

INSTITUTO FEDERAL
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
Bahia

Campus
Vitória da Conquista



COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA ELÉTRICA - **COEEL**

PROJETO FINAL DE CURSO - PFC

Sistema para Monitoramento Remoto e em Tempo Real
das Condições do Solo e do Ambiente para Agricultura
de Precisão

RHAILAN FERNANDES ATAIDE

Vitória da Conquista-BA

21 de Fevereiro de 2025

RHAILAN FERNANDES ATAIDE

Sistema para Monitoramento Remoto e em Tempo Real das Condições do Solo e do Ambiente para Agricultura de Precisão

Projeto Final de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, *campus* Vitória da Conquista, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. MSc. Gabriel Vidal Negreiros Bezerra

Vitória da Conquista-BA

21 de Fevereiro de 2025

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO SISTEMA DE BIBLIOTECAS DO IFBA, COM OS
DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

A862s Ataide, Rhailan Fernandes

Sistema para monitoramento remoto e em tempo real das condições do solo e do ambiente para agricultura de precisão / Rhailan Fernandes Ataide; Orientador Prof. Gabriel Vidal Negreiros Bezerra -- Vitória da Conquista: IFBA, 2025.

132p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) -- Instituto Federal da Bahia, 2025.

1.Agricultura de precisão. 2.Monitoramento ambiental. 3.Sistemas Embarcados. 4.Internet das Coisas (IoT). 5.Automação agrícola. I.Bezerra, Gabriel Vidal Negreiros, orient. II.TÍTULO.

CDU:631:621.7

FOLHA DE APROVAÇÃO PFC

SISTEMA PARA MONITORAMENTO REMOTO E EM TEMPO REAL DAS CONDIÇÕES DO SOLO E DO AMBIENTE PARA AGRICULTURA DE PRECISÃO

RHAILAN FERNANDES ATAIDE

A presente Monografia de Projeto Final de Curso (PFC), apresentada em sessão realizada em **21 de Fevereiro de 2025**, foi avaliada como adequada para a obtenção do Grau de Engenheiro Eletricista, julgada **aprovada** em sua forma final pela Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Campus Vitória da Conquista.

Banca Examinadora:

Prof. Me. Gabriel Vidal Negreiros Bezerra (Orientador)
IFBA campus Vitória da Conquista

Prof. Me. Luciano Ferraz dos Santos Silva
IFBA campus Vitória da Conquista

Prof. Esp. Clodoaldo Gomes Messias
IFBA campus Vitória da Conquista



Documento assinado eletronicamente por **GABRIEL VIDAL NEGREIROS BEZERRA, Professor(a) do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico - EBTT**, em 23/02/2025, às 23:48, conforme decreto nº 8.539/2015.



Documento assinado eletronicamente por **CLODOALDO GOMES MESSIAS, Professor Efetivo**, em 24/02/2025, às 15:31, conforme decreto nº 8.539/2015.



Documento assinado eletronicamente por **LUCIANO FERRAZ DOS SANTOS SILVA, Professor(a) do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico - EBTT**, em 26/02/2025, às 16:56, conforme decreto nº 8.539/2015.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site http://sei.ifba.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&acao_origem=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0 informando o código verificador **4021674** e o código CRC **F77DD999**.

O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos fará coisas admiráveis.

José de Alencar

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto Federal de Ciência e Tecnologia da Bahia, pela excelência no ensino e pela oportunidade de crescimento acadêmico e profissional.

Minha gratidão especial ao Prof. Gabriel Vidal Negreiros Bezerra, por sua orientação, paciência e dedicação, contribuindo imensamente para o desenvolvimento deste projeto.

À minha mãe, Telma, pelo amor incondicional, pelo apoio incansável e por acreditar em mim em todos os momentos. Sua força e incentivo foram essenciais para que eu chegasse até aqui.

Ao meu amigo e sócio Sidiney Junior, pelo suporte constante, pelas palavras de incentivo e por sempre me impulsionar a dar o meu melhor.

Aos meus padrinhos, Claudinei e Maria Aparecida, e às minhas primas, Thayna, Thalita e Thaissa, por me acolherem com tanto carinho enquanto estive longe de casa para realizar este curso. Sem vocês, essa jornada teria sido muito mais difícil.

À minha amiga, Laiza, por compartilhar comigo cada passo desta caminhada acadêmica, tornando essa fase mais leve e significativa.

Ao meu amigo, Jonas Machado, pelo apoio e pelas contribuições valiosas na escolha dos componentes e ideias para o desenvolvimento do projeto.

