnologia a favor do agricultor pode proporcionar inúmeros benefícios, como facilitar o dia-a-dia do produtor, garantir o aumento da produtividade, reduzir custos com insumos e mão de obra, melhorando o processo produtivo como um todo.”

Para (HENRIQUES et al., 2021) entre as inúmeras tecnologias existentes, considerando a IoT (tema abordado no tópico 2.2.2), no ramo da agricultura sua aplicação pode auxiliar em

várias ações, como: Analisar o crescimento das diferentes culturas de produção, monitorar a produção e realizar a irrigação automática. Segundo (PENA, 2024) “Uma das formas de reduzir o gasto de água na agricultura é a adoção de métodos de irrigação voltados para isso, dos quais o mais conhecido é a irrigação por gotejamento”. Este método apresenta diversas vantagens, incluindo o controle rigoroso do fornecimento de água, além de que o sistema demanda pouca mão-de-obra e consome pouca energia (YARANUTRE, 2022).

3 Metodologia

No presente tópico, detalharemos o processo do desenvolvimento deste trabalho, desde a construção do sensor higrômetro artesanal para medir a umidade do solo até a coleta de dados para sua análise. A metodologia quantitativa exploratória foi adotada para aprofundarmos e compreendermos sobre o tema.

3.1 Classificação Metodológica

O determinismo, como definido por (CRESWELL, 2007), sugere que a análise das relações entre as variáveis é fundamental para responder às questões e hipóteses do trabalho; Essa perspectiva se caracteriza por uma abordagem quantitativa exploratória, buscando compreender e analisar os dados coletados com o objetivo de identificar padrões e relações entre variáveis.

A finalidade deste estudo também foi analisar a relação entre o peso e a resistência do sensor construído neste trabalho, para calcular a umidade do mesmo que irá refletir a umidade do ambiente em que ele estará inserido. Na análise dos dados coletados obtidos ao realizar a calibragem do sensor, foi observado que essas variáveis são grandezas inversamente proporcionais; ou seja, à medida que o peso aumenta, a resistência diminui, essa relação matemática tornou-se fundamental para elaborar o cálculo necessário para o funcionamento do sistema.

3.2 Método Experimental

Em um ambiente controlado, o pesquisador assume o comando sobre o próprio ambiente e, por exemplo, sobre variáveis de controle, que são, por definição de (CRESWELL, 2007), um tipo de variável independente que são mensuradas porque potencialmente influenciam uma variável dependente, que é uma variável, como seu nome diz, dependente das variáveis independentes, ou seja, é o resultado da influência das independentes. Ao ter esse total controle o pesquisador busca criar condições específicas para observar como uma dependente se comporta em diferentes cenários, isso permite a identificação das relações de causa e efeito entre as variáveis e, conseqüentemente, a formulação de conclusões.

Este cenário descrito é a definição do método de experimentação de acordo com (CAMPBELL; STANLEY, 2015), onde é citado que a experimentação é um método de pesquisa que permite ao investigador controlar e/ou manipular intencionalmente uma ou mais variáveis para observar os efeitos em uma ou mais variáveis.

3.2.1 Sistema de notação clássica fornecida por (CAMPBELL; STANLEY, 2015)

Para uma melhor representação de projetos experimentais (CAMPBELL; STANLEY, 2015) apresentam um sistema de notação clássica, constituído de um código uniforme e de uma apresentação gráfica, para resumir a maioria, se não todas, de suas características distintivas. Abaixo teremos os elementos deste sistema e suas explicações:

- **X**: Representa uma exposição de um grupo a uma variável ou um evento, cujos os efeitos devem ser mensurados.
- **O**: Representa uma observação ou mensuração registrada em um instrumento.
- **X's e O's**: Em uma determinada linha correspondem às mesmas pessoas específicas. X's e O's na mesma coluna ou posicionados verticalmente um em relação ao outro são simultâneos.
- A definição da esquerda para direita indica ordem temporal.
- **R**: Indica designação aleatória.
- **Linhas paralelas não separadas por traços**: Representam grupos de comparação equiparados por randomização.
- **Linhas paralelas separadas por uma linha tracejada**: Representam grupos de comparação não equiparados por randomização.

3.3 Técnicas e ferramentas de coleta de dados

A Observação sistemática, também conhecida como observação controlada, se configura como técnica metódica amparada pela possibilidade de utilização de instrumentos que visam a coleta de dados com precisão e confiabilidade.

Ao contrário da observação assistemática, também denominada de espontânea, onde o pesquisador observador registra eventos sem a utilização de meios técnicos, na sistemática, o pesquisador é um agente ativo na construção de ambientes controlados para responder a perguntas preestabelecidas, no entanto, não são ambientes com normas e procedimentos rígidos demais, pois devem ser adaptativos às características do objeto de estudo e às condições de pesquisa, para tal o pesquisador deve saber o que procura, reconhecer possíveis erros e eliminar influências sobre o que recolhe, de acordo com (MARCONI; LAKATOS, 2017). Segue algumas vantagens da observação sistemática:

- **Rapidez e praticidade na implementação**: Com a definição de uma estrutura e de quais instrumentos de coleta utilizados, possibilita que o processo de observação seja conduzido de forma eficiente e ordenada afim de economizar tempo e recursos.

- **Redução de possíveis vieses de seleção:** Com um protocolo controlado e a utilização de critérios objetivos para a coleta de dados, a probabilidade de influências subjetivas interferirem no resultado são menores, o que contribui para a confiabilidade dos dados.
- **Identificação de padrões e regularidades:** Com o registro de dados, o pesquisador consegue identificar tendências e padrões.

3.4 Etapas da pesquisa

Nesta seção, apresentamos o detalhamento do processo das etapas da pesquisa, dividindo em nove etapas sequenciais e seus prazos.

| Etapa | Descrição | Prazo |
|--------------|---|--------------|
| 1 | Levantamento bibliográfico | 2 semanas |
| 2 | Construção do sensor higrômetro artesanal | 4 semanas |
| 3 | Desenvolvimento do módulo de conexão entre o sensor e o ESP32 | 8 semanas |
| 4 | Calibragem do sensor para coleta e análise de dados | 4 semanas |
| 5 | Envio dos dados da aferição ao Thingsboard | 1 semana |
| 6 | Desenvolvimento de módulo de conversão de resistência para umidade no Thingsboard | 12 semanas |
| 7 | Criação de Dashboards para monitoramento no Thingsboard | 2 semanas |
| 8 | Desenvolvimento do módulo Bluetooth para o aplicativo mobile e para o ESP32 | 4 semanas |
| 9 | Desenvolvimento do protótipo do aplicativo mobile | 4 semanas |

Tabela 3.1: Descrição das etapas da pesquisa, incluindo seus prazos.

3.5 Execução do experimento

3.5.1 Equipamentos utilizados

Os equipamentos a serem listados foram essenciais para captura das variáveis de controle. Para mais detalhes sobre suas funções e como foram utilizados no processo, consulte o tópico 4.3.

1. **Sensor de gesso:** Detalhado no capítulo 4.1.

2. **Balança SF-400:** Utilizada para medir o peso do sensor.
3. **Microcontrolador ESP-32:** Utilizado para medir a resistência do sensor e controlar o motor de passo.
4. **Motor de passo:** Utilizado para movimentar o sensor para aferições em determinados intervalos.
5. **Sensor HX711:** Junto ao ESP-32, aumentou a precisão das aferições de peso do sensor.

3.5.2 Ambiente Controlado

Para a ocorrência do experimento da calibragem do sensor, detalhado no subtópico 4.3, foi utilizado uma sala fechada durante o horário noturno, sem interferências externas, como a luz solar direta ou outras variações, para evitar a variação de temperatura e a umidade do ar, afim de garantir um ambiente estável. No primeiro passo da calibração, o sensor é submergido na água em um recipiente de $\approx 16,5\text{cm}$ de diâmetro e $\approx 6,5\text{cm}$ de altura, com 1L de água. Utilizando a observação sistemática, descrita na seção 3.3, e o controle do ambiente durante toda a calibração permitiram uma obtenção de dados confiáveis.

3.5.3 Variáveis e Cenários executados

Tendo como base a definição do método experimental, descrito anteriormente na seção 3.2, em conjunto com a observação sistemática, que assegurou a integridade do experimento, pode-se assumir que no cenário controlado da calibração do sensor, a variação do peso e da resistência atuam como variáveis de controle que influenciam na umidade resultante, a variável dependente.

Para entender melhor como ocorreu o experimento foi montado um diagrama, de acordo com o sistema de notação clássica, detalhada no subtópico anterior 3.2.1, para ilustrar o procedimento de sujeito único de um projeto chamado projeto dentro do grupo que envolve a observação do comportamento de apenas uma única pessoa, no caso de um sensor, durante um período de tempo, de acordo com (CRESWELL, 2007); neste projeto foram calibrados um sensor por vez:

Sensor A

$$\begin{array}{ccc} R & X_1 & O_1 \\ & X_2 & O_2 \end{array}$$

Sensor B

$$\begin{array}{ccc} X_1 & O_1 \\ X_2 & O_2 \end{array}$$

- **R:** Designação aleatória.
- **X₁:** Exposição inicial do sensor à água parada por 10 minutos.
- **O₁:** Observação do maior peso e menor resistência após 10 minutos na água.

- X_2 : Medições da resistência e do peso do sensor em intervalos de 30 minutos até que o sensor esteja completamente seco.
- O_2 : Observações subsequentes de resistência e peso durante o processo de secagem.

Para concluir este tópico, é importante ressaltar que, a partir do cenário descritos, chegamos a equações que descrevem a relação entre as variáveis descritas, as tornando fundamentais para a calibração do sensor. Estas equações estão exemplificadas e detalhadas no capítulo 4.3.

4 Implementação

Para a concepção da solução, foram empregados componentes-chave, a saber: um sensor de umidade do solo construído com base em gesso e um gateway encarregado de coletar e disponibilizar os dados do sensor de maneira conveniente. No que tange ao gateway, foi deliberada a adoção de um dispositivo IoT de custo acessível, o ESP32, um *Microcontroller Unit*, ou unidade de microcontrolador (MCU) rico em recursos com Wi-Fi integrado e Conectividade Bluetooth para uma ampla gama de aplicações mesmo em localidades de acesso desafiador (ESPRESSIF, 2023). Este dispositivo capacita-se a transmitir informações pela rede ao servidor responsável pelo tratamento dos dados.

Para assegurar a modularidade do sistema, procedeu-se à divisão da implementação em dois gateways distintos: o gateway ESP32, incumbido exclusivamente da aquisição dos dados de resistência, encarregando-se de transmiti-los ao gateway servidor. Este último assume a responsabilidade pela aplicação da lógica necessária para a conversão dos valores de resistência provenientes do sensor em leituras de umidade. Cumpre ressaltar que o servidor selecionado para essa finalidade é o Thingboard, uma plataforma de código aberto especialmente escolhida devido à sua afinidade com o nosso contexto de uso, facilitando a conexão e monitoramento de dispositivos IoT de maneira prática e fornecendo soluções intuitivas através de painéis de controle.

4.1 Construção do Sensor de Umidade do Solo

O sensor é feito à base de gesso, utilizando uma proporção de 1/2 de gesso para água. A utilização do gesso foi escolhida por ter a propriedade de absorção e dispersão de água, o que permite que o sensor fique em sincronia com o solo. Como parte da construção do sensor, é necessário 2 parafusos e 2 porcas de aço. Para unir o parafuso ao gesso, foi utilizado um cano Policloreto de vinila (PVC) de diâmetro 3/4 como molde, conforme mostra a figura 4.2.

Figura 4.1: Molde de cano PVC.



Fonte: o autor(2023).

Figura 4.2: Componentes necessários para montar a parte interna no sensor.



Fonte: o autor(2023).

Para garantir a resistência entre os polos (parafusos), é necessário um espaçamento de 30mm. Para isso, foi utilizado um suporte feito de garrafa Polietileno tereftalato (PET) para centralizar os polos no centro do sensor, conforme mostra a figura 4.3.

Figura 4.3: Separador de polos.



Fonte: o autor(2023).

Após a montagem de todos os elementos, obtivemos o seguinte resultado, como mostra a figura 4.4:

Figura 4.4: Interna do sensor montado.



Fonte: o autor(2023).

O próximo passo é inserir a parte interna do sensor mostrada na figura 4.4 no interior da peça de cano PVC, como resultado teremos o sensor montado pronto para receber o gesso, tal como apresentado na figura 4.5.

