



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE RUSSAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

DHIOLENO RODRIGUES DA SILVA

**SOLUÇÃO DE INTERNET DAS COISAS PARA PEQUENOS AGRICULTORES NA
REGIÃO DO VALE JAGUARIBE**

RUSSAS

2023

DHIOLENO RODRIGUES DA SILVA

SOLUÇÃO DE INTERNET DAS COISAS PARA PEQUENOS AGRICULTORES NA
REGIÃO DO VALE JAGUARIBE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Ciência da Computação
do campus de Russas da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Dr. Reuber Regis de
Melo.

RUSSAS

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S579s Silva, Dhioleno Rodrigues.
Solução de Internet das Coisas para pequenos agricultores na região do Vale Jaguaribe / Dhioleno Rodrigues Silva. – 2023.
42 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Curso de Ciência da Computação, Russas, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Reuber Regis de Melo.
1. Internet das Coisas. 2. Agricultura. 3. Pequenos agricultores. 4. Vale Jaguaribe. 5. Esp 32. I. Título.
CDD 005
-

DHIOLENO RODRIGUES DA SILVA

SOLUÇÃO DE INTERNET DAS COISAS PARA PEQUENOS AGRICULTORES NA
REGIÃO DO VALE JAGUARIBE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Ciência da Computação
do campus de Russas da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Ciência da Computação.

Aprovada em: 11/12/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Reuber Regis de Melo (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Patrícia Freitas Campos de Vasconcelos
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Yuri Victor Lima de Melo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho.

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por ter me mantido na trilha certa durante este projeto de pesquisa com saúde e forças para chegar até o final. E intercedeu por mim durante todo o período de graduação.

Agradeço ao meu orientador, o Prof. Dr. Reuber Regis de Melo, pela excelente orientação, paciência e dedicação ao longo de todo o processo de elaboração deste trabalho. Suas sugestões e críticas foram fundamentais para o sucesso deste trabalho.

Agradeço aos professores participantes da banca examinadora, Profa. Dra. Patrícia Freitas Campos De Vasconcelos e Prof. Dr. Yuri Victor Lima de Melo, pelo tempo concedido, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Gostaria de fazer um agradecimento especial à minha família, que sempre me apoiou em todas as etapas da minha vida acadêmica e profissional. Agradeço pelo amor, incentivo e compreensão em todos os momentos, especialmente durante a elaboração deste trabalho.

Gostaria de fazer um agradecimento especial aos meus amigos e colegas de graduação, que me acompanharam nessa jornada e foram fundamentais para o meu desenvolvimento acadêmico e pessoal. Durante os anos de faculdade, compartilhamos muitas experiências, desafios e conquistas, e isso tornou a nossa jornada ainda mais especial e significativa. Agradeço pela amizade, companheirismo, apoio e incentivo em todos os momentos, e espero que possamos continuar cultivando essa relação de amizade e respeito ao longo da vida.

Gostaria de fazer um agradecimento especial à minha companheira, que sempre esteve ao meu lado, me apoiando e fazendo-me feliz em todos os momentos. Durante a minha jornada acadêmica e profissional, ela sempre foi uma fonte de inspiração e motivação, incentivando-me a perseguir meus sonhos e objetivos. Além disso, sua presença constante e amor incondicional foram fundamentais para superar os desafios e dificuldades que surgiram ao longo do caminho.

Gostaria de fazer um agradecimento especial à Profa. Dra. Anna Beatriz dos Santos Marques, que me proporcionou diversas oportunidades durante a minha graduação em Ciência da Computação na Universidade Federal do Ceará.

Mais uma vez, agradeço a todos que contribuíram para a realização deste trabalho e que, de alguma forma, fizeram parte desta jornada.

RESUMO

O cenário tecnológico atual destaca a crescente importância da Internet das Coisas (IoT) em diferentes setores, otimizando processos e aprimorando a eficiência operacional. Este projeto focaliza a implementação de uma solução de IoT direcionada a pequenos agricultores no Vale Jaguaribe, Ceará, com a integração de sensores, microcontroladores ESP32 (Wi-Fi e LoRa), e o protocolo MQTT. Identificou-se uma lacuna nas práticas agrícolas da região do Vale Jaguaribe, carecendo de uma solução tecnológica que permita monitoramento eficiente e em tempo real, adaptada às culturas predominantes. A falta de ferramentas específicas para pequenos agricultores pode limitar a eficácia das práticas agrícolas e a gestão de recursos. O objetivo principal deste trabalho é desenvolver e testar uma solução de IoT que possibilite aos pequenos agricultores do Vale Jaguaribe monitorar e gerenciar variáveis cruciais, como temperatura, umidade do ar e umidade do solo. A proposta visa oferecer uma ferramenta prática e sustentável para otimizar as atividades agrícolas e melhorar a eficiência na região. A metodologia começa com um levantamento das atividades agrícolas na região, identificando as culturas predominantes para orientar a escolha dos sensores. A infraestrutura de comunicação LoRa entre transmissor e receptor é cuidadosamente planejada para superar desafios ambientais. A implementação prática envolve o uso de dispositivos ESP32, equipados com sensores DHT11 e HW-390, integrados para monitorar as condições do ambiente agrícola. Os testes experimentais abrangem diversas culturas. Os resultados experimentais demonstram a eficácia da solução proposta, incluindo o alcance do rádio ponto a ponto e a capacidade de monitoramento em tempo real. As culturas de coco, ciriguela, acerola e milho foram avaliadas, consolidando dados sobre umidade do solo, umidade e temperatura do ar. O projeto conclui que a solução de IoT desenvolvida tem grande potencial para aprimorar a produtividade e eficiência na agricultura familiar do Vale Jaguaribe. A abordagem considera as particularidades regionais, como clima e culturas cultivadas, e busca viabilidade econômica para os agricultores. A solução apresenta-se como uma base sólida para futuras pesquisas e implementações tecnológicas no setor agrícola.

Palavras-chave: Internet das Coisas; agricultura; pequenos agricultores; Vale Jaguaribe.

ABSTRACT

The current technological landscape highlights the growing importance of the Internet of Things (IoT) across various sectors, optimizing processes and enhancing operational efficiency. This project focuses on implementing an IoT solution tailored for small farmers in the Vale Jaguaribe, Ceará, integrating sensors, ESP32 microcontrollers (Wi-Fi and LoRa), and the MQTT protocol. A gap was identified in agricultural practices in the Vale Jaguaribe region, lacking a technological solution for efficient real-time monitoring, adapted to predominant crops. The absence of specific tools for small farmers can limit the effectiveness of agricultural practices and resource management. The main objective of this work is to develop and test an IoT solution enabling small farmers in Vale Jaguaribe to monitor and manage crucial variables such as temperature, air humidity, and soil humidity. The proposal aims to provide a practical and sustainable tool to optimize agricultural activities and improve efficiency in the region. The methodology begins with a survey of agricultural activities in the region, identifying predominant crops to guide sensor selection. The LoRa communication infrastructure between transmitter and receiver is carefully planned to overcome environmental challenges. Practical implementation involves using ESP32 devices equipped with DHT11 and HW-390 sensors, integrated to monitor agricultural environmental conditions. Experimental tests cover various crops. Experimental results demonstrate the effectiveness of the proposed solution, including the point-to-point radio range and real-time monitoring capability. Crops such as coconut, ciriguela, acerola, and corn were evaluated, consolidating data on soil humidity, air humidity, and temperature. The project concludes that the developed IoT solution has significant potential to enhance productivity and efficiency in family farming in the Vale Jaguaribe. The approach considers regional specifics, such as climate and cultivated crops, and seeks economic viability for farmers. The solution serves as a solid foundation for future technological research and implementations in the agricultural sector.

Keywords: Internet of Things (IoT); agriculture; small farmers; Vale Jaguaribe.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Número de estabelecimentos agropecuários por tipologia: Total e agricultura familiar (A. F.), Brasil, Nordeste e Ceará, 2017.	12
Figura 2 – Área colhida e a produção de laranja e limão na mesorregião do Jaguaribe e nos principais municípios.	16
Figura 3 – Cabeçalho de Mensagens MQTT.	18
Figura 4 – Etapas de metodologia.	24
Figura 5 – Visão geral do sistema	28
Figura 6 – Esquema de ligação do ESP remetente	30
Figura 7 – Esquema de ligação do ESP receptor	31
Figura 8 – Calibração do sensor HW-390	32
Figura 9 – Distancia máxima da comunicação LoRa	33
Figura 10 – Dispositivo Receptor	34
Figura 11 – Dispositivo remetente	35
Figura 12 – Plataforma HiveMQ	35
Figura 13 – Distancia máxima da comunicação LoRa	36
Figura 14 – Temperatura do Ar	37
Figura 15 – Umidade do Ar	38
Figura 16 – Umidade do Solo	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Configurações da comunicação <i>Long Range</i> (LoRa)	33
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EMATERCE	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESP	<i>Espressif Systems</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IoT	<i>Internet of Things</i>
LoRa	<i>Long Range</i>
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
P2P	<i>peer to peer</i>
PIB	Produto Interno Bruto
VBP	Valor Bruto da Produção Agropecuária
WIFI	<i>Wireless Fidelity</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Motivação	12
1.2	Objetivos	13
1.2.1	<i>Objetivo Geral</i>	13
1.2.2	<i>Objetivos Específicos</i>	13
1.3	Organização do Trabalho	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	Tecnologias da Agricultura Inteligente	15
2.2	Cenário Agrícola no Brasil e Ceará	15
2.3	Internet das Coisas <i>Internet of Things</i> (IoT)	16
2.3.1	<i>Microcontroladores ESP</i>	17
2.3.2	<i>Protocolo MQTT</i>	17
2.3.3	<i>Comunicação WIFI e LoRa</i>	19
2.3.4	<i>Sensores</i>	20
3	TRABALHOS RELACIONADOS	21
3.1	Aplicação distribuída de monitoramento de solos para agricultura familiar utilizando internet das coisas	21
3.2	Iot aplicada à agricultura familiar: Estudo da viabilidade de sistemas de irrigação em hortas. 2021	22
3.3	Aplicação de internet das coisas (IoT) na agricultura de precisão	22
4	METODOLOGIA	24
4.1	Levantamento de dados	25
4.2	Compreensão do cenário agrícola no Vale Jaguaribe	25
4.3	Desenvolvimento da Tecnologia	27
4.4	Implementação da tecnologia e criação de um protótipo	27
4.4.1	<i>Preparação do Ambiente de Programação</i>	28
4.4.2	<i>Teste de Comunicação Entre Microcontroladores:</i>	29
4.4.3	<i>Conexão do Espressif Systems (ESP) Receptor com a Internet:</i>	29
4.4.4	<i>Integração com a Plataforma HiveMQ:</i>	29
4.4.5	<i>Instalação dos Sensores:</i>	30

4.5	Teste em campo do protótipo	32
5	RESULTADOS	34
5.1	Resultados do Teste de alcance da comunicação LoRa	36
5.2	Resultados do teste experimental	36
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	40
	REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

A atividade agrícola tem se modernizado a cada dia para atender as demandas crescentes tanto em qualidade como quantidade. Por isso, novas tecnologias têm sido utilizadas para aumentar a eficiência do setor agrícola, e uma delas é a internet das coisas (IoT, do inglês *Internet of Things*) que permite monitorar vários parâmetros agrícolas (SINHA; DHANALAKSHMI, 2022).