Ao meu amigo, Francisco Meira, pelas dicas essenciais e pela ajuda no desenvolvimento do aplicativo móvel, tornando o processo mais eficiente e estruturado.

Aos meus amigos, Antonio Bandeira e Heitor Lemos, pelo suporte no momento de modelagem e impressão da estrutura 3D, garantindo a materialização do projeto com qualidade e precisão.

Por fim, a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para essa trajetória, seja com palavras de apoio, incentivo ou conhecimento compartilhado. A cada um de vocês, minha mais sincera gratidão.

RESUMO

A agricultura de precisão atualmente se destaca como uma abordagem essencial para otimização da produção agrícola, pois permite uma análise detalhada e localizada das condições do solo, refletindo em um melhor gerenciamento de recursos naturais e minimizando os desperdícios. Diante desse cenário, o presente trabalho visa desenvolver um dispositivo integrado com baixo custo para o monitoramento de parâmetros do solo e do ambiente, como temperatura, umidade, condutividade elétrica, pH e luminosidade. O dispositivo foi projetado para trabalhar de forma autônoma, utilizando baterias recarregáveis alimentadas por painéis solares e integrado a um aplicativo móvel, permitindo a visualização e análise dos dados coletados em tempo real. A elaboração abrange a criação de uma placa de circuito impresso para integrar todos os componentes e sensores utilizados, a fabricação de uma estrutura 3D robusta para proteção do sistema, a realização de medições experimentais para possibilitar a validação do sistema desenvolvido, e o desenvolvimento do aplicativo móvel para tornar os dados visíveis ao usuário. Os resultados apontam que o sistema desenvolvido é uma ferramenta promissora para auxiliar pequenos, médios e grandes produtores na implementação de técnicas de agricultura de precisão, contribuindo para um melhor desenvolvimento das culturas, reduzindo impactos ambientais e maximizando os rendimentos.

Palavras-chave: Agricultura de precisão. Monitoramento ambiental. Sistemas Embarcados. Internet das Coisas (IoT). Automação agrícola.

ABSTRACT

Precision agriculture currently stands out as an essential approach for optimizing agricultural production, as it allows for a detailed and localized analysis of soil conditions, resulting in better management of natural resources and minimizing waste. Given this scenario, this work aims to develop a low-cost integrated device for monitoring soil and environmental parameters, such as temperature, humidity, electrical conductivity, pH, and luminosity. The device was designed to work autonomously, using rechargeable batteries powered by solar panels and integrated with a mobile application, allowing the visualization and analysis of the collected data in real time. The development includes the creation of a printed circuit board to integrate all the components and sensors used, the fabrication of a robust 3D structure to protect the system, the performance of experimental measurements to enable the validation of the developed system, and the development of the mobile application to make the data visible to the user. The results indicate that the developed system is a promising tool to assist small, medium, and large producers in implementing precision agriculture techniques, contributing to better crop development, reducing environmental impacts, and maximizing yields.

Keywords: Agricultural automation. Embedded Systems. Environmental monitoring. Internet of Things (IoT). Precision agriculture.

Lista de Figuras

1.1	Gráfico da evolução da área plantada e da produção ao longo dos anos. Fonte: adaptado de Embrapa (2017a)	4
2.1	Ferramentas agrícolas rudimentares.	8
2.2	Mapa da Crescente Fértil, na região da Mesopotâmia, Ásia Menor. . .	8
2.3	Modelos primitivos de arados à tração animal.	9
2.4	Escassez alimentícia no Brasil: notícia jornalística de 1968.	11
2.5	Culturas mais cultivadas entre 1977 e 2017.	12
2.6	Condições das plantas em diferentes níveis de umidade.	17
2.7	Aplicativo móvel desenvolvido por Dias et al. (2019)	22
2.8	Fluxograma do dispositivo, Tela do aplicativo, Conexões entre os dispositivos (da esquerda para direita e de cima para baixo) desenvolvido por Albuquerque (2019)	23
2.9	Fluxograma do dispositivo, Telas do aplicativo (de cima para baixo) desenvolvido por Christensen e Fonseca (2023)	24
2.10	Telas da interface <i>web</i> (a esquerda), Dispositivo (a direita) desenvolvido por Velooso (2023)	25
2.11	Menu de entrada do dashboard desenvolvido por Alves (2023)	26
2.12	Menu de informações do dashboard desenvolvido por Alves (2023) . .	27
2.13	Dispositivo desenvolvido, Tela do aplicativo (da esquerda para direita) desenvolvido por Zainal et al. (2024)	28
2.14	Esquemático do protótipo desenvolvido por Vasconcelos et al. (2024) . .	29
2.15	Dashboard para análise dos dados desenvolvido por Vasconcelos et al. (2024)	29
3.1	Diagrama para representação do projeto.	31
3.2	Microcontrolador ESP32.	33
3.3	Gráfico de Luminosidade x Resistência do LDR.	34
3.4	Módulo Sensor LDR.	35
3.5	Etapas do processo de integração do módulo LDR.	35
3.6	Módulo Sensor DHT22.	38
3.7	Etapas do processo de integração do módulo DHT22.	39
3.8	Sensor THCPH - S.	41