Em seguida, é necessário preencher o interior do sensor com gesso, conforme ilustrado na figura 4.6, e aguardar até que o gesso esteja completamente seco. Após a secagem, o molde de cano deve ser removido, deixando apenas o sensor. A remoção do molde é crucial para que o sensor tenha contato direto com o solo, garantindo assim a eficácia necessária. A figura 4.7 mostra o resultado final após realizado os passos anteriores.

Figura 4.5: Sensor montado.



Fonte: o autor(2023).

Figura 4.6: Sensor montado, preenchido de gesso.



Fonte: o autor(2023).

Figura 4.7: Sensor de umidade pronto.



Fonte: o autor(2023).

4.2 Valores

Nesta seção, são apresentados os custos dos componentes utilizados no desenvolvimento do sistema, bem como uma comparação de preços entre o sensor desenvolvido e um sensor SMRT-Y comercialmente disponível no mercado. A Tabela 4.1 detalha o custo de cada item, incluindo

o sensor de umidade, o microcontrolador ESP32 e outros materiais empregados no projeto. Os preços foram obtidos através de consultas realizadas em diversas fontes, como Mercado Livre, Lutec Parafusos, AliExpress e Shopee, com datas de referência de 07/03/2024 e 11/08/2024.

| Item | Quantidade | Valor | Fonte da consulta | Data da consulta |
|--|-------------------------------|------------------|-------------------|------------------|
| Gesso | 25 gramas | R\$ 0,37 | Mercado Livre | 07/03/2024 |
| Parafuso Sextavado M4 X 50mm Inox com rosca completa | 2 unidades | R\$ 1,92 | Lutec Parafusos | 07/03/2024 |
| Porca de aço | 2 unidades | R\$ 0,52 | Mercado Livre | 07/03/2024 |
| Metro do Cano PVC 3/4 | 50mm | R\$ 0,16 | Mercado Livre | 07/03/2024 |
| Metro do Fio Fio Bicolor Paralelo 2x1.5mm | 1 metro | R\$ 1,19 | Mercado Livre | 11/08/2024 |
| | Custo do sensor | R\$ 4,16 | | |
| ESP32 | 1 unidade | R\$ 18,66 | AliExpress | 07/03/2024 |
| Caixa Hermética 25x20x8 | 1 unidade | R\$ 20,90 | Shopee | 11/08/2024 |
| Bateria 18650 com case | 1 unidade | R\$ 15,00 | AliExpress | 11/08/2024 |
| | Custo total do sistema | R\$ 58,72 | | |

Tabela 4.1: Valores dos componentes utilizados no sistema

O sensor de umidade do solo SMRT-Y, listado no site Aguar, custa R\$ 2.962,70 conforme pesquisa realizada em 12/08/2024. Este sensor oferece benefícios como alta precisão e robustez, sendo uma solução confiável para medições de umidade em ambientes agrícolas. No entanto, em termos de custo, o sensor desenvolvido em nosso projeto demonstra uma vantagem significativa. Com um custo total de R\$ 58,72, o sistema apresenta uma solução muito mais econômica, alinhada com o que foi discutido nos capítulos anteriores sobre a viabilidade e o custo-benefício do sistema desenvolvido. A diferença de preço reforça a eficiência do nosso projeto em termos de acessibilidade financeira, provando a eficácia e a sustentabilidade econômica da solução proposta.

4.3 Coleta de Dados

A coleta de dados desempenhou um papel central na condução desta pesquisa, pois foi nesse estágio que transformamos informações sobre a resistência do sensor em dados relevantes e aplicáveis ao nosso sistema. Para atingir esse objetivo, foi essencial desenvolver uma fórmula

capaz de converter a resistência do sensor em um valor percentual que representasse a umidade do solo.

Para isso do fato que o gesso possui a propriedade de absorção de água, realizamos várias aferições da resistência e peso do sensor. Para realizar esse procedimento foi necessário utilizar um balança, o modelo escolhido foi SF-400 que é capaz de fazer aferições de 1kg a 10kg, tivemos problemas para utilizar esse equipamento na aferição do peso do sensor, sendo que o sensor montado e completamente encharcado pesa aproximadamente 0,0426Kg, ou seja, as aferições de peso não são tão precisas pois a balança utilizada não tem a precisão necessária.

Para realizar a aferição da resistência foi utilizado um microcontrolador ESP-32 executando um script capaz de realizar a aferição da resistência do sensor.

Para iniciar o processo de aferição da resistência e umidade, realizamos os seguintes passos:

1. Mergulhar o sensor em água parada durante 10 minutos, para que seja possível computar o maior peso e menor resistência.
2. Realizar aferições durante intervalos de 30 minutos até que o sensor esteja completamente seco.
3. Persistir dados coletados em uma planilha.
4. Gerar função de conversão de resistência em umidade.

O mais viável para realizar as aferições seria deixar o sensor na balança continuamente e realizar as aferições de resistência e peso em intervalos menores, porém a balança de aferição do peso do sensor, utiliza a pesagem por deformação e ao deixa o sensor durante longo tempo em cima da balança a mesma ficaria viciada e geraria aferições de peso erradas, comprometendo o experimento. A solução utilizada foi realizar a pesagem de forma manual, colocando o gesso sobre a balança no intervalo de tempo definido. Porém esse tipo processo é demorado e sujeito a erros humanos. Se o operador esquecer de realizar uma aferição, o experimento pode ser comprometido. Para solucionar esse problema, foi desenvolvida uma automação que utiliza um motor de passos para levantar e baixar o sensor de peso a cada 2 horas. O motor de passos está conectado ao mesmo ESP que realiza a aferição do peso, o que reduz custos e garante que o experimento seja realizado corretamente.

A balança utilizada não permitia conexão direta com o microcontrolador ESP para que os dados de aferições fossem enviados diretamente, então optamos por utilizar o sensor HX711, que é capaz de realizar aferições com resolução de 24 bits, isso significa uma precisão de até 0,001 gramas, lembrando que a o equipamento utilizado não fornece tal especificação, então as aferições podem haver ruídos.

| # | Peso | Diferença | Resistência | Umidade |
|----|---------|-----------|-------------|---------|
| 1 | 0,04260 | 0,00500 | 492 | 100,00% |
| 2 | 0,04249 | 0,00489 | 566 | 97,80% |
| 3 | 0,04225 | 0,00465 | 616 | 93,00% |
| 4 | 0,04197 | 0,00437 | 648 | 87,40% |
| 5 | 0,04184 | 0,00424 | 683 | 84,80% |
| 6 | 0,04161 | 0,00401 | 719 | 80,20% |
| 7 | 0,04143 | 0,00383 | 768 | 76,60% |
| 8 | 0,04113 | 0,00353 | 826 | 70,60% |
| 9 | 0,04098 | 0,00338 | 925 | 67,60% |
| 10 | 0,04057 | 0,00297 | 1.031 | 59,40% |
| 11 | 0,04044 | 0,00284 | 1.160 | 56,80% |
| 12 | 0,04031 | 0,00271 | 1.322 | 54,20% |
| 13 | 0,04004 | 0,00244 | 1.514 | 48,80% |
| 14 | 0,04001 | 0,00241 | 1.717 | 48,20% |
| 15 | 0,03976 | 0,00216 | 1.989 | 43,20% |
| 16 | 0,03945 | 0,00185 | 2.366 | 37,00% |
| 17 | 0,03924 | 0,00164 | 2.825 | 32,80% |
| 18 | 0,03905 | 0,00145 | 3.524 | 29,00% |
| 19 | 0,03881 | 0,00121 | 4.553 | 24,20% |
| 20 | 0,03854 | 0,00094 | 5.998 | 18,80% |
| 21 | 0,03824 | 0,00064 | 7.931 | 12,80% |
| 22 | 0,03807 | 0,00047 | 10.543 | 9,40% |
| 23 | 0,03804 | 0,00044 | 13.979 | 8,80% |
| 24 | 0,03793 | 0,00033 | 18.349 | 6,60% |
| 25 | 0,03781 | 0,00021 | 24.150 | 4,20% |
| 26 | 0,03780 | 0,00020 | 32.091 | 4,00% |
| 27 | 0,03772 | 0,00012 | 43.891 | 2,40% |
| 28 | 0,03768 | 0,00008 | 61.583 | 1,60% |
| 29 | 0,03762 | 0,00002 | 91.813 | 0,40% |
| 30 | 0,03760 | 0,00000 | 103.245 | 0,00% |

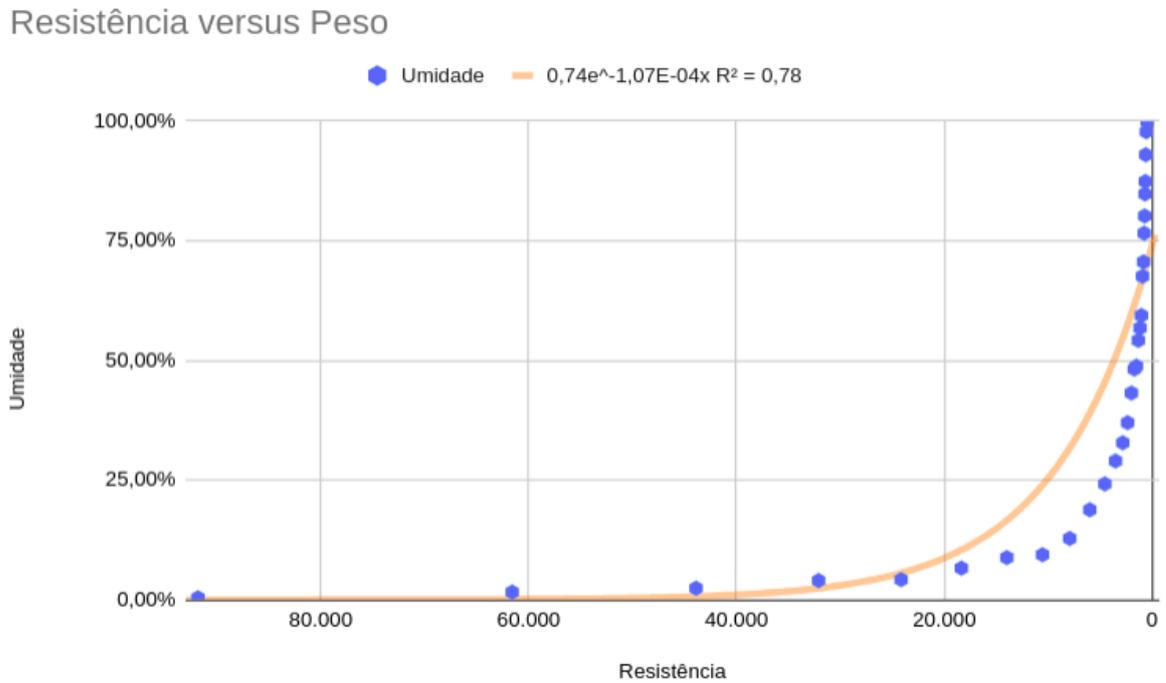
Tabela 4.2: Sensor 1 - Dados das aferições

| # | Peso | Diferença | Resistência | Umidade |
|----|---------|-----------|-------------|---------|
| 1 | 0,04151 | 0,00408 | 507 | 100,00% |
| 2 | 0,04135 | 0,00392 | 553 | 96,08% |
| 3 | 0,04131 | 0,00388 | 590 | 95,10% |
| 4 | 0,04124 | 0,00381 | 621 | 93,38% |
| 5 | 0,04122 | 0,00379 | 665 | 92,89% |
| 6 | 0,04108 | 0,00365 | 708 | 89,46% |
| 7 | 0,04074 | 0,00331 | 760 | 81,13% |
| 7 | 0,04075 | 0,00332 | 824 | 81,37% |
| 8 | 0,04053 | 0,00310 | 893 | 75,98% |
| 9 | 0,04032 | 0,00289 | 981 | 70,83% |
| 10 | 0,04009 | 0,00266 | 1070 | 65,20% |
| 11 | 0,03988 | 0,00245 | 1192 | 60,05% |
| 12 | 0,03985 | 0,00242 | 1338 | 59,31% |
| 13 | 0,03948 | 0,00205 | 1519 | 50,25% |
| 14 | 0,03927 | 0,00184 | 1737 | 45,10% |
| 15 | 0,03901 | 0,00158 | 2058 | 38,73% |
| 16 | 0,03892 | 0,00149 | 2472 | 36,52% |
| 17 | 0,03876 | 0,00133 | 2985 | 32,60% |
| 18 | 0,03846 | 0,00103 | 3682 | 25,25% |
| 19 | 0,03836 | 0,00093 | 4646 | 22,79% |
| 20 | 0,03808 | 0,00065 | 5861 | 15,93% |
| 21 | 0,03796 | 0,00053 | 7456 | 12,99% |
| 22 | 0,03782 | 0,00039 | 9460 | 9,56% |
| 23 | 0,03769 | 0,00026 | 15301 | 6,37% |
| 24 | 0,03767 | 0,00024 | 19509 | 5,88% |
| 25 | 0,03764 | 0,00021 | 25222 | 5,15% |
| 26 | 0,03760 | 0,00017 | 32006 | 4,17% |
| 27 | 0,03757 | 0,00014 | 40520 | 3,43% |
| 28 | 0,03754 | 0,00011 | 51005 | 2,70% |
| 29 | 0,03752 | 0,00009 | 63218 | 2,21% |
| 30 | 0,03751 | 0,00008 | 76742 | 1,96% |
| 31 | 0,03750 | 0,00007 | 90993 | 1,72% |
| 32 | 0,03743 | 0,00000 | 103245 | 0,00% |