O Brasil é um dos maiores produtores agrícolas do mundo, e possui uma fronteira agrícola de 351,28 milhões de hectares, cerca de 41,3% do território, em 2020 o país foi o quarto maior produtor mundial de produtos agrícolas e o terceiro maior exportador (IBGE, 2020).

A agropecuária cearense apresentou um crescimento de 7,7% em 2022, o maior avanço entre os setores que compõem o Produto Interno Bruto (PIB) do Ceará e no mesmo ano demonstrou crescimento em relação ao ano anterior 2021, a agropecuária registrou um desempenho positivo em todos os trimestres na comparação com os mesmos períodos do ano anterior (CNA, 2023b).

O vale do Jaguaribe é uma das quatro macrorregiões cearenses com a maior participação no PIB do Estado, superando o valor de 5 milhões em 2019. O potencial agrícola do vale Jaguaribe se evidencia por meio da participação da atividade na economia de seus municípios. Limoeiro do Norte, por exemplo, registrou a participação de 3,4% sobre o valor total da agropecuária cearense, outros municípios também se mostram bem relevantes sobre a participação no PIB, por exemplo, Beberibe e Tianguá.

A Região do Vale do Jaguaribe participou com 11,58% em 2019 do Valor Bruto da Produção Agropecuária (VBP) da agropecuária do Ceará, de acordo com levantamento feito pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2019. A macrorregião destaca-se na produção de frutas e por ser a principal bacia leiteira do Ceará. A macrorregião participou, em 2019, com 3,51% no PIB estadual. De acordo com dados de 2015 do Ministério do Desenvolvimento Agrário, a macrorregião conta com 24.606 assentamentos de agricultura familiar, com uma alta concentração no município de Russas (MOVECE, 2019).

Diante disso, este trabalho implementa uma solução de Internet das Coisas (IoT) com uma estratégia promissora para auxiliar os pequenos agricultores da região. Através do uso de sensores, ESP32 com LoRa, e o protocolo MQTT, será possível monitorar e coletar dados relevantes sobre parâmetros agrícolas, como umidade do solo, temperatura e outros. Essa solução pretende fornecer uma possibilidade de gestão mais precisa e eficiente dos recursos agrícolas,

contribuindo para a tomada de decisões embasadas em informações em tempo real. Além disso, a IoT oferecerá oportunidades de automatização, otimização de processos e redução de custos, tornando-se uma ferramenta acessível e de grande potencial para impulsionar a agricultura familiar no Vale Jaguaribe. Ao explorar as vantagens da IoT aliadas às características e necessidades específicas da região, pretende-se promover a sustentabilidade, produtividade e crescimento do setor agrícola, contribuindo assim com um futuro mais próspero e tecnologicamente avançado para os pequenos agricultores no Vale Jaguaribe.

1.1 Motivação

No ano de 2017 a agricultura familiar dava ocupação a 66,3% dos trabalhadores em atividades agropecuárias, em relação aos produtores de agricultura familiar, 81% estavam na condição de proprietário das terras. Ainda sobre os trabalhadores foi observado a maior concentração em faixas etárias superiores aos 55 anos (IBGE, 2017).

Como é mostrado na Figura 1 de um total de estabelecimentos agropecuários e aquicultores nacionais (5 073 324), 76,8% correspondiam à agricultura familiar (3 897 408) como mostrado na figura a baixo (IBGE, 2017).

Figura 1 – Número de estabelecimentos agropecuários por tipologia: Total e agricultura familiar (A. F.), Brasil, Nordeste e Ceará, 2017.

	Brasil		Nordeste		Ceará	
	Total	A.F	Total	A.F	Total	A.F
Número de estabelecimentos agropecuários	5.073.324	3.897.408	2.322.719	1.838.846	394.330	297.862
Estabelecimentos agropecuários (%)		76,8		79,2		75,5

Fonte: Censo Agropecuário/IBGE 2017 (2019). Elaboração: IPECE.

Diante desses dados é possível observar que a agricultura familiar possui uma grande participação no setor agrícola, porém o acesso desses pequenos agricultores a novas tecnologias ainda é defasado quando comparado ao grande produtor. Por isso é necessário investir em soluções viáveis para os pequenos produtores, buscando incluí-los nessa nova era da agricultura inteligente.

1.2 Objetivos

1.2.1 *Objetivo Geral*

Desenvolver uma aplicação de IoT destinada a pequenos agricultores no Vale Jaguaribe, com o objetivo de coletar dados de parâmetros agrícolas.

1.2.2 *Objetivos Específicos*

- Coletar dados sobre a agricultura familiar na região;
- Entender o cenário atual e demandas dos pequenos agricultores;
- Projetar uma solução IoT adequada para a agricultura familiar na região;
- Implementar um protótipo da solução;
- Realizar teste do protótipo em campo.

1.3 Organização do Trabalho

No capítulo 2 é apresentado a fundamentação teórica sobre a agricultura inteligente bem como o cenário atual sobre pequenos agricultores no Brasil, no estado do Ceará e na região vale Jaguaribe. Também é apresentado a descrição dos principais dispositivos IoT que serão usados neste trabalho.

No capítulo 3 é apresentado alguns trabalhos relacionados que apresentam soluções tecnológicas semelhantes que foram desenvolvidas em outras obras. Isso ajuda a entender como outras pessoas abordaram o problema e quais foram os resultados obtidos.

No Capítulo 4 é apresentada a metodologia utilizada neste trabalho, que se deu por meio de levantamento de dados, compreensão do cenário atual e das demandas dos pequenos agricultores, proposta de projetar uma solução IoT adequada, implementação de um protótipo da solução proposta e realização de testes do protótipo em campo. Assim também como o cronograma de todas as atividades realizadas.

No Capítulo 5 é apresentado os resultados da implementação do protótipo em testes de campo com pequenos agricultores no Vale Jaguaribe. A solução IoT mostrou potencial para melhorar a tomada de decisões agrícolas, aumentando a produtividade e reduzindo custos. No entanto, foram identificadas limitações, como a necessidade de treinamento dos agricultores e a dependência de uma conexão de internet estável. Em geral, a solução demonstrou ser promissora

para beneficiar os pequenos agricultores na região.

No Capítulo 6 é apresentado o potencial da Internet das Coisas (IoT) para melhorar a agricultura familiar no Vale Jaguaribe, proporcionando monitoramento e controle eficientes do cultivo. A solução considera as particularidades locais e a viabilidade financeira para os agricultores. O estudo sugere melhorias futuras, como o desenvolvimento de uma interface de usuário, expansão da comunicação LoRa e a aplicação de técnicas de machine learning. O trabalho visa contribuir para o avanço da agricultura familiar na região, servindo como base para futuras implementações tecnológicas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão tratados os conceitos necessários para o entendimento das técnicas utilizadas para realizar a análise em questão. Nas seções 2.1, 2.2, 2.3.1, 2.3.3, 2.3.2 serão tratadas as definições referentes à tecnologias da Agricultura inteligente, o Cenário Agrícola no Brasil e Ceará, micro controladores ESP, comunicação WiFi e LoRa e o protocolo MQTT, respectivamente.

2.1 Tecnologias da Agricultura Inteligente

A agricultura inteligente envolve a integração de tecnologias nas práticas agrícolas existentes, a fim de aumentar a eficiência da produção e a qualidade de vida dos trabalhadores agrícolas, reduzindo o trabalho pesado e as tarefas repetitivas. Os avanços tecnológicos do plantio e irrigação à colheita da saúde e colheita, beneficiam quase todos os aspectos da agricultura (ROGÉRIO; RAQUEL, 2022).

A medida em que a expansão agrícola do país ocorre, são criadas medidas para possibilitar a modernização da agricultura, muitas das vezes que viabiliza o processo de modernização técnica entre outras é o Estado, o qual promove ações como o crédito rural, na qual sem a presença desse crédito, torna-se difícil o acesso à modernização pelos agricultores, impactando no processo de desenvolvimento no setor agrícola. Pois este favorece, assistência técnica, distribuição de sementes, inseminação artificial, mecanização, dentre outras (JOYCE; GISELE, 2013).

2.2 Cenário Agrícola no Brasil e Ceará

O notório desenvolvimento agrícola no país deu se início na década de 1960, Atualmente a Agricultura representa cerca de 34,8% do PIB brasileiro, de acordo com o (CNA, 2023a). Uma das Regiões de Maior destaque na agricultura Brasileira é a região nordeste, onde um dos estados que possuem maior influência nos resultados da região é o Ceará.

A agropecuária cearense apresentou um crescimento de 7,7% em 2022, o maior avanço entre os setores que compõem o PIB do Ceará (CNA, 2023b). O estado dispões de 184 municípios localizados em sete mesorregiões sendo uma delas o Vale do Jaguaribe, Inserido no semiárido do Estado do Ceará, o Baixo Jaguaribe apresenta solos aluviais, vegetação nativa predominante. utiliza da irrigação especialmente em citros, O estado do Ceará já ocupou a 4ª

posição na produção de laranja e tangerina e a 3ª posição na produção de limão no Nordeste.