3.9	Etapas do processo de integração do sensor THCPH-S.	43
3.10	Módulo RTC.	46
3.11	Etapas do processo de integração do módulo RTC.	47
3.12	Módulo Cartão Micro SD.	48
3.13	Etapas do processo de integração do módulo de cartão Micro SD. . .	49
3.14	Display OLED.	51
3.15	Etapas do processo de integração do display OLED.	51
3.16	Etapas do processo de configuração para conectar o ESP32 ao Wi-Fi do local.	54
3.17	Etapas do processo de construção do banco de dados via Firebase. .	57
3.18	Etapas do processo de configuração do Firebase.	59
3.19	Etapas do processo de configuração do Firebase.	60
3.20	Etapas do processo do fluxo completo do código.	61
3.21	Esquemático de conexões de parte dos dispositivos.	64
3.22	Conexões físicas realizadas.	65
3.23	Esquema de funcionamento do sistema Off-Grid.	66
3.24	Diagrama do sistema de alimentação.	67
3.25	Controlador de Carga MPPT CN3722.	68
3.26	Bateria de Li-On 7,4V.	69
3.27	Painel Solar 3W.	70
3.28	Regulador de Tensão Buck.	70
3.29	Esquemático do sistema de alimentação.	71
3.30	Esquemático do sistema completo.	72
3.31	Logomarca da EasyEDA.	72
3.32	Esquemático de conexões no software EasyEDA.	73
3.33	Desenho das trilhas no software EasyEDA.	74
3.34	Visualização 3D das PCB's.	75
3.35	Visualização 3D das PCB's.	75
3.36	Logomarca do Fusion 360.	76
3.37	Estrutura de fixação no solo.	77
3.38	Estrutura para fixação das PCB's parte interna.	77
3.39	Estrutura visão externa.	78
3.40	Estrutura para fixação dos painéis solares.	78
3.41	Diagrama base para construção da aplicação móvel.	80
3.42	Diagrama com fluxo completo do aplicativo.	82
3.43	Tela inicial, Tela de verificação, Tela com as informações do Wi-Fi do sistema (da esquerda para direita).	82
3.44	Tela inicial, Tela para informar os dados do Wi-Fi que deseja conectar, Tela com instruções após conexão (da esquerda para direita).	83

3.45 Tela de últimas medições para cada sensor, Tela para selecionar data de visualização, Tela de gráfico e lista das medições por dia de umidade do solo (da esquerda para direita).	84
3.46 Tela de últimas medições para cada sensor, Tela para selecionar data de visualização, Tela de gráfico e lista das medições de condutividade elétrica do solo (da esquerda para direita).	85
4.1 Prototipagem do layout das trilhas.	87
4.2 PCB soldada, PCB montada (da esquerda para direita).	88
4.3 PCB auxiliar sensor de luminosidade, PCB auxiliar do cartão microSD, PCB auxiliar do sensor DHT22 (da esquerda para direita).	88
4.4 PCB auxiliar do display, PCB auxiliar do sensor de luminosidade (da esquerda para direita).	89
4.5 Estrutura totalmente montada.	90
4.6 Estrutura pré-montada, Estrutura com as PCB's fixadas (da esquerda para direita).	91
4.7 Estrutura para fixação no solo, Estrutura para angulação dos painéis solares (da esquerda para direita).	91
4.8 Estrutura para fixação dos painéis solares.	92
4.9 Tela do aplicativo mostrando todos os dados dos sensores.	97
4.10 Telas do aplicativo mostrando os dados de temperatura do solo por dia, mês e ano.	98
4.11 Telas do aplicativo mostrando os dados de umidade do solo por dia, mês e ano.	99