Tabela 4.3: Sensor 2 - Dados das aferições

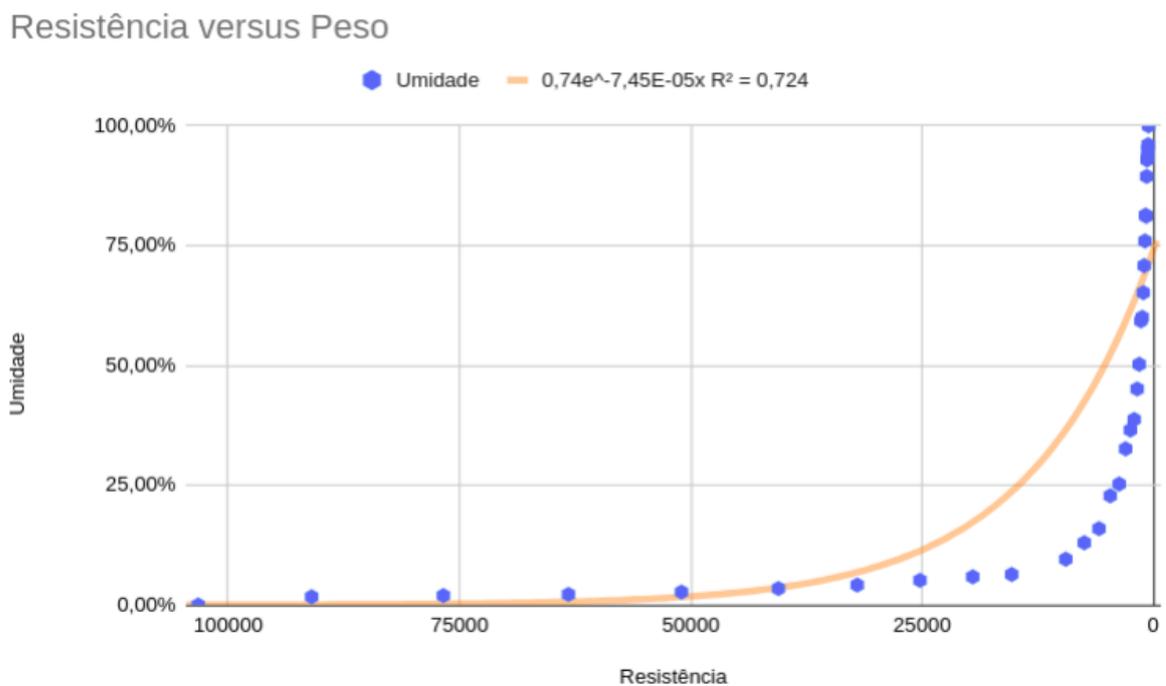
Através da comparação entre as aferições mostradas nas tabelas 4.2 e 4.3 , com o auxílio do Google planilhas conseguimos gerar um gráfico de dispersão para realizar a referência entre resistência, peso e umidade como mostram as figuras 4.8 e 4.9, que também nos dá uma equação exponencial que é capaz de transformar a resistência em umidade. Porém, a dispersão da equação para a umidade esperada é muito grande não sendo suficiente para converter com precisão a resistência em umidade.

Figura 4.8: Gráfico de dispersão, resistência versus peso do sensor 1.



Fonte: o autor(2023).

Figura 4.9: Gráfico de dispersão, resistência versus peso do sensor 2.

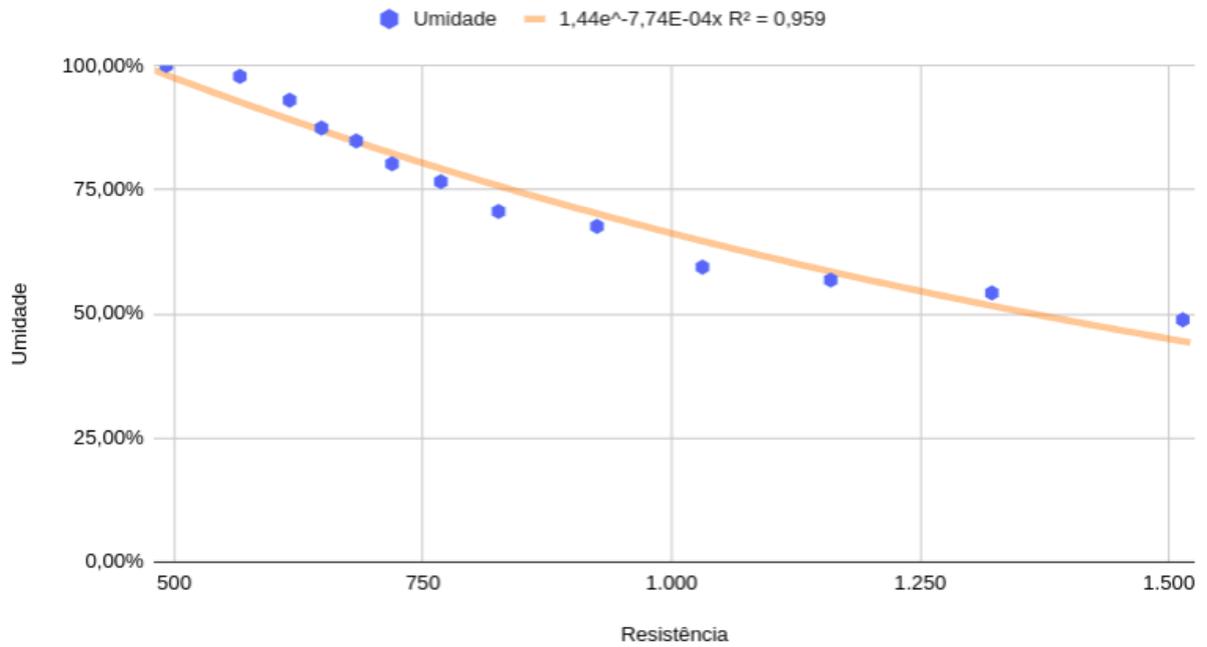


Fonte: o autor(2023).

Para solução do problema supracitado, dividimos os dados da tabela 4.2 em 3 intervalos de 10 aferições, proporcionando o resultados mostrados nas figuras a seguir:

Figura 4.10: Gráfico de dispersão resultante do primeiro particionamento dos dados.

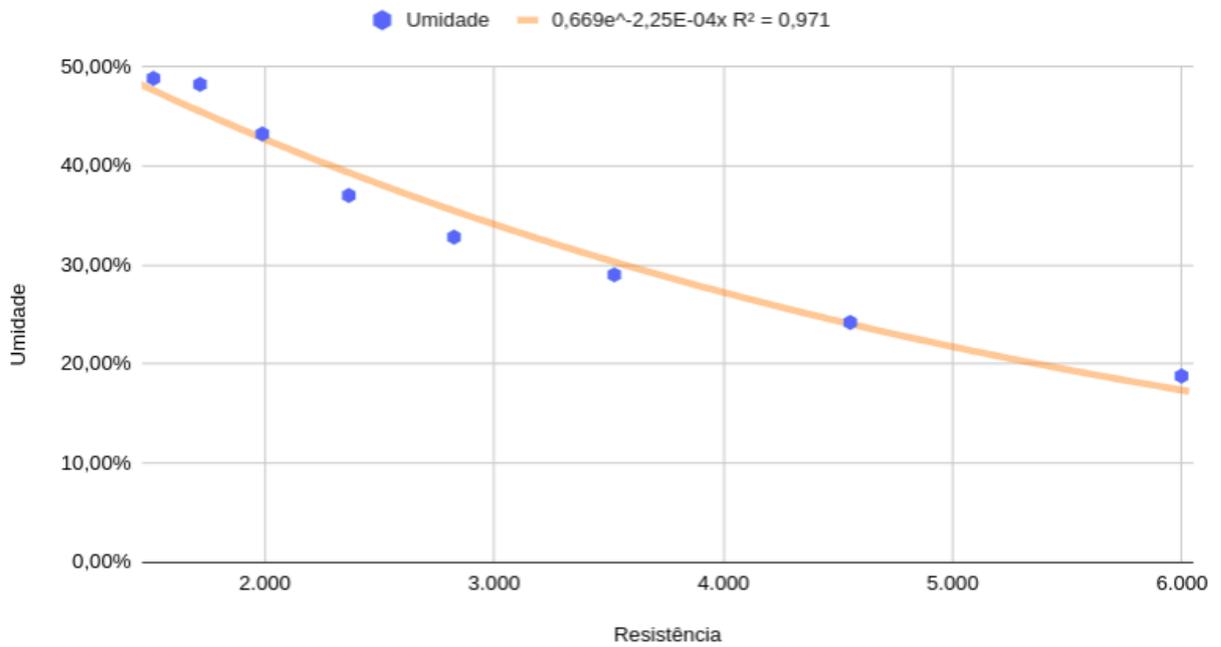
Resistência versus Peso



Fonte: o autor(2023).

Figura 4.11: Gráfico de dispersão resultante do segundo particionamento dos dados.

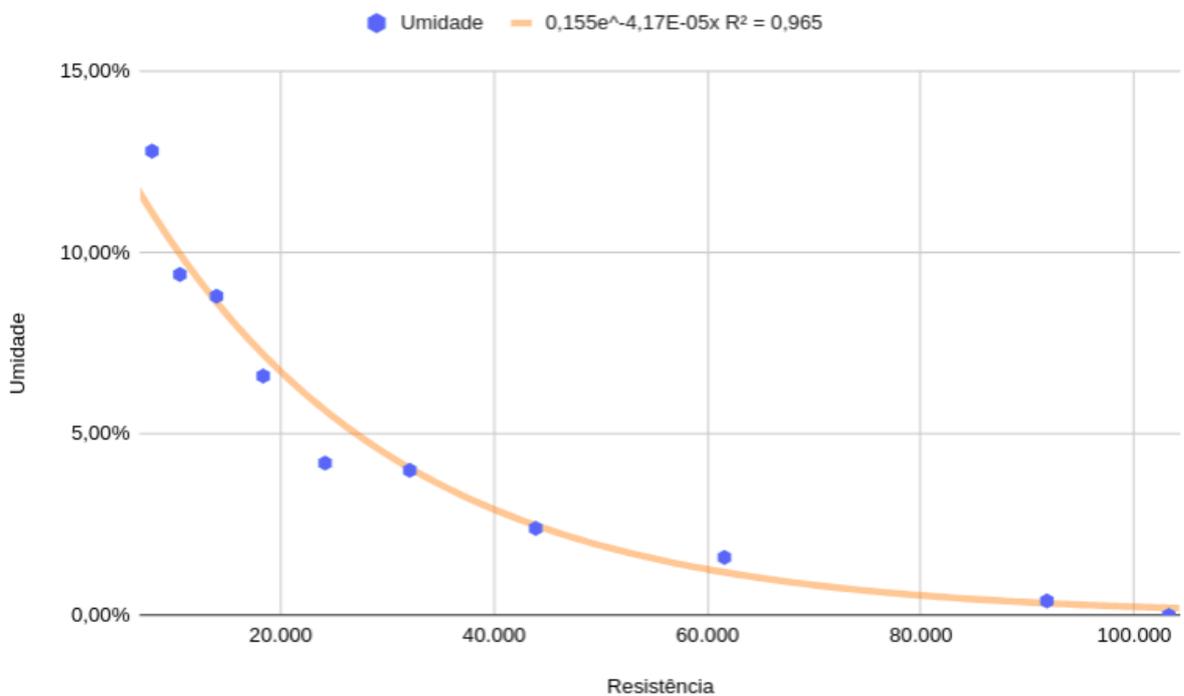
Resistência versus Peso



Fonte: o autor(2023).