A Figura 2 mostra a área colhida e a produção de laranja e limão no Estado do Ceará, na mesorregião do Jaguaribe e nos principais municípios produtores da mesorregião nos anos 1990 e 2017 (EMBRAPA, 2020).

Figura 2 – Área colhida e a produção de laranja e limão na mesorregião do Jaguaribe e nos principais municípios.

Estado, mesorregião e município	Cultura	Área Colhida (ha)		Produção (t)	
		1990	2017	1990	2017
Estado do Ceará	Laranja	1.490	1.535	85.019	9.480
	Limão	500	971	85.586	6.306
Mesorregião do Jaguaribe	Laranja	224	225	11.057	2.743
	Limão	405	414	69.675	3.152
Alto Santo	Laranja	10	-	300	-
	Limão	5	22	950	125
Jaguaruana	Laranja	30	180	900	2.262
	Limão	-	5	-	60
Limoeiro do Norte	Laranja	50	2	1.600	6
	Limão	265	150	44.255	935
Quixeré	Laranja	15	2	1.200	5
	Limão	20	10	4.700	63
Russas	Laranja	70	36	5.600	422
	Limão	12	40	2.820	510

Fonte: EMBRAPA,2020

2.3 Internet das Coisas IoT

A Internet das Coisas (IoT) é a conexão de objetos físicos à internet, permitindo que eles coletem e compartilhem dados. Isso possibilita a automação de tarefas, o monitoramento remoto e a criação de novas oportunidades de negócios. A IoT utiliza tecnologias como sensores, redes sem fio e processamento em nuvem para melhorar a eficiência, a qualidade de vida e a segurança em diversos setores, como saúde, transporte e agricultura. É uma tendência em crescimento, com o potencial de transformar a maneira como interagimos com o mundo ao nosso redor (KAREM *et al.*, 2015). Os componentes e protocolos relevantes para a implementação da

IoT na agricultura neste trabalho são: microcontroladores ESP, que são amplamente utilizados em projetos de IoT devido à sua conectividade sem fio integrada; comunicação *Wireless Fidelity* (WIFI) e LoRa, que são tecnologias de rede sem fio que permitem a comunicação entre dispositivos; o protocolo *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT), que é um protocolo de mensagens leve e eficiente para a comunicação entre dispositivos IoT; e sensores, que são dispositivos que coletam dados ambientais e agrícolas para análise e tomada de decisões. Esses tópicos são relevantes para a implementação da IoT na agricultura, como discutido em outros tópicos do trabalho, e fornecem informações importantes para a compreensão dos componentes e protocolos necessários para a implementação bem-sucedida da IoT na agricultura.

2.3.1 *Microcontroladores ESP*

Os microcontroladores ESP são baseados na arquitetura Xtensa LX6 e possuem um processador dual-core de 32 bits, que pode operar em frequências de clock de até 240 MHz. Eles são equipados com uma variedade de periféricos, como GPIOs, UARTs, SPIs, I2Cs e ADCs, que permitem a comunicação com outros dispositivos e a interação com o mundo externo (NEIL, 2017).

Além disso, os microcontroladores ESP, incluindo o ESP32, são conhecidos por sua conectividade sem fio integrada, como WIFI e Bluetooth. Isso permite que eles sejam facilmente integrados em redes locais e comuniquem-se com outros dispositivos e serviços conectados.

Esses microcontroladores são amplamente utilizados em projetos de IoT, automação residencial, monitoramento ambiental, dispositivos vestíveis e uma ampla gama de outras aplicações onde é necessário um controle de baixo custo, eficiente em termos de energia e com capacidade de comunicação sem fio. (NEIL, 2017).

Os microcontroladores ESP, são amplamente utilizados em projetos de IoT, automação residencial, monitoramento ambiental, dispositivos vestíveis e uma ampla gama de outras aplicações onde é necessário um controle de baixo custo, eficiente em termos de energia e com capacidade de comunicação sem fio. Essas informações são relevantes para a pesquisa devido o envolvimento do uso de microcontroladores na IoT para a agricultura.

2.3.2 *Protocolo MQTT*

O protocolo MQTT é baseado no princípio de publicar mensagens e assinar tópicos, que é chamado de modelo de *publish/subscribe*. onde os dispositivos podem enviar mensagens

chamadas "publicações" para um tópico específico e outros dispositivos podem se inscrever nesse tópico para receber as mensagens, chamadas de "assinaturas", esse intermédio de mensagens é feito pelo *broker*. O *broker* MQTT é o componente central em uma arquitetura MQTT. É responsável por receber as mensagens publicadas pelos clientes MQTT e encaminhá-las para os clientes que estão interessados em recebê-las. O *broker* age como um intermediário entre os dispositivos que enviam as mensagens (publicadores) e os dispositivos que desejam recebê-las (assinantes).

A Figura 3 apresenta, o cabeçalho fixo das mensagens MQTT, o qual pode ter de 1 a 4 bytes. o primeiro byte é composto por parâmetros que indicam o tipo da mensagem, indicador de mensagem duplicada, o marcador com a qualidade do serviço designada para a mensagem, marcador de retenção, para indicar se o *broker* deve reter esta informação até que o mesmo receba um comando para deletar ou sobrescrever esta mensagem (SOUSA *et al.*, 2021).

Figura 3 – Cabeçalho de Mensagens MQTT.

bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Byte 1	Tipo da Mensagem				Flag DUP	Nível QoS		RETAIN
Byte 2	Largura restante							

Fonte: Sousa,F.C,2021

Quando um cliente se conecta a um servidor, ele pode informar ao servidor que tem uma mensagem que devem ser publicados em um tópico ou tópicos específicos no caso de uma inesperada desconexão, os gerentes sabem imediatamente quando um sensor remoto perdeu contato com a rede.

Com o MQTT o servidor mantém a mensagem mesmo depois de terem sido enviadas para todos os assinantes. Assim se uma nova assinatura é enviada para o mesmo tópico, todas as mensagens retidas são enviadas para o novo cliente.

Em resumo, o MQTT é um protocolo de mensagens leve e eficiente que permite a comunicação assíncrona entre dispositivos em redes de IoT, seguindo um modelo de publicação/assinatura. Ele permite o envio e recebimento de mensagens em tópicos específicos por meio de um *broker* MQTT, facilitando a troca de informações entre os dispositivos conectados (VALERIA, 2012).

O protocolo MQTT, que é utilizado em projetos de IoT para permitir a comunicação entre dispositivos. No contexto da pesquisa, o protocolo MQTT é utilizado para permitir que

o receptor ESP32 LoRa se conecte a um broker MQTT para envio de dados capturados no campo. O uso do protocolo MQTT permite que os dados sejam transmitidos de forma eficiente e confiável, além de permitir o desenvolvimento de aplicações para o monitoramento dos dados pelos pequenos agricultores.

2.3.3 Comunicação WIFI e LoRa

O WI-FI é uma rede *wireless* (sem fio) composta por padrões técnicos internacionais que definem as especificações para a interconexão de equipamentos como computadores, impressoras e outros dispositivos de clientes ou servidores, através de frequência de rádio. estas redes locais são estabelecidas pela família de padrões IEEE (Instituto de Elétrica e Engenheiros Eletronicos) 802.11 (ANTONIO, 2007).

LoRa é uma tecnologia de radiofrequência que permite comunicações em longas distâncias com baixo consumo de energia elétrica utilizando uma frequência abaixo de 1GHz. O LoRa pode ser utilizado na forma de uma rede, formando assim uma rede de área ampla de baixa potência, o LoRa funciona na topologia de rede onde um *host* é o ponto central que atua como servidor e os demais pontos o acessam.

O LoRa permite três formas diferentes de tráfego de dados sendo elas o *simplex* em que somente um rádio transmite os dados e os outros N rádios da rede somente recebem dados, *half-duplex* onde todos os rádios da rede transmitem e recebem dados, porém nunca há uma transmissão e recepção simultâneas e *full-duplex* todos os rádios da rede transmitem e recebem dados ocasionalmente simultâneos (PEDRO, 2019).

Essas tecnologias de comunicação sem fio Wi-Fi e LoRa, que são utilizadas em projetos de IoT para permitir a transmissão de dados entre dispositivos. No contexto do projeto, essas tecnologias são relevantes para a transmissão de dados entre os sensores e o microcontrolador ESP32, bem como para a transmissão dos dados capturados no campo para o broker MQTT, que permite o desenvolvimento de aplicações para o monitoramento dos dados pelos pequenos agricultores.

2.3.4 Sensores

Os sensores são dispositivos que possuem a capacidade de detectar e medir grandezas físicas, como temperatura, pressão, movimento, entre outras, e transformá-las em sinais elétricos que podem ser processados por outros dispositivos eletrônicos. Esses sinais elétricos são então utilizados para monitorar, controlar ou automatizar processos em diversas áreas, como na indústria, na medicina, na agricultura, entre outras. Além disso, os sensores podem ser classificados de acordo com o tipo de grandeza física que eles medem, como sensores de temperatura, sensores de pressão, sensores de movimento, entre outros (HUGO, 2017).

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Neste capítulo serão apresentados trabalhos relacionados ao problema proposto, com o objetivo de estudar problemas similares tratados em outras obras. Na seção 3.1 apresenta uma solução tecnológica para monitoramento de solos na agricultura familiar utilizando Internet das Coisas. A seção 3.2 apresenta um estudo sobre a aplicação da IoT na agricultura familiar, com foco na implementação de sistemas de irrigação em hortas. Por fim, a seção 3.3 apresenta uma aplicação da Internet das Coisas (IoT) na agricultura de precisão. Explora a utilização de sensores e tecnologias de comunicação para coletar dados climáticos e monitorar variáveis agrícolas. Embora a soluções apresentada possa ter diferenças em termos de tecnologias e metodologias utilizadas, ambas têm como objetivo comum o desenvolvimento de soluções tecnológicas para melhorar a produtividade e a eficiência na agricultura familiar, utilizando a Internet das Coisas como base para a coleta e análise de dados.