Lista de Tabelas

4.1	Ensaio de medição entre os dias 04/02/2025 e 05/02/2025 dos parâmetros do solo.	93
4.2	Ensaio de medição entre os dias 04/02/2025 e 05/02/2025 dos parâmetros do ambiente.	94
4.3	Ensaio de medição entre os dias 06/02/2025 e 07/02/2025 dos parâmetros do solo.	94
4.4	Ensaio de medição entre os dias 06/02/2025 e 07/02/2025 dos parâmetros do ambiente.	95
4.5	Valor em R\$ por equipamento	101

Lista de Códigos

A.1	Configurando porta GPIO34	115
A.2	Função para leitura do valor bruto do LDR	115
A.3	Função para aplicar normalização nos valores brutos lidos do LDR	115
A.4	Importando a biblioteca do modulo DHT22	115
A.5	Função para inicializar o módulo DHT22	116
A.6	Função para ler os valores de umidade e temperatura do ar	116
A.7	Importando a biblioteca ModbusMaster	116
A.8	Criando variáveis para armazenamento dos parâmetros do solo	116
A.9	Configurando porta serial 02	117
A.10	Função para controlar o estado do módulo MAX485	117
A.11	Função para ler os registros Modbus	117
A.12	Função para extrair os registros Modbus	117
A.13	Verificando os dados do medidos do sensor THCPH-S	117
A.14	Importando a biblioteca do RTC e criando o objeto rtc	118
A.15	Inicializando RTC e configurando a data e a hora	118
A.16	Modelo para obter data e hora	118
A.17	Importando a biblioteca do módulo de cartão MicroSD	119
A.18	Definindo porta GPIO que será o Chip Select (CS)	119
A.19	Inicializando o módulo de cartão MicroSD	119
A.20	Armazenando dados no cartão MicroSD	119
A.21	Importando biblioteca do Display OLED	120
A.22	Definindo constantes para configurar o Display OLED	120
A.23	Criando o objeto e configurando o Display OLED	120
A.24	Código para inicializar o Display OLED	120
A.25	Código para inicializar o Display OLED	120
A.26	Importando a biblioteca do Wi-Fi	121
A.27	Criando objeto preferences	121
A.28	Importando biblioteca do servidor HTTP	121
A.29	Criando objeto server	121
A.30	Criando variáveis para salvar as credenciais do Wi-Fi	121

A.31 Carregando credenciais do Wi-Fi	121
A.32 Criando o Access Point	122
A.33 Criando a página Web	122
A.34 Função handleRoot	122
A.35 Função handleSubmit	124
A.36 Função handleConnected	125
A.37 Importando a biblioteca do Firebase	127
A.38 Importando a biblioteca ArduinoJson	127
A.39 Criando constantes para definir as credências do banco de dados . .	127
A.40 Código para inicializar o Firebase	128
A.41 Código para enviar e ler dados do Firebase	128
A.42 Criando variáveis para a lógica principal	128
A.43 Verificando se o Wi-Fi está conectado	129
A.44 Criando variáveis para contar o tempo de atualização do display e da leitura dos sensores	129
A.45 Verificando a data e a hora do módulo RTC	129
A.46 Código para verificar se está no horário de realizar as medições . . .	130
A.47 Código para realizar as medições	130
A.48 Código para calcular a média das medições	130
A.49 Código para salvar dados no cartão MicroSD mostrar no display e enviar para o Firebase	131

Glossário: Símbolos e Siglas

Notação	Descrição	Páginas
<i>array</i>	Estrutura de dados que armazena varios elementos do mesmo tipo	37, 41, 45
<i>backup</i>	É uma cópia de segurança dos seus arquivos, que pode ser salva em diferentes locais, como um HD externo, um pen drive ou na nuvem	3, 46, 48
<i>datasheet</i>	Documento técnico que reúne todas as informações técnicas e especificações de um determinado componente eletrônico	44, 45
barramento I2C	É um barramento serial usado para conectar periféricos de baixa velocidade a uma placa mãe, a um sistema embarcado ou a um telefone celular	47, 48, 50, 52
cartão Micro SD	Dispositivo de armazenamento de dados através de memória flash	3, 48–50, 63, 64
COEEL	Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica do IFBA campus Vitória da Conquista	i
EasyEDA	Ferramenta online para o design de circuitos eletrônicos e placas de circuito impresso (PCBs)	3, 72, 86
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária	10, 14, 19