Figura 4.12: Gráfico de dispersão resultante do terceiro particionamento dos dados.

Resistência versus Peso



Fonte: o autor(2023).

Conforme é mostrado nas figuras a cima e através da tava de erro mostrada na tabela da imagem 4.13, é possível observar que a discrepância dos dados após a separação por intervalos diminuiu consideravelmente em relação ao gráfico mostrado na figura 4.8.

Figura 4.13: Comparação entre abordagens da geração da equação de conversão de resistência em umidade.

| Resistência | Umidade extraída do sensor | Umidade com única equação | Umidade com 3 equações diferentes | Erro com única equação | Erro com 3 equações diferentes | |
|-------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------------|------------------------|--------------------------------|-------|
| 492 | 100,00% | 70,21% | | 98,40% | 29,79% | 1,60% |
| 566 | 97,80% | 69,65% | | 92,92% | 28,15% | 4,88% |
| 616 | 93,00% | 69,28% | | 89,39% | 23,72% | 3,61% |
| 648 | 87,40% | 69,04% | | 87,20% | 18,36% | 0,20% |
| 683 | 84,80% | 68,78% | | 84,87% | 16,02% | 0,07% |
| 719 | 80,20% | 68,52% | | 82,54% | 11,68% | 2,34% |
| 768 | 76,60% | 68,16% | | 79,47% | 8,44% | 2,87% |
| 826 | 70,60% | 67,74% | | 75,98% | 2,86% | 5,38% |
| 925 | 67,60% | 67,03% | | 70,38% | 0,57% | 2,78% |
| 1.031 | 59,40% | 66,27% | | 64,83% | 6,87% | 5,43% |
| 1.160 | 56,80% | 65,36% | | 58,67% | 8,56% | 1,87% |
| 1.322 | 54,20% | 64,24% | | 51,76% | 10,04% | 2,44% |
| 1.514 | 48,80% | 62,93% | | 47,59% | 14,13% | 1,21% |
| 1.717 | 48,20% | 61,58% | | 45,46% | 13,38% | 2,74% |
| 1.989 | 43,20% | 59,81% | | 42,76% | 16,61% | 0,44% |
| 2.366 | 37,00% | 57,45% | | 39,29% | 20,45% | 2,29% |
| 2.825 | 32,80% | 54,70% | | 35,43% | 21,90% | 2,63% |
| 3.524 | 29,00% | 50,75% | | 30,27% | 21,75% | 1,27% |
| 4.553 | 24,20% | 45,46% | | 24,02% | 21,26% | 0,18% |
| 5.998 | 18,80% | 38,95% | | 17,35% | 20,15% | 1,45% |
| 7.931 | 12,80% | 31,67% | | 11,14% | 18,87% | 1,66% |
| 10.543 | 9,40% | 23,95% | | 9,99% | 14,55% | 0,59% |
| 13.979 | 8,80% | 16,58% | | 8,65% | 7,78% | 0,15% |
| 18.349 | 6,60% | 10,39% | | 7,21% | 3,79% | 0,61% |
| 24.150 | 4,20% | 5,58% | | 5,66% | 1,38% | 1,46% |
| 32.091 | 4,00% | 2,39% | | 4,07% | 1,61% | 0,07% |
| 43.891 | 2,40% | 0,68% | | 2,49% | 1,72% | 0,09% |
| 61.583 | 1,60% | 0,10% | | 1,19% | 1,50% | 0,41% |
| 91.813 | 0,40% | 0,00% | | 0,34% | 0,40% | 0,06% |
| 103.245 | 0,00% | 0,00% | | 0,21% | 0,00% | 0,21% |

Fonte: o autor(2023).

As equações resultantes das figuras 4.10, 4.11 e 4.12 são respectivamente:

$$1,44e^{7,74E-04x}$$

$$0,669e^{2,25E-04x}$$

$$0,155e^{4,17E-04x}$$

Se por ventura utilizarmos o mesmo conjunto de equações para todos os sensores, é necessário garantir que todas as proporções no processo de criação do sensor foram as mesmas do sensor no qual a equação foi gerada, caso contrário, os dados entregue pelo sensor terão discrepâncias quanto ao estado atual do solo. Para facilitar a atualização da mudança de equação em caso de nova calibração, optamos por hospedar as equações de conversão diretamente no Thingsboard, os processo utilizado será melhor discorrido na seção 4.4.

Como observado nas figuras 4.10, 4.11 e 4.12, temos intervalos o qual cada equação abrange, para realizar esse calculo diretamente na plataforma, realizamos uma condicional para checar qual equação aplicar de acordo com o intervalo de resistência. Os intervalos registrados foram:

1. De 0 a 1500 ohms de resistência, utilizamos a primeira equação gerada pelo gráfico da figura 4.10;
2. Maior que 1500 e menor que 6000 ohms de resistência, utilizamos a segunda equação gerada pelo gráfico da figura 4.11;
3. Maior que 6000 ohms de resistência utilizamos a segunda equação gerada pelo gráfico da figura 4.12;

A figura 4.14 demonstra a implementação da função de conversão de resistência em umidade percentual seguindo as regras citadas anteriormente.

Figura 4.14: Função em linguagem JavaScript para conversão de resistência em umidade percentual.

```

11 function percentualUmidade(value) {
12
13   if (value >= 0 && value < 1500) {
14     return 1.44 * Math.exp(-7.74 * Math.pow(10, -4) *
15       value) * 100;
16   } else if (value >= 1500 && value < 6000) {
17     return 0.669 * Math.exp(-2.25 * Math.pow(10, -4) *
18       value) * 100;
19   } else {
20     return 0.155 * Math.exp(-4, 17 * Math.pow(10, -5) *
21       value) * 100;
22   }
23 }
24

```

Fonte: o autor(2023).

4.4 Plataforma de conexão

O Thingboard, desempenhou um papel essencial em nosso projeto, fornecendo uma solução poderosa para a visualização de dados e o processamento de informações críticas. Um dos componentes-chave do nosso sistema era a monitorização da umidade do solo, uma métrica vital para a eficiência na agricultura. O Thingboard não apenas nos permitiu coletar dados da resistência do sensor de umidade do solo, mas também aplicar uma "rule chain" para transformar esses dados em informações úteis e acionáveis.

Com essa rule chain, a resistência era convertida de maneira precisa em níveis de umidade, o que nos permitia exibir e monitorar de forma intuitiva o estado do solo em tempo real por meio de um dashboard interativo. Além disso, o fato de termos hospedado o Thingboard na AWS proporcionou escalabilidade e confiabilidade, garantindo que nossos dados fossem acessíveis e seguros em todos os momentos durante o projeto.

A comunicação entre o Thingboard e os dispositivos em nosso projeto foi estabelecida de maneira eficaz, garantindo uma troca de dados confiável e em tempo real. Para alcançar essa

conectividade sólida, utilizamos o protocolo *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT), que se mostrou especialmente adequado para a comunicação entre dispositivos IoT e a plataforma Thingboard. É crucial que tanto o computador no qual o Thingboard está hospedado quanto o ESP32 tenham acesso à internet para garantir a comunicação entre ambas as partes. O MQTT é conhecido por sua eficiência e baixo consumo de largura de banda, tornando-o uma escolha ideal para dispositivos com recursos limitados, como sensores de umidade do solo.

Os dispositivos IoT, neste caso, os sensores de umidade do solo, enviavam regularmente as leituras de resistência através do protocolo MQTT para o Thingboard. O Thingboard, por sua vez, estava configurado para receber e processar esses dados de forma eficiente, usando tópicos MQTT específicos. Essa comunicação bidirecional permitia que os dispositivos enviassem dados com facilidade e também recebessem comandos ou atualizações do Thingboard, tornando possível o controle remoto e a configuração dos sensores, se necessário.

4.5 Dispositivos

Para que os dados cheguem ao thingsboard é necessário preparar a plataforma adicionando um dispositivo no qual os dados que chegarem serão referenciados a este dispositivo, esse vínculo se dá por meio do token que faz parte da conexão com a plataforma.

A figura 4.15 mostra a área de dispositivos criados, quando clicamos para exibir os dados do dispositivo é possível visualizar os dados pertencentes a cada sensor como mostra a figura 4.16, ainda nessa tela conseguimos vê a ultima telemetria e quais os atributos que chegaram na plataforma, a figura 4.17 mostra os dados da última aferição.

Figura 4.15: Área de dispositivos criados na plataforma.

| <input type="checkbox"/> | Hora de criação ↓ | Nome | Device profile | Etiqueta | State | Cliente |
|--------------------------|---------------------|--|--------------------------|------------|----------|---------|
| <input type="checkbox"/> | 2023-08-24 10:14:21 | Aferidor Umidade de Solo - Caixa Dagua | Aferidor Umidade de Solo | afus_cd01 | Active | Public |
| <input type="checkbox"/> | 2023-08-23 12:01:05 | Estação Meteorológica - Defesa Civil Regional Nordeste | Estação Meteorológica | est_met_01 | Inactive | Public |
| <input type="checkbox"/> | 2023-08-22 10:42:36 | Est São Carlos | Estação Meteorológica | | Inactive | |
| <input type="checkbox"/> | 2023-08-07 00:23:30 | Est_Test | Estação Meteorológica | | Inactive | |

Fonte: o autor(2023).

Figura 4.16: Detalhes do dispositivo selecionado.

Aferidor Umidade de Solo - Caixa Dagua
Detalhes do dispositivo

Detalhes Atributos Última telemetria Alarmes Eventos Relações Logs de auditoria Version control

Open details page Tornar dispositivo privado Gerenciar credenciais Excluir dispositivo

Copiar ID de dispositivo Copiar token de acesso

O dispositivo é público

Nome*
Aferidor Umidade de Solo - Caixa Dagua

Device profile*
[Aferidor Umidade de Solo](#)

Etiqueta
afus_cd01

Assigned firmware
[afer_umid_solo_firm \(1.2.1\)](#)

Assigned software

É gateway

Descrição

Fonte: o autor(2023).

Figura 4.17: Última telemetria do sensor.

Aferidor Umidade de Solo - Caixa Dagua
Detalhes do dispositivo

Detalhes Atributos Última telemetria Alarmes Eventos Relações Logs de auditoria Version control

Última telemetria

| <input type="checkbox"/> | Horário da última atualiza | Chave ↑ | Valor |
|--------------------------|----------------------------|--------------------|---------------------|
| <input type="checkbox"/> | 2023-10-04 19:03:25 | battery | 100 |
| <input type="checkbox"/> | 2023-10-04 19:03:30 | battery_2 | 100 |
| <input type="checkbox"/> | 2023-10-04 19:03:35 | battery_raw | 2378 |
| <input type="checkbox"/> | 2023-10-04 19:03:40 | battery_voltage | 2074 |
| <input type="checkbox"/> | 2023-09-03 20:06:31 | current_fw_title | afer_umid_solo_firm |
| <input type="checkbox"/> | 2023-09-03 20:06:31 | current_fw_version | 1.2.1 |
| <input type="checkbox"/> | 2023-09-03 20:06:31 | fw_state | UPDATED |
| <input type="checkbox"/> | 2023-10-04 19:04:05 | resistance_1 | 513 |
| <input type="checkbox"/> | 2023-10-04 19:04:30 | resistance_2 | 611 |
| <input type="checkbox"/> | 2023-08-24 11:14:43 | resistance_4 | 712 |

Fonte: o autor(2023).