3.1 Aplicação distribuída de monitoramento de solos para agricultura familiar utilizando internet das coisas

O trabalho de (MARCOS, 2019), apresenta uma solução tecnológica para monitoramento de solos na agricultura familiar utilizando Internet das Coisas. o trabalho propõe uma arquitetura de sistema distribuído de baixo custo que permite o monitoramento de solos e ambiente da agricultura familiar, com aplicações que apresentam informações claras e objetivas para facilitar o acesso a usuários com pouca instrução educacional e condições financeiras baixas. Além disso, o trabalho discute a viabilidade e utilidade da implantação da Internet das Coisas na agricultura familiar, fornecendo um maior número de informações e auxiliando na tomada de decisões por todos os envolvidos na área. Tal trabalho também serve de base para um levantamento de informações sobre a agricultura familiar e a Internet das Coisas, o que pode ser útil para entender melhor o contexto em que a solução proposta foi desenvolvida. O autor enfatiza a importância de considerar as particularidades da região, como o clima, o tipo de solo e as culturas cultivadas. Além disso, é necessário avaliar a viabilidade financeira da solução proposta, levando em conta as condições econômicas dos agricultores familiares da região.

Embora o trabalho apresentado possa ter diferenças em termos de tecnologias e metodologias utilizadas, ambas têm como objetivo comum o desenvolvimento de soluções tecnológicas para melhorar a produtividade e a eficiência na agricultura familiar, utilizando a

Internet das Coisas como base para a coleta e análise de dados.

3.2 Iot aplicada à agricultura familiar: Estudo da viabilidade de sistemas de irrigação em hortas. 2021

O trabalho a seguir apresenta um estudo sobre a aplicação da IoT na agricultura familiar, com foco na implementação de sistemas de irrigação em hortas. O estudo foi realizado por (BIANCA *et al.*, 2021), da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Os autores fornece informações sobre os desafios enfrentados pelos pequenos agricultores na implementação de sistemas de irrigação, como a falta de recursos financeiros e conhecimento técnico. Em seguida, são apresentadas soluções baseadas em IoT que podem ajudar a superar esses desafios, como o uso de sensores de umidade do solo e de temperatura, sistemas de irrigação automatizados e monitoramento remoto via internet. O estudo também apresenta um protótipo de sistema de irrigação autônomo com monitoramento via internet, que utiliza uma placa NodeMCU ESP-12 com conectividade WiFi e baixo custo, um display LCD I2C e um sensor de temperatura modelo DHT11. O documento descreve detalhadamente o processo de montagem do protótipo e como ele pode ser adaptado para diferentes tipos de hortas. Além disso, o trabalho destaca a importância do uso de tecnologias de baixo custo para a agricultura familiar, como smartphones, sensores baratos e eficientes, e CLPs simples. Assim também como argumenta que essas tecnologias podem ajudar a aumentar a produtividade e a geração de renda dos pequenos agricultores, além de representar uma oportunidade para o desenvolvimento tecnológico brasileiro.

O estudo apresentado também tem como objetivo desenvolver uma solução IoT para a agricultura familiar, com foco no monitoramento de variáveis ambientais e na automação de sistemas de irrigação. Assim como o trabalho do autor a pesquisa de (BIANCA *et al.*, 2021), têm como objetivo comum o desenvolvimento de soluções tecnológicas para melhorar a produtividade e a eficiência na agricultura familiar, utilizando a Internet das Coisas como base para a coleta e análise de dados.

3.3 Aplicação de internet das coisas (IoT) na agricultura de precisão

No trabalho de (KLEBIO, 2021), é abordada a aplicação de Internet das Coisas (IoT) na agricultura de precisão, com o objetivo de desenvolver uma solução acessível também aos pequenos agricultores. No trabalho o autor destaca a importância de utilizar tecnologia de

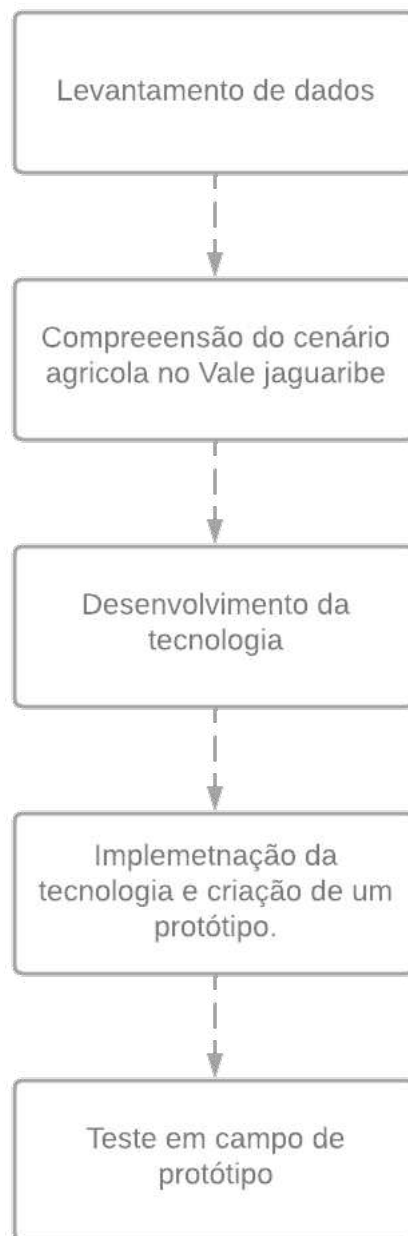
ponta e conceitos de tecnologia da informação para criar soluções acessíveis aos produtores menores. Ele menciona a utilização de uma placa chamada "multiplexador6", que permite a expansão da quantidade de portas, possibilitando a obtenção de várias entradas para uma única saída disponível na Beesp-Mf, o documento sugere a utilização de uma pequena placa solar e uma bateria de 5 volts para suprir a infraestrutura de sensores, placa chamada LoRaWan, acompanhada de outro protocolo chamado LoRa para estabelecer a conexão, que oferece maior alcance e economia de energia. O trabalho aborda a importância de coletar e persistir os dados em um banco de dados, para posterior análise estatística, como médias, medianas, moda e desvio-padrão dos valores numéricos lidos pelos sensores sob as variáveis climatológicas. Ele destaca que, se esses dados forem analisados corretamente, aplicando conhecimentos de meteorologia, podem oferecer um panorama da situação climatológica e contribuir para tomadas de decisões ou criação de séries históricas.

O estudo também apresenta uma aplicação da Internet das Coisas (IoT) na agricultura de precisão, explorando a utilização de sensores e tecnologias de comunicação para coletar dados climáticos e monitorar variáveis agrícolas.

4 METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentadas as etapas metodológicas seguidas para a realização da pesquisa. A seguir é apresentado a Figura 4 que ilustra o fluxo das atividades:

Figura 4 – Etapas de metodologia.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1 Levantamento de dados

Nesta etapa foi realizado um levantamento de dados dos agricultores do vale Jaguaribe, estado do Ceará e do Brasil. Os dados foram obtidos através de portais como o portal da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará (EMATERCE), IBGE e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Esses dados obtidos contém informações: quantidade de agricultores na país, estado e região, tipos de grãos mais plantados, percas de plantações do estado e dificuldades dos agricultores do vale Jaguaribe.

4.2 Compreensão do cenário agrícola no Vale Jaguaribe

Após a etapa anterior de realização do levantamento de dados, foi possível compreender o cenário agrícola da região. A agricultura é um dos pilares econômicos do país, destacando-se na região nordeste por seu alto impacto no PIB. O Vale Jaguaribe, abrangendo cidades como Alto Santo, Aracati, Ererê, Fortim, Icapuí, Iracema, Itaiçaba, Jaguaribara, Jaguaruana, Limoeiro do Norte, Morada Nova, Palhano, Potiretama, Quixeré, Russas, São João do Jaguaribe e Tabuleiro do Norte é uma das regiões nordestinas de destaque na produção agropecuária. Municípios como Russas, que apresentam uma alta concentração de assentamentos de agricultura familiar. E Limoeiro do Norte, Quixeré, Jaguaratama, contribuindo com 3,4% do valor total da agropecuária cearense, são exemplos dessa influência (MOVECE, 2019). Analisando esses municípios, é possível obter informações sobre as dificuldades enfrentadas pelos agricultores, os tipos de cultivos predominantes, o gerenciamento de recursos naturais, entre outros, destacando a necessidade de apoio tecnológico para os agricultores familiares da região do Vale Jaguaribe.

De acordo com (EMATERCE, 2023), os principais grãos plantados no Vale Jaguaribe são o milho e feijão, representando cerca de 98% da estimativa da produção de grãos em 2023. Outras culturas, como o algodão, amendoim, arroz, fava e mamona, contribuem com 1,15% do total dos grãos estimados para 2023. Vale ressaltar que essas informações referem-se apenas à produção agrícola em sequeiro, ou seja, sem irrigação, podendo variar conforme a região e as condições climáticas.

Ao identificar que as principais culturas no Vale Jaguaribe são milho e feijão, realizou-se um levantamento de dados sobre as condições ideais para o cultivo dessas culturas. Conforme informações da (EMBRAPA, 2020), a temperatura e a umidade são fatores determinantes para

o sucesso no cultivo de milho e feijão. No caso do milho, a planta é sensível às flutuações térmicas, com uma faixa metabólica ideal entre 10°C e 30°C. Temperaturas extremas abaixo de 10°C ou acima de 30°C impactam negativamente o crescimento e rendimento do milho. Durante a germinação, o solo deve manter temperaturas entre 25°C e 30°C para garantir uma germinação adequada.

O desenvolvimento do milho, desde a emergência até a floração, prospera em temperaturas entre 24°C e 30°C, alcançando um rendimento máximo em torno de 21°C. A fase de floração é sensível à temperatura, com médias acima de 26°C acelerando o desenvolvimento, enquanto temperaturas abaixo de 15,5°C podem retardá-lo. Temperaturas superiores a 35°C afetam a atividade metabólica, alterando rendimento e composição proteica dos grãos.