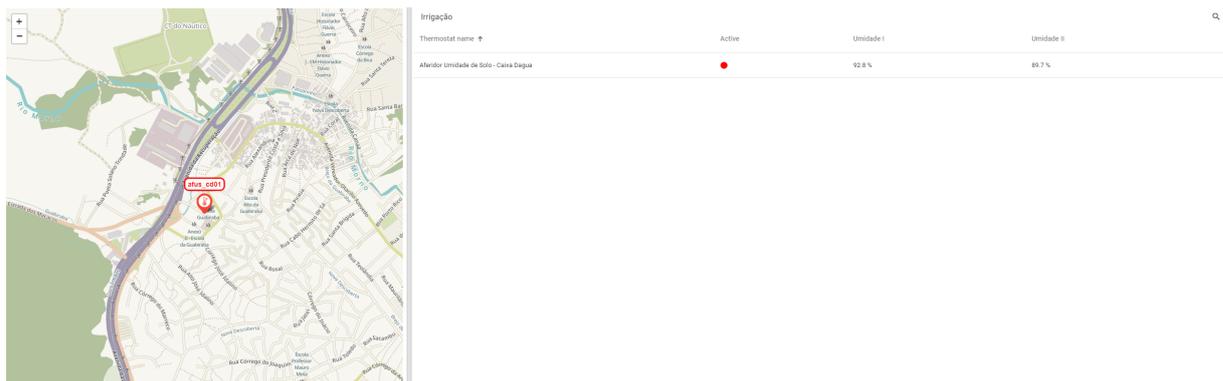
Após a coleta bem-sucedida de dados pelo sensor vinculado, foram desenvolvidos múltiplos painéis de controle (dashboards) com o objetivo de aprimorar a visualização dos dados e manter um histórico detalhado das medições, conforme detalhado na seção 4.6 deste trabalho.

4.6 Dashboards para monitoramento

A criação de dashboards foi importante para a tradução de dados complexos em informações acessíveis e facilmente interpretáveis. Por meio da plataforma Thingboard, desenvolvemos e personalizamos painéis de controle específicos para monitorar o estado da umidade do solo em tempo real. Estes dashboards proporcionaram uma representação gráfica e intuitiva das informações coletadas pelos sensores, fornecendo aos operadores e agricultores uma visão completa e instantânea das condições do solo em nossas áreas de cultivo. Nesta seção, examinaremos minuciosamente o processo de criação e configuração desses dashboards, destacando seu papel fundamental na tomada de decisões informadas e no gerenciamento eficiente de nossos recursos agrícolas.

Como o nosso objetivo é implantar vários sensores, criando um dashboard inicial capaz de exibir uma lista de sensores e sua localização geográfica para melhor visualização. A figura 4.18 mostra como ficou o dashboard:

Figura 4.18: Dashboard para gerenciamento de dispositivos ativos.



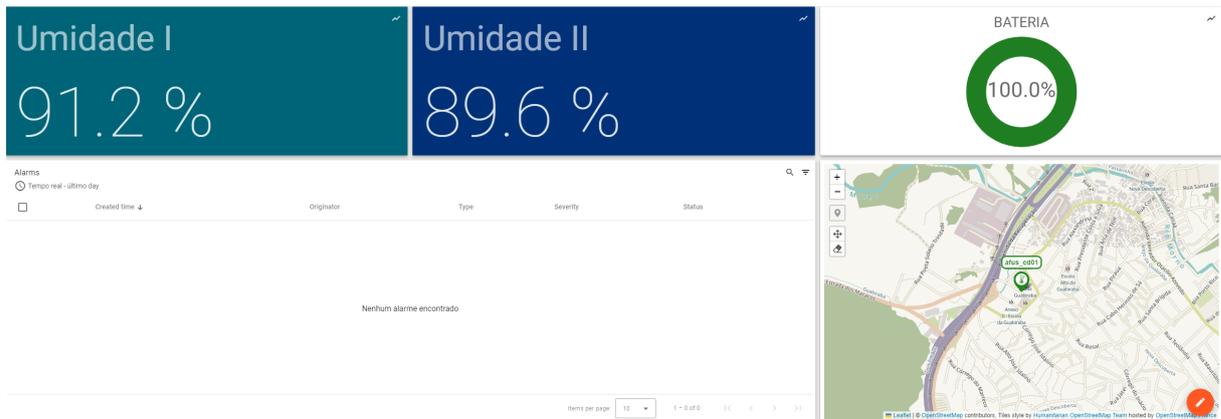
Fonte: o autor(2023).

Além de visualizar todos os dispositivos conectados de forma geral, foi importante adicionar uma visão detalhada da umidade e histórico disponível para cada sensor.

Na figura 4.19 o dashboard é constituído por widgets referentes a umidade do sensor, a porcentagem da bateria em percentual, localização geográfica, e os alarms vinculados a cada sensor.

Os alarms são recursos que permitem definir condições de monitoramento em tempo real para os dispositivos e sensores conectados à plataforma. Essas condições podem ser configuradas para disparar ações específicas quando determinados eventos ou estados ocorrem. No nosso caso pode se aplicar quando a umidade do sensor vai para baixo dos 30%, enviado uma mensagem via sms ou e-mail para o contato designado informando que a margem da regra configurada foi acionada.

Figura 4.19: Dashboard do gateway dos sensores selecionado.



Fonte: o autor(2023).

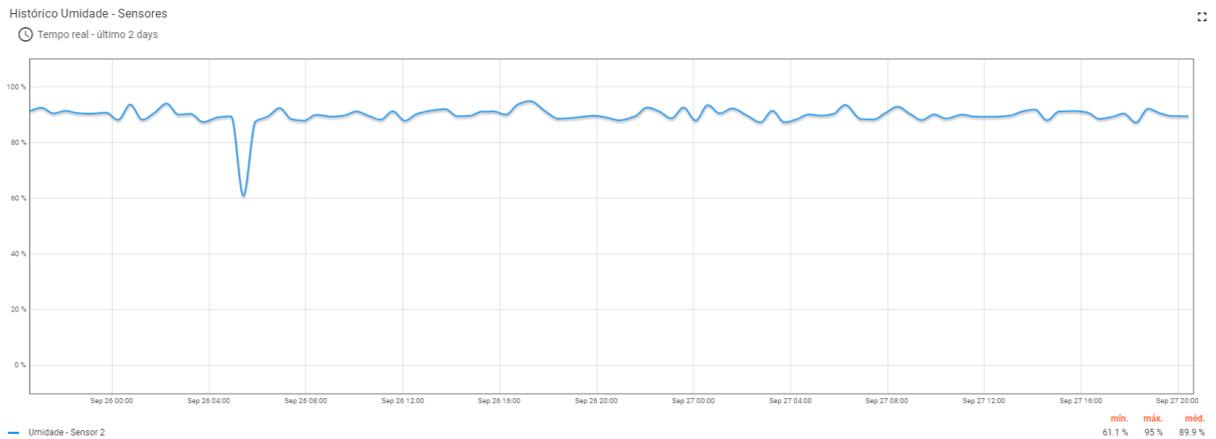
Todos os dados recebidos pelo thinsboard ficam armazenados para possa ser consultado como forma de histórico e computar em análises posteriores com calcular media, mediana e servir para exportar como base de para um possível modelo de inteligência artificial, a figura 4.20 mostra o em forma de tabela histórico da umidade do sensor 2. Também é possível transformar esses dados em gráfico para melhor análise e tomada de decisões, como mostra a figura 4.21.

Figura 4.20: Dashboard exibindo o histórico das aferições da umidade por timestamp em forma de tabela.

| Timestamp | umidade2 |
|---------------------|----------|
| 2023-09-27 20:20:08 | 89.60 % |
| 2023-09-27 19:49:38 | 89.67 % |
| 2023-09-27 19:18:30 | 90.65 % |
| 2023-09-27 18:47:21 | 92.27 % |
| 2023-09-27 18:16:12 | 87.34 % |
| 2023-09-27 17:45:04 | 90.51 % |
| 2023-09-27 17:13:57 | 89.32 % |
| 2023-09-27 16:42:50 | 88.63 % |
| 2023-09-27 16:11:45 | 90.93 % |
| 2023-09-27 15:40:38 | 91.42 % |
| 2023-09-27 15:09:32 | 91.28 % |
| 2023-09-27 14:38:25 | 88.16 % |
| 2023-09-27 14:07:18 | 91.99 % |
| 2023-09-27 13:36:08 | 91.35 % |
| 2023-09-27 13:04:59 | 89.88 % |
| 2023-09-27 12:33:49 | 89.46 % |
| 2023-09-27 12:02:39 | 89.39 % |
| 2023-09-27 11:31:30 | 89.46 % |
| 2023-09-27 11:00:22 | 90.16 % |
| 2023-09-27 10:29:09 | 88.77 % |

Fonte: o autor(2023).

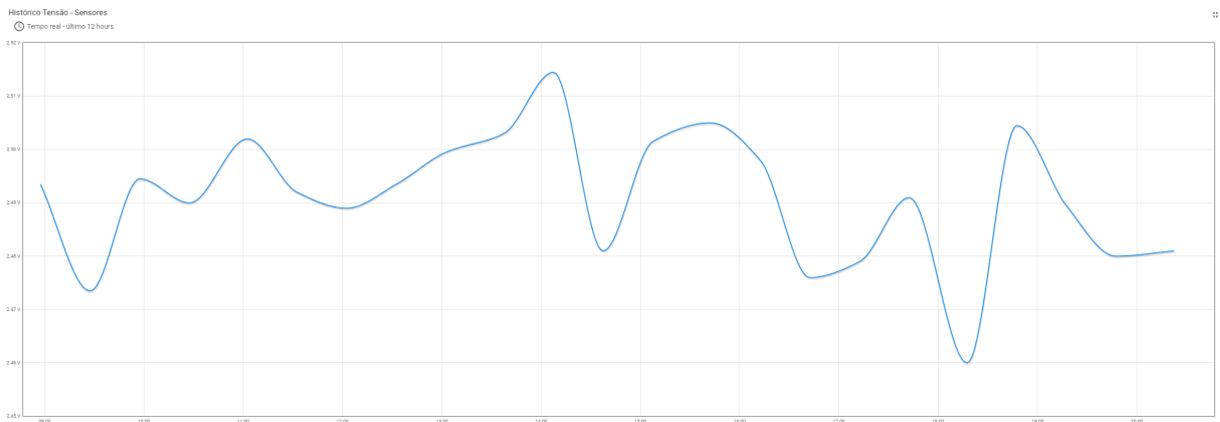
Figura 4.21: Dashboard exibindo o histórico das aferições da umidade por timestamp em forma de gráfico.



Fonte: o autor(2023).

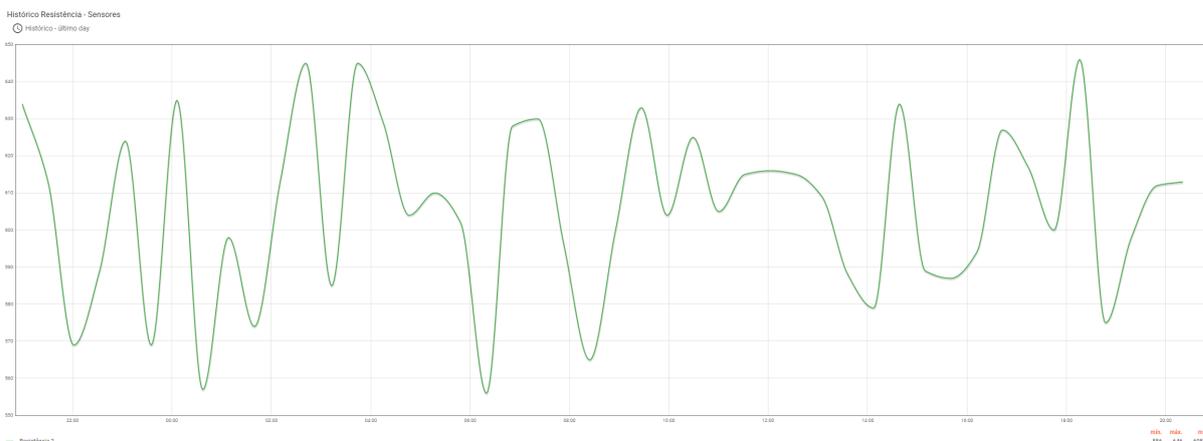
Como o dado que chega na plataforma é resistência e tensão, é possível criar um gráfico de variação de ambas as medidas de forma cronológica como mostram as figuras 4.22 e 4.23 respectivamente.

Figura 4.22: Dashboard exibindo o histórico da tensão do sensor.



Fonte: o autor(2023).

Figura 4.23: Dashboard exibindo o histórico da resistência do sensor.



Fonte: o autor(2023).

4.7 Aplicativo móvel

A conectividade dos domicílios é maior na área urbana, sendo 82% das residências com internet. Já na zona rural, a inclusão digital chegou a 68% dos domicílios (COMUNICAÇÕES, 2023). Pensando nesse problema desenvolvemos um aplicativo móvel android para que o agricultor consiga implantar parte local na qual não necessita da plataforma thingsboard para conseguir visualizar a umidade do seu cultivo. Em locais onde a internet é inacessível, é importante que o sistema de aferição seja projetado para funcionar offline. O core do sistema será independente da conexão com a internet.

Este aplicativo foi desenvolvido utilizando Android nativo com Kotlin, uma linguagem de programação moderna e concisa que oferece uma série de benefícios, incluindo produtividade, segurança, desempenho e compatibilidade. Além disso, a escolha do desenvolvimento nativo também proporcionou um ganho de tempo significativo, uma vez que os membros da equipe já possuíam conhecimento prévio nessas tecnologias, o que permitiu um desenvolvimento mais rápido e eficiente.

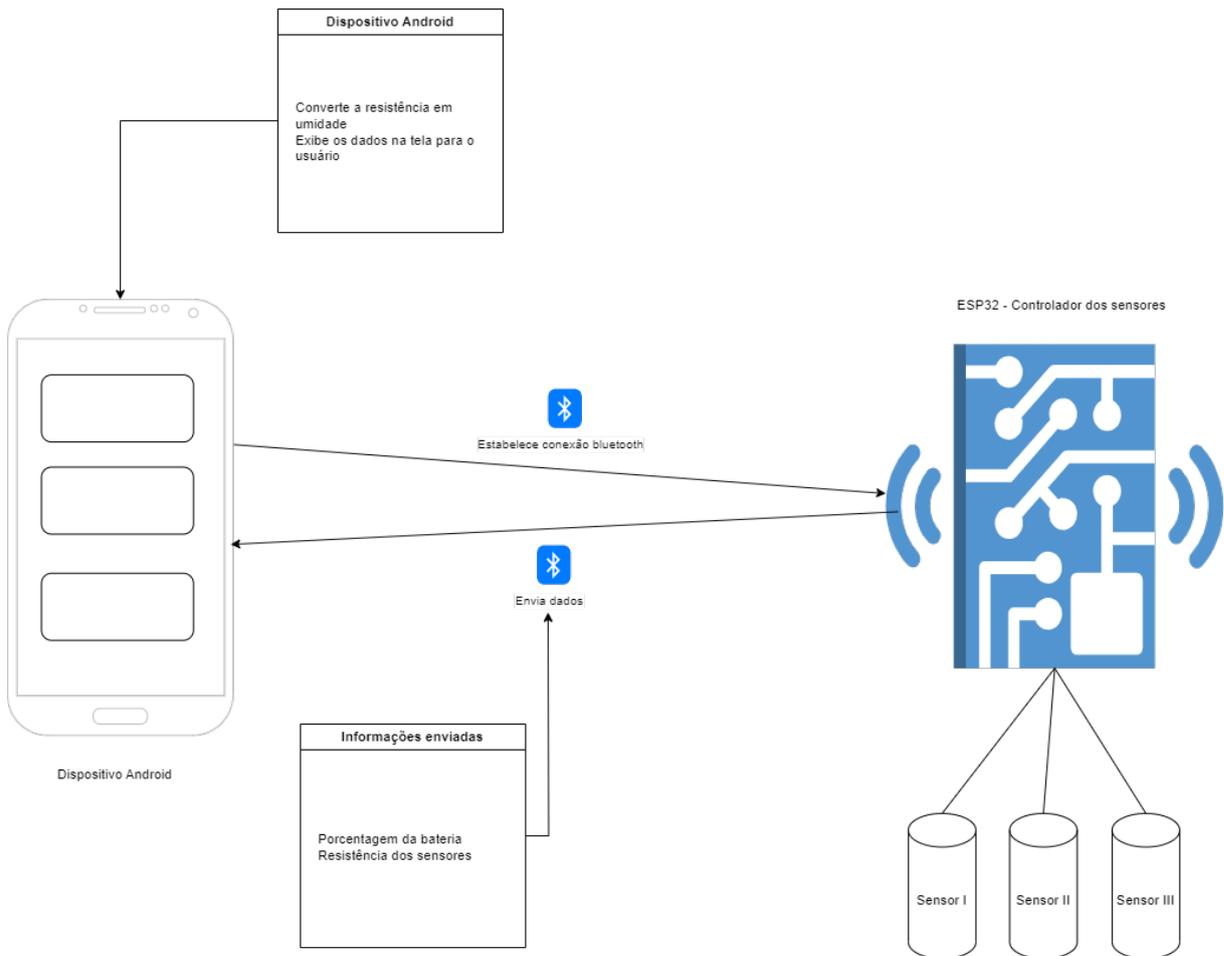
No desenvolvimento do aplicativo, foi utilizada a arquitetura MVVM, que separa a lógica da Interface do Usuário (UI) da lógica de negócios. Essa separação de responsabilidades facilita o desenvolvimento, teste e manutenção dos aplicativos. No caso deste projeto, a escolha da arquitetura MVVM foi especialmente vantajosa, pois permitiu um desenvolvimento mais eficiente, modular e testável. Além disso, o conhecimento prévio dos membros da equipe nessa tecnologia contribuiu para um processo de desenvolvimento mais rápido.

Para a realização dos testes do aplicativo desenvolvido, foi utilizado um dispositivo Motorola Moto G32, executando o sistema operacional Android 13. É importante destacar que, para a execução do aplicativo, é necessário um celular Android com versão 7.0 ou superior, que possua conexão Bluetooth para a comunicação com o aferidor ESP32. Toda a comunicação entre o aplicativo e o dispositivo de medição é feita via Bluetooth, eliminando a necessidade de acesso

à internet para utilizar o app. Essa especificação garante que o aplicativo funcione corretamente e permita o monitoramento preciso dos dados de umidade.

Para que o sistema de aferição de umidade fosse independente de internet para funcionar, utilizamos o bluetooth para realizar a comunicação entre o aferidor ESP32 e o aparelho do usuário, a imagem 4.24 demonstra o funcionamento da conexão.

Figura 4.24: Diagrama de conexão bluetooth entre ESP32 e dispositivo android.

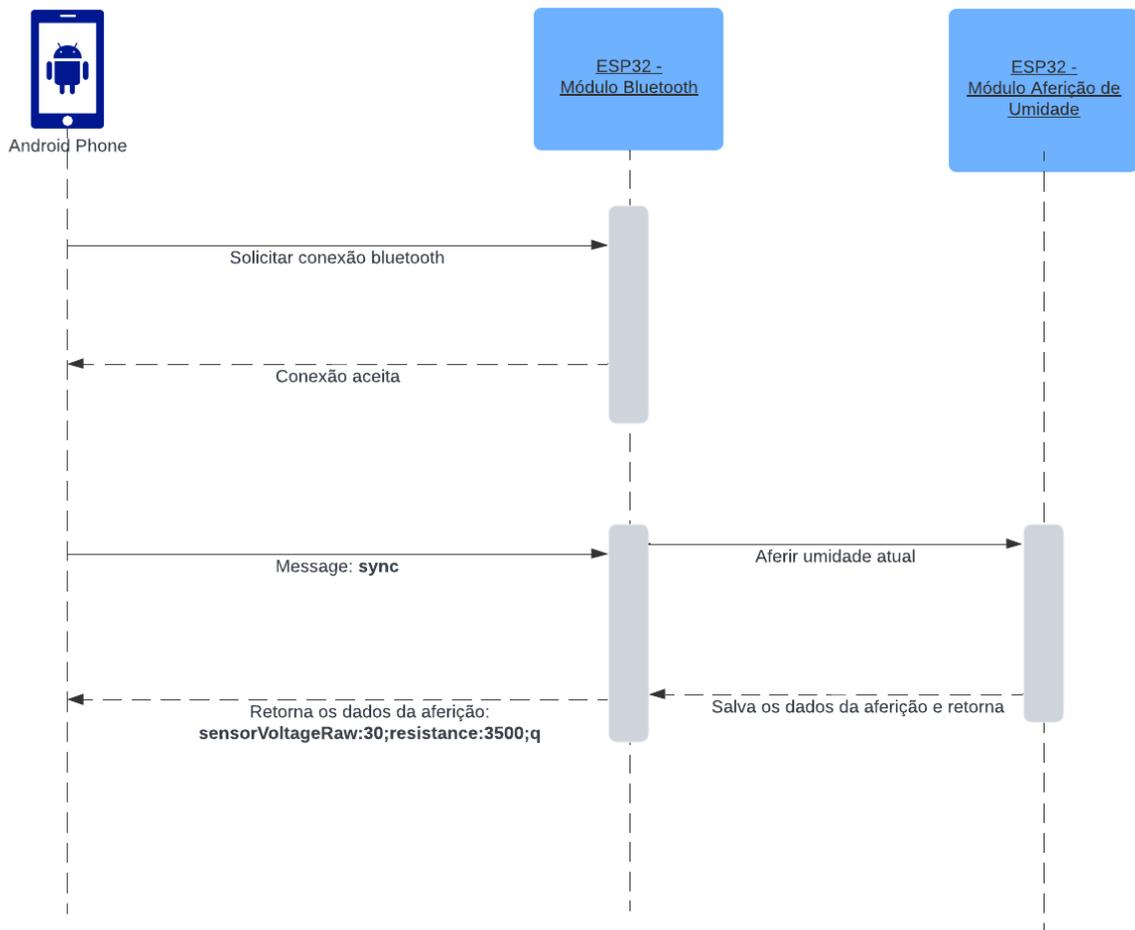


Fonte: o autor(2023).

Para realizar a comunicação exemplificada na imagem 4.24, foi utilizados módulos bluetooth nativos em ambos os dispositivos. No android utilizamos a biblioteca BluetoothSocket (DEVELOPERS, 2023b) e no ESP32 BluetoothSerial (DEVELOPERS, 2023a).

Como a comunicação serial entre os dois dispositivos não tem um protocolo específico criamos um protocolo para haja comunicação compreensível entre ambos. A comunicação sempre é iniciada do lado do dispositivo móvel, enviando uma mensagem em string com o conteúdo "sync", quando esse sinal é recebido pelo ESP32, o mesmo envia uma mensagem contendo as últimas aferições, a imagem 4.25 mostra o protocolo de comunicação entre o dispositivo android e o ESP32.

Figura 4.25: Protocolo de comunicação entre o ESP e o Dispositivo.



Fonte: o autor(2023).

Após a conexão bem sucedida com sensor, o dispositivo android enviar uma mensagem com o conteúdo sync, que faz com que o módulo de aferição de resistência compute a resistência e a voltagem da bateria e envie de volta para o dispositivo.

4.7.1 Protótipo da Aplicação Móvel Funcional

Nesta seção, apresentamos o protótipo funcional do aplicativo desenvolvido para este trabalho. O objetivo do protótipo é demonstrar a viabilidade da proposta e testar as funcionalidades do aplicativo com usuários reais.

O protótipo possui as seguintes funcionalidades:

1. Conexão com dispositivo bluetooth
2. Comunicação e cálculo da umidade do solo
3. Exibir informações sobre umidade percentual do cultivo em um dashboard

4. Exibir informações sobre o percentual de bateria do dispositivo em um dashboard

Ao desenvolver um aplicativo móvel, é crucial incluir um pequeno tutorial explicativo sobre a finalidade da aplicação. Isso proporciona orientação aos usuários, especialmente aqueles que são novatos, ajudando-os a se familiarizarem com a navegação e funcionalidades do aplicativo desde o início. Além disso, o tutorial desperta o interesse dos usuários ao apresentar os recursos mais relevantes e úteis, aumentando a probabilidade de eles explorarem mais profundamente o aplicativo. Reduzir a curva de aprendizado é essencial para melhorar a satisfação do usuário e evitar frustrações. Ao comunicar claramente a finalidade e o valor do aplicativo, o tutorial ajuda os usuários a entenderem por que devem utilizá-lo e como podem se beneficiar. Essa abordagem também aumenta a probabilidade de retenção de usuários, pois eles se sentirão mais confortáveis e confiantes em continuar usando o aplicativo. As telas de onboarding, exemplificadas na figura 4.26, desempenham um papel crucial ao oferecer uma introdução concisa e motivadora para incentivar os usuários a explorarem e utilizarem o aplicativo.

A figura 4.27 apresenta diálogos de erro e aviso essenciais no aplicativo. Considerando a necessidade de conexão Bluetooth para o funcionamento do app, é crucial informar ao usuário quando o seu Bluetooth está desligado e solicitar a ativação para continuar. Esse aviso é realizado por meio do diálogo de Bluetooth desligado. Além disso, na mesma figura 4.27, encontra-se o diálogo de erro de conexão, exibido quando não é possível estabelecer a conexão com o dispositivo. Essa mensagem permite que o usuário tome decisões assertivas, como verificar se o sensor está ligado ou confirmar se o dispositivo selecionado corresponde ao sensor de umidade do solo. Esses diálogos são fundamentais para garantir uma experiência de usuário fluida e eficaz.