No feijão, a temperatura é crucial desde a germinação até o rendimento final. A temperatura ideal durante a germinação é em torno de 28°C, mas temperaturas elevadas prejudicam o florescimento e a frutificação. Para otimizar o rendimento, é recomendado manter temperaturas mínimas, ótimas e máximas de 12°C, 21°C e 29°C, respectivamente. Regiões com temperaturas noturnas consistentemente altas podem enfrentar prejuízos.

A umidade do solo é crítica para ambas as culturas, afetando germinação, vingamento das flores e desenvolvimento vegetativo. Deficiências ou excessos de água reduzem significativamente a produtividade. No milho, a disponibilidade adequada de água é crucial em todas as fases, desde a germinação até a maturação dos grãos. No feijão, a falta de água na fase de floração resulta em baixa porcentagem de vingamento. Condições de umidade e temperatura acima de 70% e 35°C, respectivamente, favorecem o desenvolvimento de doenças na cultura do feijão. O manejo eficiente desses fatores é essencial para assegurar colheitas saudáveis e produtivas em ambas as culturas.

Assim, a gestão precisa da temperatura e umidade emerge como fator crucial para otimizar o rendimento e a qualidade tanto do milho quanto do feijão. Garantir condições ideais desde a germinação até a colheita do milho é fundamental para o desenvolvimento saudável da cultura, enquanto o feijoeiro requer uma consideração cuidadosa das condições térmicas ao longo de seu ciclo de vida. A gestão eficaz da água no solo é uma necessidade comum a ambas as culturas, demandando monitoramento constante e a aplicação de práticas de manejo apropriadas. Ao adotar estratégias que levam em conta esses elementos, os agricultores podem minimizar os impactos negativos de extremos climáticos, maximizando, assim, a produção agrícola e assegurando colheitas de alta qualidade.

4.3 Desenvolvimento da Tecnologia

Nesta etapa, ocorre o processo de desenvolvimento da tecnologia que permite o monitoramento dos parâmetros agrícolas. As principais tecnologias utilizadas são os microcontroladores ESP da Heltec, com tecnologia LoRa integrada, e o protocolo MQTT. Para o monitoramento, foram utilizados sensores de umidade do ar e temperatura e sensor de umidade do solo. Um dos microcontroladores foi configurado para ler os dados dos sensores por meio da plataforma de desenvolvimento apropriada, neste caso, a Arduino IDE, programando com as linguagens C/C++. Este ESP é denominado Remetente e foi programado para enviar os dados dos sensores para o outro ESP, denominado Receptor.

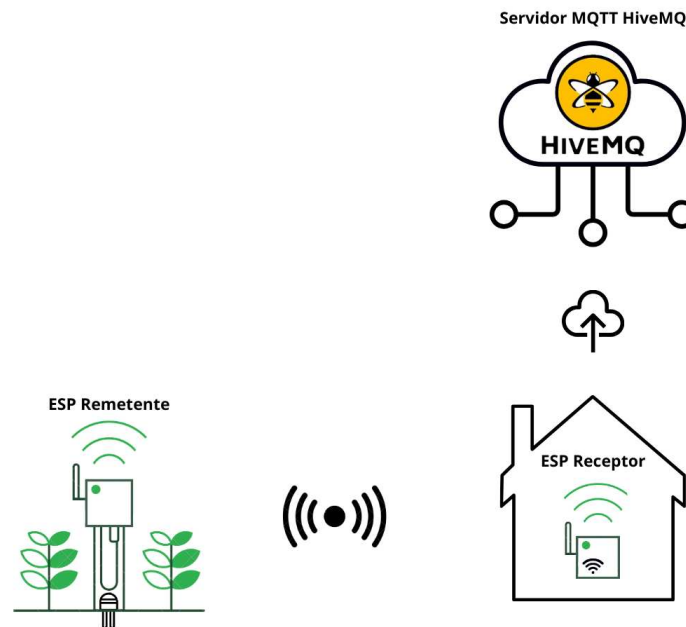
O Receptor foi configurado para enviar os dados para o HiveMQ, que é um servidor MQTT, fornecendo uma plataforma de gerenciamento e integração. Utilizando o protocolo LoRaWAN e o *gateway* LoRa, a transmissão dos dados foi realizada de forma sem fio e de longo alcance. Ao receber os dados do ESP Remetente, o Receptor enviou as informações para um servidor MQTT, que publica os dados de umidade do solo, umidade do ar e temperatura no serviço MQTT, disponibilizando-os para acompanhamento. Essa aplicação é capaz de armazenar e visualizar os dados em tempo real.

4.4 Implementação da tecnologia e criação de um protótipo

Na implementação da tecnologia, foi criado um protótipo. Seguindo determinados passos de elaboração, são eles: seleção dos componentes necessários, como 2 ESP da Heltec para a coleta de dados, sensor DHT11 para umidade do ar e temperatura e o sensor de umidade do solo capacitivo HW-390, o módulo LoRa para a comunicação e a utilização do protocolo MQTT para receber e processar os dados. O ambiente de desenvolvimento para programar o ESP foi configurado com as seguintes bibliotecas: Arduino, que contém as funções básicas e estruturas fundamentais; *'LoRaWan_APP'*, biblioteca para a configuração e operação do Módulo LoRa; *'HT-SD1306Wire'*, biblioteca para o controle do display OLED; GHT, biblioteca que permite a leitura de dados de sensores DHT11 ou DHT22 para medição de temperatura e umidade no ambiente; *'WiFi'*, utilizada para estabelecer a conexão Wi-Fi no ESP receptor; *'PubSubClient'*, utilizada para a comunicação MQTT, permitindo a implementação de um cliente MQTT aplicado no receptor para enviar os dados para o servidor MQTT; *Wire*, usada para a comunicação *peer to peer* (P2P) entre o microcontrolador e *'string.h'*, usada para a manipulação de *strings* no código.

A estrutura geral do sistema pode ser observada e compreendida com auxílio da Figura 5.

Figura 5 – Visão geral do sistema



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 5 acima, ilustra uma representação de como o sistema seria instalado em uma plantação. O ESP remetente seria implantado no meio da plantação desejada capturando os dados permeios do sensores, o ESP receptor é instalado na residência ou alojamento do agricultor, o remetente envia os dados de umidade do ar, umidade do solo e temperatura captados pelos sensores por meio da tecnologia de rádio LoRa para o receptor que possui um *display oled* que mostra esses dados para o agricultor que esteja na residência ou alojamento. Caso a residência tenha acesso a internet o receptor faz o envio desses dados para a plataforma HiveMQ. Permitindo o acesso remoto aos dados.

4.4.1 Preparação do Ambiente de Programação

A primeira etapa no processo de criação foi a instalação da plataforma de desenvolvimento Arduíno IDE, instalação das bibliotecas e instalação dos *drivers* para comunicação da máquina com os microcontroladores via USB, exemplificadas no site da fabricante dos dispositivos da Heltec.

4.4.2 Teste de Comunicação Entre Microcontroladores:

Após a adequação do ambiente de programação, foi feito um breve código para testar o *display OLED* do ESP, mostrando pequenos textos de "Olá, mundo", com as funcionalidades básicas testadas e iniciado o processo de comunicação entre os microcontroladores. A comunicação entre os ESPs é realizada por meio da tecnologia LoRa, e a biblioteca 'LoRaWan_APP.h' é utilizada para facilitar essa comunicação. O primeiro passo foi inicializar as configurações de frequência, largura de banda e fator de espalhamento, ativando em seguida a conexão. Foi criada uma função '*OnRxDone()*' onde, dentro dessa função, os dados são recebidos e a função também recebe informações sobre o pacote recebido, como o tamanho do pacote. Durante a etapa de testes, foram enviados pacotes com valores aleatórios para fins de teste na comunicação, que resultaram no envio e recebimento bem-sucedidos dos dados.

4.4.3 Conexão do ESP Receptor com a Internet:

Para realizar a conexão do ESP receptor à internet, foi utilizada o módulo WIFI embutido no ESP32. Após a adição da biblioteca 'Wi-Fi', foram definidas as credenciais do WIFI (SSID e senha) e, em seguida, na função '*setup()*', a conexão foi inicializada. Com a conexão à internet estabelecida, foi possível enviar dados para o servidor.

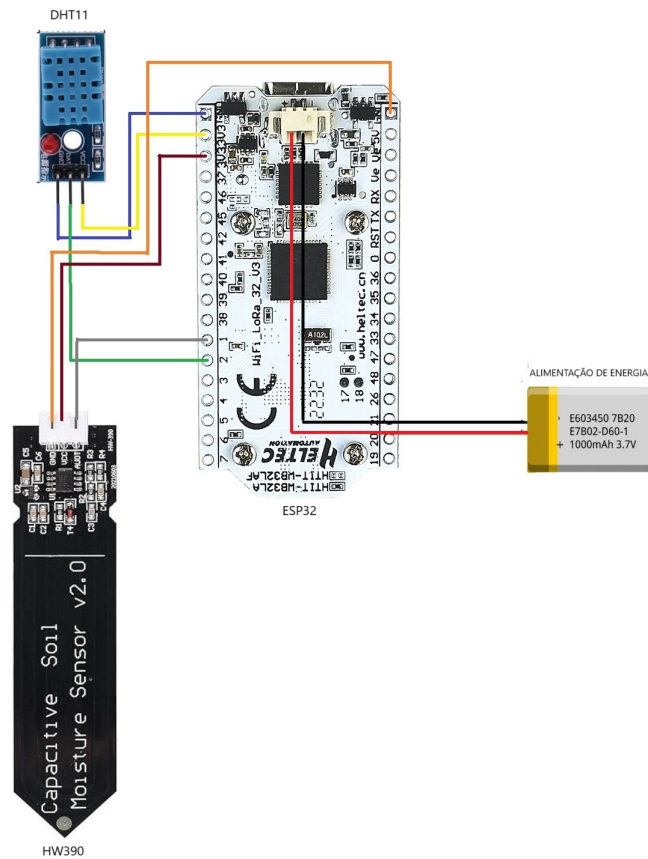
4.4.4 Integração com a Plataforma HiveMQ:

A integração do dispositivo ESP32 receptor com a plataforma HiveMQ envolveu a criação de uma comunicação eficiente e assíncrona por meio do protocolo MQTT. Inicialmente, foi necessário registrar-se na plataforma gratuita HiveMQ para obter credenciais de acesso, incluindo nome de usuário, senha e informações do servidor MQTT, como porta de acesso '8883' e *link* do servidor. No código do Receptor, foi adicionada a biblioteca MQTT '*PubSubClient*' e definidas as credenciais MQTT fornecidas pela HiveMQ, incluindo o endereço do servidor, porta, nome de usuário e senha. Em seguida, no método '*setup()*', foi feita a conexão ao servidor HiveMQ. Foi implementada uma função de retorno de chamada '*callback*' para lidar com mensagens MQTT recebidas, mantendo a conexão MQTT ativa no método '*loop()*'. Também foi implementada a lógica para enviar mensagens MQTT do ESP32 para a plataforma HiveMQ, utilizando a funcionalidade '*client.publish("topico-envio", mensagem.c_str());*'. Isso permitiu o envio dos valores recebidos do Remetente pelo receptor ao servidor MQTT.