De maneira intuitiva, ao entrar pela primeira vez no aplicativo, o usuário é inicialmente guiado pelas telas de onboarding, conforme exemplificado na figura 4.26. Em seguida, uma mensagem é exibida informando que nenhum dispositivo está conectado, o que permite que o usuário adicione um novo dispositivo para realizar as medições, como ilustrado na figura 4.28. Essa abordagem facilita a compreensão do fluxo de uso do aplicativo, garantindo uma experiência inicial satisfatória ao usuário.

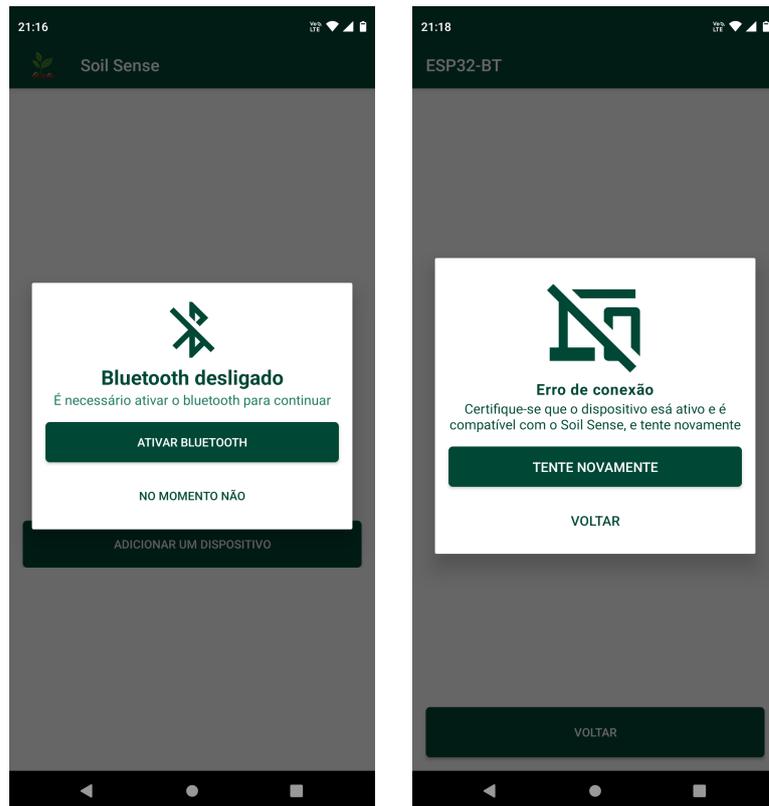
A figura 4.29 apresenta todos os dispositivos Bluetooth pareados ao smartphone, proporcionando ao usuário uma maneira fácil de encontrar o dispositivo desejado para conexão com o aplicativo, que neste caso é o ESP32-BT. Após a conexão bem-sucedida, o dashboard é exibido, mostrando as aferições recebidas do sensor, conforme ilustrado na figura 4.30. Quando o usuário retorna para a tela principal, a última aferição realizada é exibida de forma mais prática, como demonstrado na figura 4.31. Essa sequência de interações oferece uma experiência coesa e intuitiva, permitindo ao usuário acompanhar facilmente as aferições do sensor.

Figura 4.26: Páginas de Onboarding.



Fonte: o autor(2023).

Figura 4.27: Diálogos de erro e aviso.



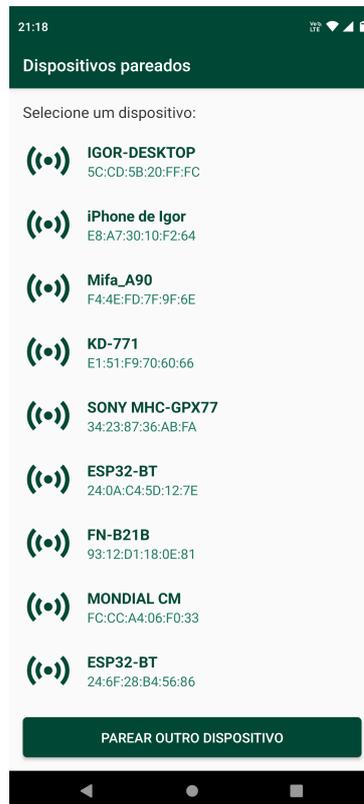
Fonte: o autor(2023).

Figura 4.28: Página principal sem nenhum dispositivo conectado.



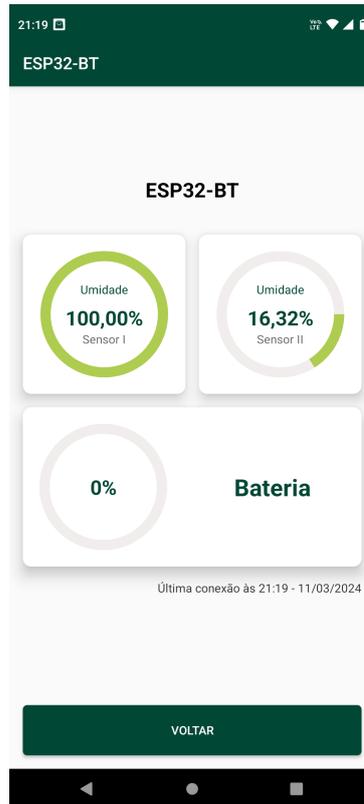
Fonte: o autor(2023).

Figura 4.29: Página dispositivos pareados ao bluetooth.



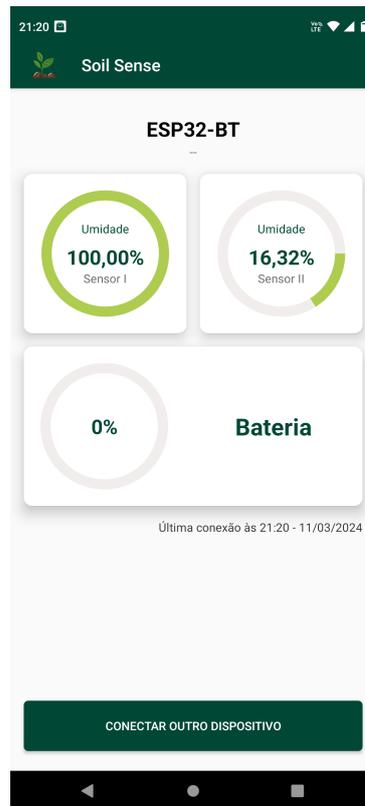
Fonte: o autor(2023).

Figura 4.30: Dashboard de visualização de umidade e bateria do dispositivo conectado.



Fonte: o autor(2023).

Figura 4.31: Página principal com a aferição da última sincronização.



Fonte: o autor(2023).

5 Resultados

Como resultado da criação deste sensor, agora é possível aferir a umidade do solo em áreas de cultivo de produtores rurais de forma acessível. Além disso, graças ao módulo Bluetooth integrado, os entusiastas de jardinagem doméstica podem monitorar suas plantas através de seus celulares, visualizando os dados de forma intuitiva em um aplicativo móvel, conforme ilustrado na Figura 4.30.

Um caso de sucesso da aplicação desse sistema é a sua implementação para previsão de umidade em regiões de risco, como aquelas propensas a desmoronamentos, como o bairro da Caixa d'Água, no Recife. Utilizando os dashboards, como exemplificado na figura 4.19, é possível acompanhar em tempo real a umidade do solo via ThingsBoard, que também oferece um histórico das medições realizadas em intervalos regulares, como mostrado na Figura 4.20. As imagens a seguir detalham a implantação do sensor na localidade citada a cima:

Figura 5.1: Implantação do sensor.



Fonte: o autor(2023).

A figura 5.1 ilustra a implantação do sensor no solo. Este foi instalado em conjunto com uma estação meteorológica desenvolvida por outros alunos no IFPE campus Belo Jardim.

6 Conclusões

Neste trabalho de conclusão de curso, foram discutidas as etapas de desenvolvimento e aplicação de um sistema de monitoramento de umidade do solo.

6.1 Contribuições

Nosso sistema de aferição de umidade do solo foi implantado em uma área de risco localizada na cidade do Recife, mais especificamente no bairro da Caixa d'Água. O objetivo principal é medir a umidade do solo e disponibilizar esses dados para análise por especialistas, com a finalidade de prever situações de desmoronamento antes que ocorram. As imagens apresentadas na seção 4.6 foram capturadas do painel de monitoramento dessa região específica.

6.2 Limitações da pesquisa

Estamos empregando produtos de baixo custo, o que afeta diretamente o custo-benefício dos materiais utilizados, como é o caso do controlador de sensores ESP32. O microcontrolador mencionado apresenta restrições significativas de espaço de memória disponível para o armazenamento do código. Essa limitação foi particularmente evidente quando houve a necessidade de integrar o módulo Bluetooth com o módulo de aferição e envio de dados para uma plataforma remota. A compilação do código resultou em um tamanho que excedeu os limites impostos pela capacidade de memória do ESP32. Para contornar esse problema, adotamos uma solução dividindo o código em duas partes distintas: uma dedicada à funcionalidade de aferição e comunicação via Bluetooth, e outra voltada para a aferição e transmissão de dados via Wi-Fi. Apesar dessas limitações, o impacto no projeto foi contido. O verdadeiro desafio foi a falta de tempo para testar outros microcontroladores e desenvolver versões de código compatíveis.

6.3 Trabalhos Futuros

Para aprimorar o sistema de monitoramento de umidade do solo de baixo custo, várias melhorias podem ser implementadas. Em primeiro lugar, a inclusão de um módulo de irrigação inteligente permitiria a ativação automática do processo de irrigação com base nos dados de umidade coletados pelo sensor, controlado por meio do ThingsBoard. Além disso, a otimização do código-fonte do controlador dos sensores para consolidar todos os módulos em uma única implementação seria benéfica por diversos motivos. Primeiramente, ao unificar os diferentes

módulos do sistema em um único código, simplifica-se significativamente o processo de desenvolvimento, manutenção e atualização do software. Isso reduz a complexidade do projeto, facilita a detecção e correção de erros, e torna o sistema mais robusto e confiável. Além disso, a redução do número de códigos independentes diminui o consumo de recursos computacionais, como memória e processamento, o que pode ser crucial em sistemas embarcados com recursos limitados, como é o caso do sistema de monitoramento de umidade do solo. Por fim, a consolidação dos módulos em uma única implementação simplifica a integração com outros sistemas e permite uma melhor escalabilidade do projeto, tornando-o mais flexível para futuras expansões ou adaptações às necessidades dos usuários.

Ademais, a análise de dados emerge como uma etapa fundamental nesse contexto. A coleta e armazenamento das aferições dos sensores ao longo do tempo proporcionariam uma base de dados robusta e histórica. Esses dados históricos poderiam ser utilizados para realizar análises estatísticas e tendências, permitindo identificar padrões de comportamento do solo em diferentes condições ambientais e períodos sazonais. Com base nessas análises, seria possível prever variações futuras na umidade do solo e antecipar necessidades de irrigação, otimizando assim o uso da água e aumentando a eficiência do sistema. Além disso, a análise dos dados coletados poderia revelar insights valiosos sobre o comportamento das plantas em relação à umidade do solo, ajudando os agricultores a tomar decisões mais informadas sobre o manejo de suas plantações e contribuindo para uma agricultura mais sustentável e produtiva.

Referências Bibliográficas

- ALVES, José Eustáquio Diniz. **Crescimento populacional e Desenvolvimento Econômico**. [S.l.: s.n.], fev. 2010. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2010/02/02/crescimento-populacional-e-desenvolvimento-economico-artigo-jose-eustaquio-diniz-alves>. Acesso em: 11 abr. 2024.
- ARNON, D. I.; STOUT, P. R. **The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper**. *Plant Physiology*, Washington, v. 14, p. 371–375, 1939. Acesso em: 18 jun. 2024.
- BRADY, Nyle C.; WEIL, Ray R. **The Nature and Properties of Soils**. [S.l.]: Pearson Education, 2016.
- BUAINAIN, Antônio Márcio; GARCIA, Junior Ruiz; VIEIRA, Pedro Abel. **O desafio alimentar no século XXI**, out. 2016. Disponível em: <https://revistaesa.com/ojs/index.php/esa/article/view/784>. Acesso em: 11 abr. 2024.
- CAMPBELL, Donald T; STANLEY, Julian C. **Experimental and quasi-experimental designs for research**. [S.l.]: Ravenio books, 2015.
- CANDIA, Luis Damian et al. **Mejoras en maquinaria industrial con IoT: hacia la industria 4.0**. In: XXIV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC)(La Plata, 2018). [S.l.: s.n.], 2018.
- CASTRO, César Nunes de. **Conceitos e legislação sobre a agricultura familiar na América Latina e no Caribe**. Repositório IPEA, ago. 2023. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/12284>. Acesso em: 13 out. 2023.
- CAVALCANTE, Zedequias Vieira; SILVA², Mauro Luis Siqueira da. **A importância da Revolução Industrial no mundo da tecnologia** In: ISBN 978-85-8084-055-1. Disponível em: http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/epcc2011/anais/zedequias_vieira_cavalcante2.pdf. Acesso em: 30 mai. 2024.
- CLAESSEN, Manoel E. C. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997.
- COMUNICAÇÕES, Ministério das. **80% dos domicílios brasileiros possuem acesso à internet, aponta pesquisa**. [S.l.: s.n.], out. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mcom/pt-br/noticias/2023/maio/80-dos-domicilios-brasileiros-possuem-acesso-a-internet-aponta-pesquisa>. Acesso em: 20 out. 2023.

CONAB. **Primeiro levantamento da safra 2023/24 traz uma estimativa de produção de 317,5 milhões de toneladas.** [S.l.: s.n.], out. 2023. Disponível em:

<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5211-primeiro-levantamento-da-safra-2023-24-traz-uma-estimativa-de-producao-de-317-5-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 3 jun. 2024.

COSTA, Cainã; OLIVEIRA, Letícia; MÓTA, Léia Michele S. **Internet das coisas (IOT): um estudo exploratório em agronegócios Internet of Things (IOT): na exploratory study in agribusiness.** VI Simpósio da Ciência do Agronegócio, 2018.

CRESWELL, John W. **Projeto de Pesquisa Métodos qualitativo, quantitativo e misto.** 2. ed. [S.l.]: Artmed Editora S.A, 2007.

DATHEIN, Ricardo. **Inovação e Revoluções Industriais: uma apresentação das mudanças tecnológicas determinantes nos séculos XVIII e XIX.** Publicações DECON Textos Didáticos, v. 2, n. 3, p. 45–49, 2003.

DEVELOPERS, Android. **BluetoothSerial.** [S.l.: s.n.], out. 2023. Disponível em: <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/bluetoothserial/>. Acesso em: 20 out. 2023.

_____. **BluetoothSocket.** [S.l.: s.n.], out. 2023. Disponível em: <https://developer.android.com/reference/android/bluetooth/BluetoothSocket#developer-guides>. Acesso em: 20 out. 2023.

ESPRESSIF. **ESP32 Wi-Fi & Bluetooth MCU I Espressif Systems.** [S.l.: s.n.], out. 2023. Disponível em: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>. Acesso em: 20 out. 2023.

ESTADÃO. **O que é agricultura familiar e qual é a sua importância?** [S.l.: s.n.], out. 2021. Disponível em: <https://summitagro.estadao.com.br/noticias-do-campo/o-que-e-agricultura-familiar-e-qual-e-a-sua-importancia/#:~:text=A%20agricultura%20familiar%20%C3%A9%20respos%20A%20vel,trabalho%20ocupada%20em%20atividades%20agropecu%C3%A1rias>. Acesso em: 13 out. 2023.

FOOD; UNITED NATIONS, Agriculture Organization of the. **World Reference Base for Soil Resources 2006.** Rome, 2006.

FREIRE, Bruna Alcantara; CONT, Weverton Gomes; BARBOSA, Rúben Christian. **Automação na agricultura para aumento de eficiência do uso da água na irrigação: Revisão de literatura,** 2019.

GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, Instituto Brasileiro de. **Levantamento de Recursos Naturais.** Rio de Janeiro: IBGE, 2001.

GUIMARÃES, Vinícius G.; BAUCHSPIESS, Adolfo. **Automação e monitoramento remoto de sistemas de irrigação visando a agricultura familiar.** Congresso Brasileiro de Automática - CBA, 2012.

- HEMERLY, Giovanna; PRETTO, Nicholas. **A alfabetização e o analfabetismo funcional no Brasil**. [S.l.: s.n.], mai. 2023. Disponível em: <https://pp.nexojournal.com.br/Dados/2023/05/19/A-alfabetiza%C3%A7%C3%A3o-e-o-analfabetismo-funcional-no-Brasil>. Acesso em: 13 out. 2023.
- HENRIQUES, Luiz Felipe Araújo et al. **Implementação monitoramento de um sistema de irrigação automatizado em IoT utilizando módulo ESP32 em plantio caseiro**. RIU, Brasil, 2021.
- INÁCIO, Maurílio J. **Sensores e Atuadores**. Faculdade de Ciências do Tocantins, 2009.
- LIMA, Meline Melegario et al. **A quarta revolução industrial sob o tripé da sustentabilidade**. Semioses, v. 13, n. 3, p. 76–86, 2019.
- MARCONI, M de A; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. GEN, 2017.
- MENDES, Alessandra Monteiro Salviano. **Introdução a Fertilidade do Solo**. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/35800/1/OPB1291.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2024.
- MENDONÇA, Maria Luisa Rocha Ferreira de. **Modo capitalista de produção e agricultura: a construção do conceito de agronegócio**. 2013. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.
- MIRANDA, Evariso de. **Áreas cultivadas no Brasil e no mundo**. [S.l.: s.n.], fev. 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/174066/1/4942.pdf>. Acesso em: 3 jun. 2024.
- NOBRE, Thallys Lima; MOURA, Mateus Barbosa de. **Sistema de automação e controle inteligente no processo de irrigação usando iot no cultivo da alface**. 2023. B.S. thesis.
- PASQUINI, Nilton Cesar. **Revoluções Industriais: uma abordagem conceitual**. Revista Tecnológica da Fatec Americana, v. 8, n. 01, p. 29–44, 2020. Acesso em: 30 mai. 2024.
- PAULA, Carlos Eduardo Medeiros de et al. **Irrigação inteligente**. RIC-CPS, dez. 2019. Disponível em: <https://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/12098>. Acesso em: 18 jun. 2024.
- PENA, Rodolfo F. Alves. **Irrigação e economia de água**. [S.l.: s.n.], 2024. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/irrigacao-economia-agua.htm>. Acesso em: 8 jun. 2024.
- PEREIRA, Livia Modesto. **Internet das coisas (IoT): inovações, impactos setoriais e implicações sobre as estratégias empresariais**. Universidade Federal de Uberlândia, 2022.
- PESQUISA AGROPECUÁRIA, Empresa Brasileira de. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>. Acesso em: 2 fev. 2024.

- PINTO, Carlos Alberto Ramos; BORIM*, Andréa Carla Alves. **Medição de umidade no solo através de sensores capacitivos**, jul. 2015. Disponível em: <https://exatastechnologias.pgsscogna.com.br/rcext/article/view/2395>. Acesso em: 3 nov. 2023.
- REDHAT. **O que é a Internet das Coisas (IoT)?** [S.l.: s.n.], jan. 2019. Disponível em: <https://www.redhat.com/pt-br/topics/internet-of-things/what-is-iot>. Acesso em: 7 fev. 2024.
- SAKURAI, Ruudi; ZUCHI, Jederson Donizete. **As Revoluções Industriais até a Indústria 4.0**. Revista Interface Tecnológica, v. 15, n. 2, p. 480–491, 2018. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/386>. Acesso em: 30 mai. 2024.
- SANTOS, Beatrice Paiva et al. **Industry 4.0: Challenges and Opportunities**. v. 4, p. 111–124, nov. 2018. DOI: 10.32358/rpd.2018.v4.316. Disponível em: <https://revistas.cefet-rj.br/index.php/producaoedesarvolvimento/article/view/e316>. Acesso em: 30 out. 2023.
- SANTOS, Bruno P et al. **Internet das coisas: da teoria à prática**. Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, v. 31, p. 16, 2016.
- SANTOS, Erika Ap. Garefa dos; FERREIRA, Gilmar Barros; FERREIRA, Mariela. **Agricultura 4.0: estudo de caso sobre a eficiência da indústria 4.0 aplicada ao agronegócio**. Ciência & Tecnologia, v. 15, n. 1, e1517, out. 2023. DOI: 10.52138/citec.v15i1.274. Disponível em: <https://publicacoes.fatecjaboticabal.edu.br/citec/article/view/274>. Acesso em: 7 jun. 2024.
- SANTOS, Humberto G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA, 2013.
- SANTOS, Leon. **Conheça as quatro Revoluções Industriais que moldaram a trajetória do mundo**. [S.l.: s.n.], dez. 2019. Disponível em: <https://cfa.org.br/as-outras-revolucoes-industriais/>. Acesso em: 30 mai. 2024.
- SANTOS, Marcos; MANHÃES, Aline Martins; LIMA, Angélica Rodrigues. **Indústria 4.0: Desafios e oportunidades para o Brasil**. In: _____. Disponível em: <https://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/10423>. Acesso em: 30 out. 2023.
- SANTOS QUEIROZ, Alexandre dos. **Umidade como fator à inferência do caráter coeso em solos dos Tabuleiros Costeiros**, jun. 2021. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/60614>. Acesso em: 30 out. 2023.
- SCHWAB, K. et al. **Aplicando a Quarta Revolução Industrial**. [S.l.]: Edipro, 2019. ISBN 9788552100492. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=W5SWDwAAQBAJ>. Acesso em: 30 mai. 2024.
- SILVA, Emanuel Isaque Cordeiro da. **O Mundo Contemporâneo: Crescimento e Distribuição da população mundial**, 2019.

SILVA, MG da; CESARIO, Andressa Vieira; CAVALCANTI, Ivan Ramos. **Relevância do agronegócio para a economia brasileira atual**. Apresentado em X ENCONTRO DE INICIAÇÃO À DOCÊNCIA, UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA. 2013. Disponível em: <http://www.prac.ufpb.br/anais/IXEnex/iniciacao/documentos/anais/8.TRABALHO/8CCSADAMT01.pdf>. Acesso em: 7 jun. 2024.

SILVA, Niviane Maria Gomes da; CESARIO, Andressa Vieira; CAVALCANTI, Ivan Ramos. **Relevância do Agronegócio para economia brasileira atual** *In*: Disponível em: <http://www.prac.ufpb.br/anais/IXEnex/iniciacao/documentos/anais/8.TRABALHO/8CCSADAMT01.pdf>. Acesso em: 7 jun. 2024.

SINGER, Michael J.; MUNNS, Donald N. **Soils: An Introduction**. [S.l.]: Pearson Education, 2006.

SOUSA, Rafaela. **Segunda Revolução Industrial**. [s.d.]. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/historiag/segunda-revolucao-industrial.htm>. Acesso em: 22 abr. 2024.

SOUZA, Thiago. **Entenda a história da Segunda Revolução Industrial**. [s.d.] Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/segunda-revolucao-industrial/>. Acesso em: 22 abr. 2024.

TOLEDO FONSECA, Fernando Sérgio de et al. **Pobreza Rural no Norte do Brasil: uma análise do perfil socioeconômico dos beneficiários do Programa Bolsa Família**. Redes, APESC - Associação Pro-Ensino em Santa Cruz do Sul, v. 26, out. 2022. Disponível em: <https://www.mendeley.com/catalogue/e8cc16c7-b132-39d7-8098-f07611eb64fb>. Acesso em: 13 out. 2023.

UCKER, Fernando Ernesto et al. **Elementos interferentes na qualidade da água para irrigação**, abr. 2013. ISSN 22361170. DOI: 10.5902/22361170. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/index.php/reget/article/view/7540>. Acesso em: 4 abr. 2024.

XIA, Feng et al. **Internet of Things**. International Journal of Communication Systems, v. 25, p. 1101–1102, 9 set. 2012. ISSN 1074-5351. DOI: 10.1002/dac.2417. Acesso em: 6 jun. 2024.

YARANUTRE. **Irrigação por gotejamento: como funciona e vantagens**. [S.l.: s.n.], dez. 2022. Disponível em: <https://www.yarabrasil.com.br/conteudo-agronomico/blog/irrigacao-por-gotejamento/>. Acesso em: 8 jun. 2024.