4.4.5 Instalação dos Sensores:

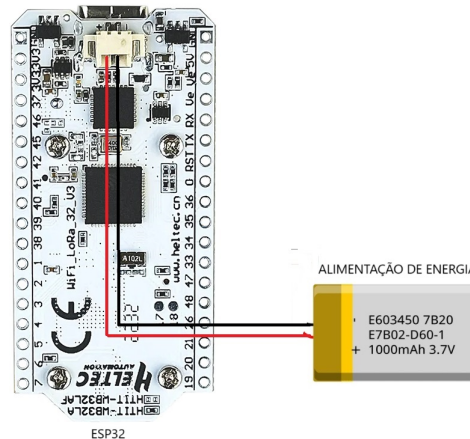
Para a integração dos sensores HW390 e DHT11 no ESP32 Remetente, os sensores foram conectados fisicamente ao microcontrolador, conforme mostrado na Figura 6. Para o DHT11, o pino de alimentação VCC foi conectado ao 3,3V do ESP32, o pino de dados DATA a um pino digital específico (no caso, o 2), e o pino de terra ao GND. Para o HW390, o pino de alimentação VCC foi conectado ao 3,3V do ESP32, o pino de sinal AUTO a um pino analógico (no caso, o pino 1), e o pino de terra ao GND. Já o receptor não teve integração com nenhum tipo de sensor, somente necessitou da conexão com uma bateria como mostra na figura 7.

Figura 6 – Esquema de ligação do ESP remetente



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 7 – Esquema de ligação do ESP receptor



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na IDE, adicionou-se as bibliotecas necessárias 'DHT' e iniciou-se a escrita do código para a leitura dos dados dos sensores, inicializando-os no método '*setup()*' e lendo os valores no método '*loop()*'. Foram definidos os pinos de dados de cada e sensores especificado o tipo de sensor DTH os dados são captados utilizando o método '*dht.readhumidity*' para umidade do ar e '*dht.readTemperature*' para a temperatura do ar. Já em relação ao sensor HW-390 os dados de umidade do ar são captados de forma analógica por meio do método '*analogRead()*', que recebe como parâmetro o pino analógico definido.

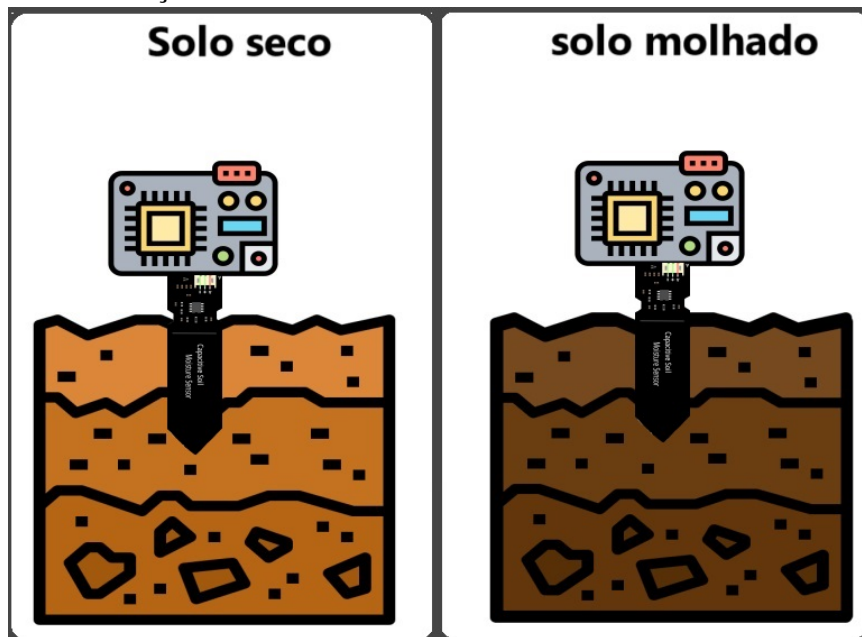
Para testar os sensores foi criado inicialmente um código somente com a finalidade de teste que foi carregando-o no ESP32 e verificado no monitor serial para checar se os dados dos sensores foram lidos corretamente. Finalmente, integrado ao código dos sensores ao código principal do Remetente o envio dos dados lidos para o receptor e o receptor para o servidor HiveMQ, conforme necessário para o projeto.

Os microcontroladores passaram a ser alimentados por baterias de 3,3v assim como na descrição dos fabricantes dos microcontroladores, para que pudessem ser feito teste em campo.

O sensor de umidade do solo HW-390 capta dados analógicos, para demonstrar informações intuitivas para o agricultor foi necessário uma calibração do sensor, pois os dados analógicos recebidos não são intuitivos. Tornando necessário a conversão desses dados analógicos em porcentagem da umidade do solo, para fazer essa conversão foi necessário um experimento ilustrado na Figura 8, que registra o valor captado de um solo muito seco para registra o maior

valor que representa 100% de umidade no solo, e um solo com uma grande quantidade de água presente para pegar o valor mínimo referente a 0% de umidade do solo. E assim ao receber os dados do solo é possível fazer uma comparação do valor analógico recebido e representa-los em formato de porcentagem.

Figura 8 – Calibração do sensor HW-390



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.5 Teste em campo do protótipo

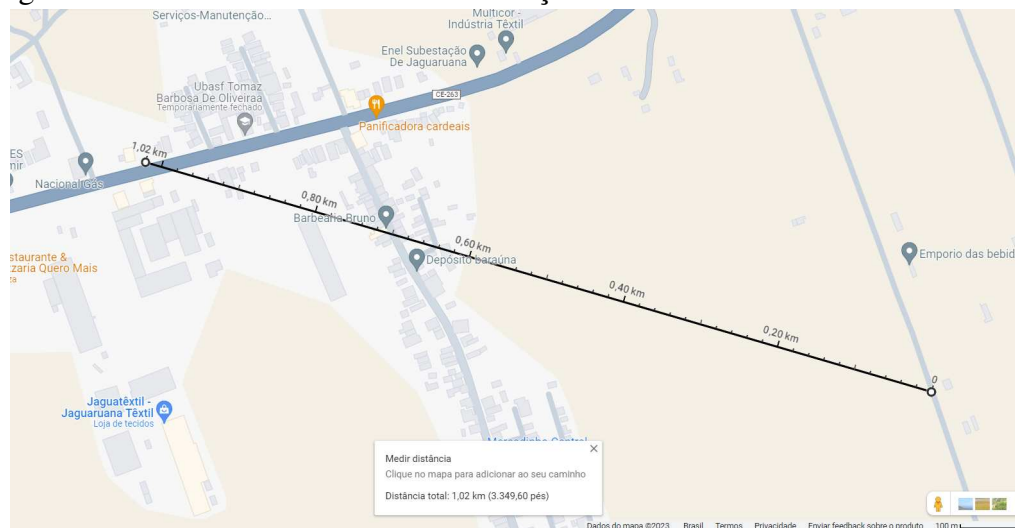
O primeiro teste realizado em campo foi a distância da comunicação P2P via rádio do módulo LoRa, onde o dispositivo Remetente ficou fixado em um lugar e o Receptor foi sendo afastado gradualmente até atingir uma distância em que não tivesse mais a transferência de dados. A partir dos 600 metros de distância o receptor não estava mais recebendo os dados do remetente. Após esse teste, realizou-se a otimização no código da configuração LoRa ajustando a frequência, a largura de banda e o fator de espalhamento como mostra na tabela 1. A criação de uma funcionalidade no código para fazer a contagem do tempo de envio de um pacote para o outro para poder realizar teste de desempenho mais preciso. Após a aplicação das alterações foi obtido um considerável aumento do alcance do rádio LoRa como é mostrado na Figura 9, onde a distância máxima foi de 1020 metros.

Tabela 1 – Configurações da comunicação LoRa

VARIÁVEIS	PARÂMETROS
Frequência (<i>RF_FREQUENCY</i>)	927000000 Hz
Potência de Transmissão (<i>TX_OUTPUT_POWER</i>)	10 dBm
Taxa de Espalhamento Espectral (<i>Spreading Factor - LORA_SPREADING_FACTOR</i>)	11 (SF11)
Largura de Banda (<i>LORA_BANDWIDTH</i>)	0 (125 kHz)
Correção de Erro (<i>Coding Rate - LORA_CODINGRATE</i>)	1
Tempo de Espera (<i>RX_TIMEOUT_VALUE</i>)	1000

Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 9 – Distância máxima da comunicação LoRa



Fonte: Google Maps, 2023.

O teste seguinte foi feito para obter o desempenho da tecnologia desenvolvida, considerando os aspectos de umidade do solo, temperatura do ambiente e umidade do ambiente. Foram selecionados algumas culturas para realização dos teste dentre elas o coco, ciriguela, acerola e o milho todos em fase de desenvolvimento. Neste teste o ESP remetente foi instalado nas culturas em momentos e em condições diferentes, mas em uma mesma propriedade de terras, simulando a instalação em uma plantação comum. Com o objetivo de fazer a coleta de dados e uma análise prévia dos dados para verificar se a tecnologia torna possível o monitoramento das condições que envolvem a qualidade da plantação. A coleta de dados foi feita através dos dados recebidos pelo servidor HiveMQ. Cerca de 360 dados captados pelos sensores sendo eles 120 de temperatura, 120 umidade do ar e 12 da umidade do solo sendo divididos entre as culturas citadas acima. Com objetivo de realizar uma análise do comportamento das variáveis de acordo com as mudanças no ambiente dessas culturas.

5 RESULTADOS

Os testes e experimentos realizados na aplicação IoT para agricultura oferecem uma visão detalhada da eficácia da solução proposta. Ao integrar dispositivos como o microcontrolador Remetente equipado com sensores DHT11 para monitoramento do ambiente e o sensor HW-390 para medição de umidade do solo, juntamente com a tecnologia LoRa para transmissão de dados, buscamos otimizar a gestão agrícola. Foram explorado diversas culturas, incluindo coco, ciriguela, acerola e milho, aplicando condições reais de plantio. Durante a experimentação, foram registradas leituras precisas e instantâneas das condições ambientais, que proporcionam aos agricultores uma visão em tempo real das necessidades específicas de suas plantações. Ao longo deste processo, avaliamos não apenas a eficácia da transmissão de dados entre o Remetente e o Receptor, mas também a resiliência da solução em face de desafios ambientais. Obstáculos naturais, interferências e variações nas condições climáticas foram considerados.

Os resultados experimentais apresentados a seguir oferecem uma análise das capacidades da solução em diferentes cenários agrícolas. Essas descobertas não apenas validam a aplicabilidade prática da tecnologia, mas também sugerem *insights* valiosos para futuras implementações e refinamentos da solução. As figuras 10, 11 e 12 a seguir complementam visualmente esses resultados, destacando o dispositivo Remetente instalado no solo, o dispositivo Receptor recebendo os dados e uma captura de tela da plataforma HiveMQ, evidenciando o recebimento eficiente dos dados.

Figura 10 – Dispositivo Receptor



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 11 – Dispositivo remetente



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 12 – Plataforma HiveMQ

Message	Topic	QoS	Timestamp
UmiSolo:72.00%	UMIDADE DO SOLO	0	1701649720452
UmiAr:63.00	UMIDADE DO AR	0	1701649720443
Temp:32.3C	TEMPERATURA	0	1701649720433
UmiSolo:72.00%	UMIDADE DO SOLO	0	1701649718343
UmiAr:63.00	UMIDADE DO AR	0	1701649718332
Temp:32.3C	TEMPERATURA	0	1701649718324
UmiSolo:72.00%	UMIDADE DO SOLO	0	1701649716248
UmiAr:63.00	UMIDADE DO AR	0	1701649716230
Temp:32.3C	TEMPERATURA	0	1701649716217
UmiSolo:72.00%	UMIDADE DO SOLO	0	1701649714117

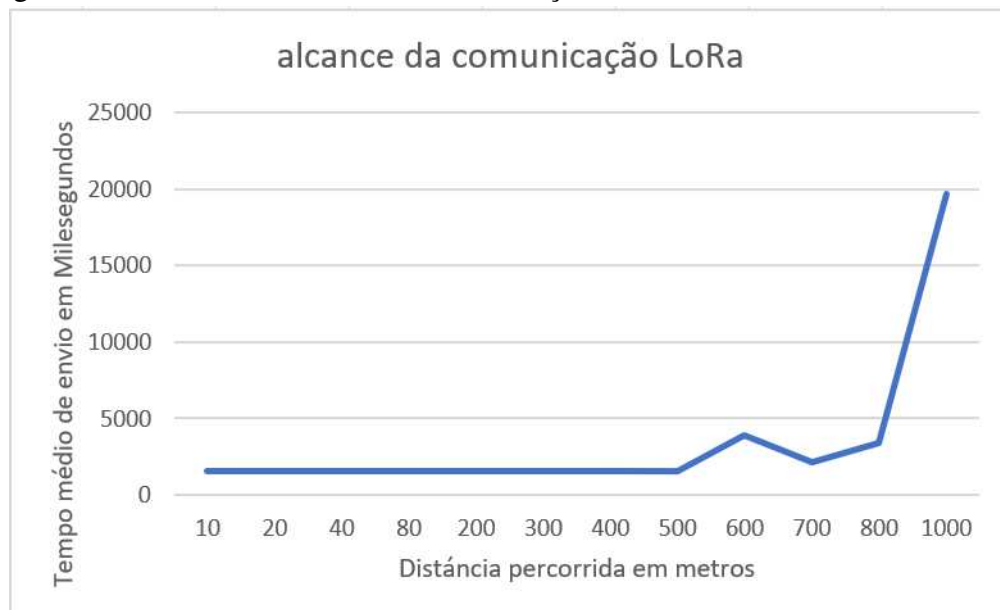
Fonte: Site HiveMQ.cloud, 2023.

A Figura 12 anterior, permite a visualização do dados recebidos pelo receptor sendo publicados em seus respectivos tópicos na plataforma HiveMQ.

5.1 Resultados do Teste de alcance da comunicação LoRa

Após a aplicação das alterações de otimização no código de conexão LoRa mencionadas no seção 4.5 houve um considerável aumento da do alcance LoRa como mostra na Figura 13, em até 500 metros a transferência de pacote dura cerca de 1 segundo e meio, entre 500 e 800 metros o tempo médio de envio de pacote varia de 3 segundos, de 800 a 1.000 metros esse tempo é de 96 segundos aproximadamente, após 1.020 metros a transferência de dados é paralisada. Vale ressaltar que a o tempo de envio de cada pacote no teste após os 800 metros variou de 2 a 550 segundos, visto que houve a comunicação de pacotes em 2 segundos temos que dependendo da localidade como por exemplo lugares altos ou campo aberto mesmo com uma distancia de 800 metros ainda é possível ter uma comunicação com tempo considerável.

Figura 13 – Distancia máxima da comunicação LoRa



Fonte: Elaborado pelo autor.

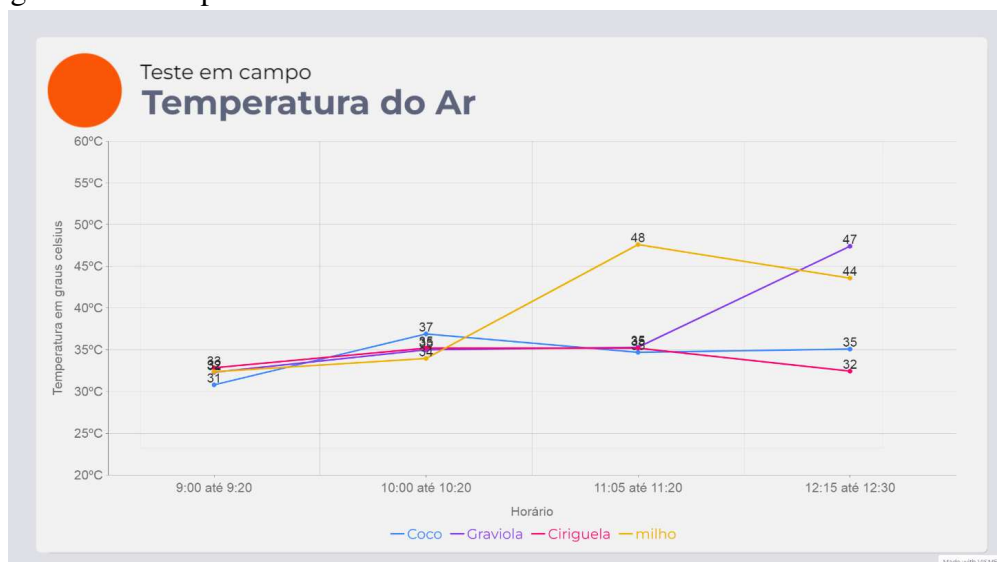
5.2 Resultados do teste experimental

Após a coleta de dados descrita na seção 4.5 foi feito uma análise de dados dividindo os dados em intervalo de tempo para comparação dos valores captados em cada tipo de cultivo em diferentes momentos do dia. a coleta de dados foi realizada entre os intervalos de: 9:00 as

9:20, 10:00 as 10:20, 11:05 as 11,20 e 12:10 as 12:30. Após a divisão do horário, os tipo de dados: temperatura do ar, umidade do ar e umidade do solo foram separados para que pudesse ser feito a média dos seus valores para que pudesse ser feito a comparação dos valores ao decorrer do tempo e verificar a diferença dos valores do solo antes da irrigação e após a irrigação.

A Figura 14 a seguir, retrata a variação da temperatura média das culturas citadas, observasse que a temperatura do milho atingiu os 46° C no intervalo de 11:05 as 11:20 após passar a ter contato direto com os raios solares elevando muito a temperatura do ambiente do milho, após as 12:00 o pé de graviola também passou a ficar totalmente exposto ao sol também tendo o registro de sua temperatura elevada. As demais culturas mantiveram um aumento baixo de temperatura ao decorrer de tempo do experimento devido permanecerem em sua grande parte fora do alcance direto do sol.

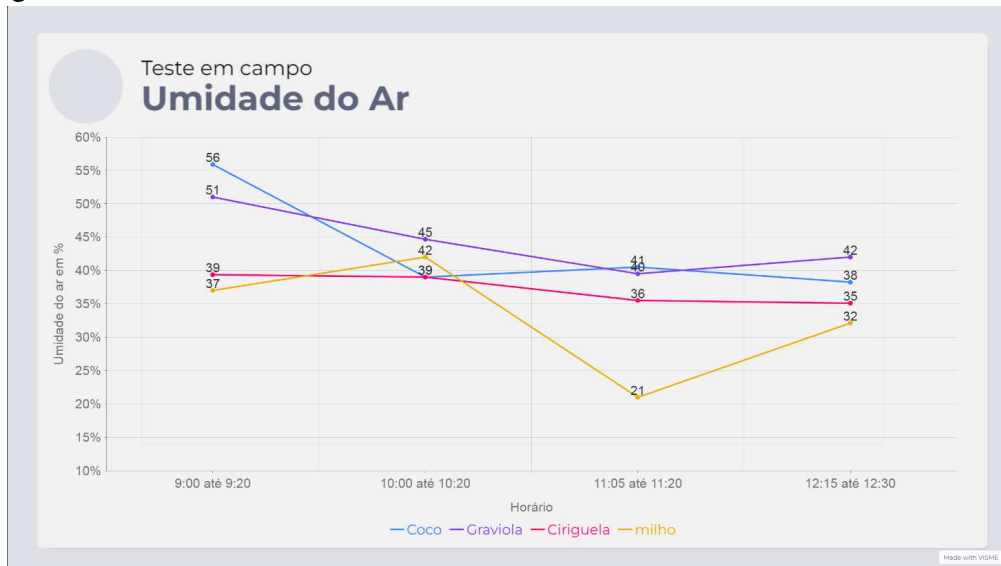
Figura 14 – Temperatura do Ar



Fonte: Elaborado pelo autor.

A variação média da umidade do ar está sendo representada na Figura 15 abaixo, vale ressaltar que medida de umidade do ar é em representada em porcentagem onde quanto maior o valor mais úmido esta o ar do ambiente e quanto menor o valor mais seco está o ar do local, a figura mostra que as 9:00 a umidade do ar entre as culturas é de 37% a 56%, ao decorrer do tempo a umidade do ar da ciriguela se manteve em queda enquanto as demais tiveram um pouco mais de variação, vale ressaltar que o milho que se encontrava em um ambiente mais afastado dos demais teve grandes variações na umidade do ar comparado as outras culturas. É relacionado a temperatura anterior mais baixa ao nível mais alto de umidade no ar, enquanto a temperatura vai subindo a média da umidade do ar vai diminuindo.

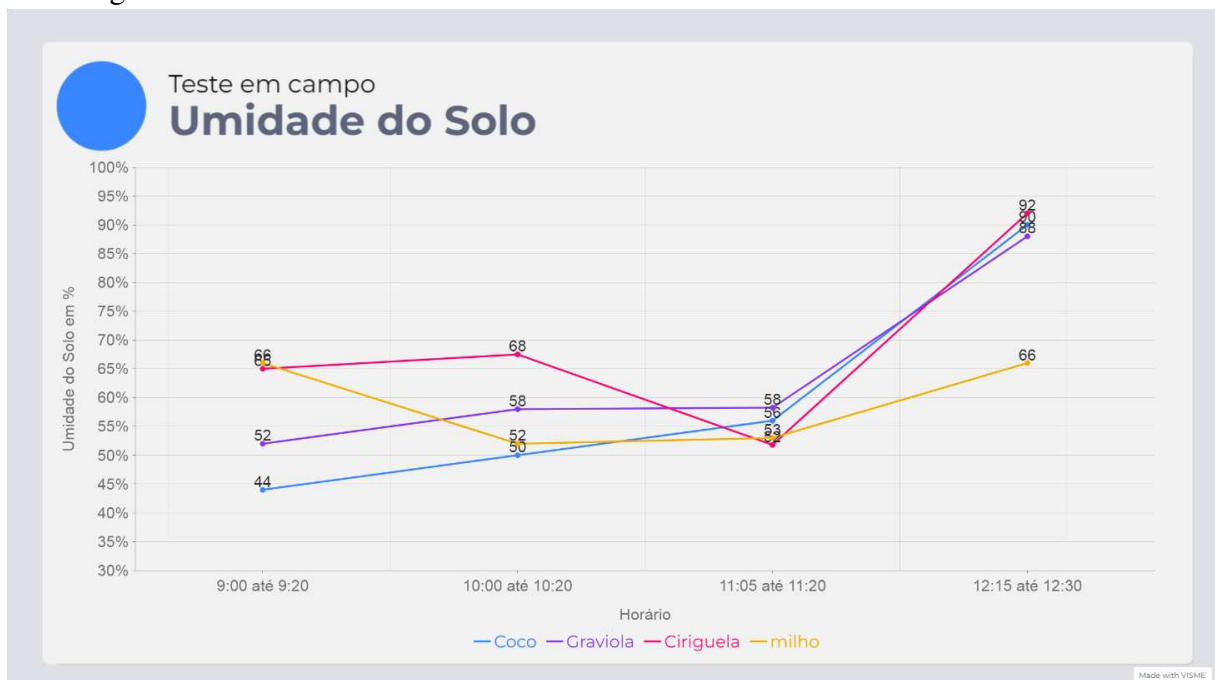
Figura 15 – Umidade do Ar



Fonte: Elaborado pelo autor.

A próxima variável demonstrada na Figura 16 representa a umidade presente no solo. As médias também são representadas em porcentagem mas diferente dos dados da umidade do ar, os valores da umidade do solo necessitaram de uma conversão de valores pois quanto menor era valor da porcentagem mais úmido era o solo e quanto mais perto de 100% mais seco era o solo, devido ao tipo de captação analógica dos dados do sensor de umidade do solo. Após a conversão a representação passou a ser igual ao da umidade do ar onde o valor mínimo representa 0% e o máximo 100%.

Figura 16 – Umidade do Solo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura 16, vemos uma constância nos dados de umidade do solo de todas as culturas nos intervalos de 10:00 as 11:20, após esse período foi realizado a irrigação do solo, que acarretou em aumento expressiva da média de umidade do solo que representa uma grande quantidade de umidade no solo.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Com base no desenvolvimento deste trabalho, conclui-se que a solução proposta de Internet das Coisas para pequenos agricultores na região do Vale Jaguaribe apresenta grande potencial para melhorar a produtividade e eficiência na agricultura familiar. Através da implementação de dispositivos IoT, os agricultores poderão monitorar e controlar diversos aspectos do cultivo, como temperatura, umidade do ar e umidade do solo, além de receberem informações em tempo real sobre a situação atual do ambiente seu plantio. Além disso, a solução proposta foi desenvolvida levando em conta as particularidades da região, como o clima e as culturas cultivadas, e a viabilidade financeira para os agricultores familiares. Portanto, acredita-se que este trabalho possa contribuir significativamente para o desenvolvimento da agricultura familiar na região do Vale Jaguaribe e servir de base para futuras pesquisas e implementações de soluções tecnológicas para o setor.

Há diversas oportunidades de aprimoramento para a solução proposta em trabalhos futuros. Essas incluem o desenvolvimento de uma interface de usuário por meio de um aplicativo ou sistema web para facilitar a interpretação dos dados pelos agricultores, a investigação para ampliar o alcance da comunicação LoRa, a integração com sistemas de irrigação automáticos para uma abordagem mais completa na gestão agrícola, a aplicação de técnicas de *machine learning* para previsões avançadas e a realização de estudos de viabilidade econômica e social para avaliar a implementação em larga escala. Essas sugestões refletem diferentes aspectos que podem contribuir para o contínuo aprimoramento e eficácia da solução.

REFERÊNCIAS

- ANTONIO, E. F. Redes wireless, wifi: Wlans. p. 06–07, 2007.
- BIANCA, B. N.; LUÍS, E. B.; PEDRO, A. A. Iot aplicada à agricultura familiar: Estudo da viabilidade de sistemas de irrigação em hortas. 2021.
- CNA. CAPEA, and CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA -PIB DO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO. CEPEA, 2023. Disponível em: "<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>". Acesso em: 05 junho. 2023.
- CNA. CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA EM DO BRASIL -Agropecuária é destaque do PIB do Ceará em 2022. CNA, 2023. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/noticias/agropecuaria-e-destaque-do-pib-do-ceara-em-2022>. Acesso em: 17 junho. 2023.
- EMATERCE. **Relatório sobre a produção de grãos em sequeiro no Ceará.** 2023. Acesso em 4 de junho de 2023. Disponível em: <https://drive.google.com/drive/folders/1s8qHE6dcCfD9LWtefHy7QW8wB82KS0zQ>.
- EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Revitalização da citricultura do Vale Jaguaribe - CE.** [S. l.]: EMBRAPA, 2020.
- HUGO, T. T. Instrumentação eletroeletrônica. **Editora e Distribuidora Educacional S.A.**, v. 03, p. 5–150, 2017.
- IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística -Censo Agropecuário2017: Resultados Definitivos.** IBGE, 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censoagropecuario/censo-agropecuario-2017>. Acesso em: 18 junho. 2023.
- IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística -Produção Agrícola Municipal: PAM .** 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 01 julho. 2023.
- JOYCE, T. C.; GISELE, E. S. A utilizaÇÃO de tecnologias para o desenvolvimento da agricultura familiar. **Rev. Varia Scientia Agrárias.**, v. 03, p. 161–169, 2013.
- KAREM, R.; SCOTT, E.; LYMAN, C. **The Internet of Things an Overview.** © 2015 The Internet Society (ISOC)., 2015. Disponível em: <http://www.INTERNETSOCIETY.ORG>.
- KLEBIO, J. Aplicação de internet das coisas (iot) na agricultura de precisão. 2021.
- MARCOS, A. C. Aplicação distribuida de monitoramento de solos para agricultura familiar utilizando internet das coisas. 2019.
- MOVECE. **O Vale Do Jaguaribe E A Vocação Agrícola.** Move Ceará, 2019. Disponível em: <https://moveceara.com.br/o-vale-do-jaguaribe-e-a-vocacao-agricola/>. Acesso em: 29 junho. 2023.
- NEIL, K. **ESP32 Development Workshop.** [S. l.: s. n.], 2017. v. 1.
- PEDRO, B. **Projetos com ESP32 e LoRa.** [S. l.: s. n.], 2019. v. 1.

ROGÉRIO, B. S.; RAQUEL, S. s. Smart agriculture: Estudo exploratório sobre a agricultura orientada pela tecnologia da informação e comunicação. **Rev. IPECE. I.**, FORTALEZA, 2022.

SOUSA, F. C.; SOARES, R. D.; CAMPOS, R. Iiot utilizando protocolo mqtt. *Ânima, E.*, p. 08–09, 2021. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/18962>.

VALERIA, L. Building smarter planet solutions with mqtt and ibm websphere mq telemetry. p. 06–07, 2012.