Notação	Descrição	Páginas
ESP32	Placa programável via Wi-Fi e Bluetooth integrada com a plataforma de programação das placas Arduino	x, 3, 26–29, 32–37, 39, 40, 43–45, 47–50, 52–55, 58, 59, 64, 65
FAT16	Sistema de arquivos que funciona com base em uma espécie de tabela que indica onde estão os dados de cada arquivo utilizando 16 bits para endereçamento	48
FAT32	Sistema de arquivos que funciona com base em uma espécie de tabela que indica onde estão os dados de cada arquivo utilizando 32 bits para endereçamento	48
Firebase	Plataforma utilizada como banco de dados em nuvem	3, 53, 56, 57, 59, 60, 64, 81, 100
Framework	Ferramenta que ajuda a desenvolver projetos sem se preocupar com detalhes de configurações	4
Fusion 360	Software utilizado para design de produtos, modelagem 3D, engenharia e simulação	3, 76, 89
GIS	Sistemas de Informação Geográfica	15
GPS	Sistema de Posicionamento Global	15
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	13

Notação	Descrição	Páginas
interface SPI	É um protocolo de comunicação serial síncrona, usado para se comunicar entre os dispositivos periféricos, ou seja, dispositivos de entrada e saída e microcontroladores	48
IP68	Padrão internacional que define o nível de proteção de um dispositivo contra a entrada de sólidos (como poeira) e líquidos (como água)	42
JavaScript	Linguagem de script orientada a objetos e plataforma cruzada usada para tornar as páginas da Web interativas	4
Modbus RTU	Protocolo de comunicação baseado em mensagens, frequentemente utilizado em conjunto com o RS485, o qual opera no modo RTU (Remote Terminal Unit), onde os dados são transmitidos em formato binário	42
off-grid	Termo que se refere a um sistema de energia que não está conectado a uma rede elétrica	3
PCB	Placa de Circuito Impresso	3, 72–74, 76, 77, 86–89, 91
pH	Potência de Hidrogênio	2, 3, 5, 6, 15, 17, 18, 41, 42, 45, 80
PIB	Produto Interno Bruto	4

Notação	Descrição	Páginas
protocolo RS485	Padrão de comunicação serial utilizado em ambientes industriais para transmissão de dados em longas distâncias e em condições de ruído elétrico	42
React Native	Framework de código aberto usado para desenvolver aplicativos para Android, Android TV, iOS, macOS, tvOS, Web, Windows e UWP	4, 78, 79, 81, 96
sistema de Norfolk	Sistema que envolve a rotação de culturas, o uso de adubos orgânicos e a drenagem de terras	9

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Conceitos iniciais	1
1.2	Problema	2
1.3	Proposta de solução	2
1.4	Objetivo geral	3
1.4.1	Objetivos específicos	3
1.5	Justificativa	4
2	Referencial Teórico	7
2.1	Agricultura	7
2.1.1	Origem da agricultura no período neolítico	7
2.1.2	Sistemas agrários hidráulicos	8
2.1.3	Agricultura com tração animal	9
2.1.4	Revolução agrícola moderna	9
2.1.5	Revolução industrial e mecanização	9
2.1.6	Agricultura contemporânea	10
2.2	A agricultura no Brasil	10
2.2.1	A evolução da agricultura no Brasil	11
2.2.2	Aplicação de tecnologias no setor	12
2.2.3	A agricultura familiar	13
2.3	Agricultura de precisão	14
2.4	Grandezas influentes no cultivo de culturas	16
2.4.1	Temperatura do solo	16
2.4.2	Umidade do solo	16
2.4.3	PH do solo	17
2.4.4	Condutividade elétrica do solo	18
2.4.5	Temperatura do ambiente	19
2.4.6	Umidade do ambiente	20
2.4.7	Luminosidade	20
2.5	Estado da arte	21

2.5.1	Monitoramento de sensores de umidade do solo com internet das coisas (IoT) aplicado à agricultura de precisão	21
2.5.2	Agricultura de precisão: sistema para monitoramento remoto de lavouras	22
2.5.3	Sistema de monitoramento agrícola utilizando LoRa 433 MHz, IoT e aplicativo móvel	23
2.5.4	Sistema de irrigação inteligente para agricultura familiar baseado em IoT	25
2.5.5	Desenvolvimento de plataforma <i>web</i> para monitoramento de dados para agricultura de precisão	26
2.5.6	Fertirrigação de planta com sistema baseado em IoT para gerenciamento e monitoramento (Fertigation of plant with IoT based system for management and monitoring)	27
2.5.7	Projeto de sistema de monitoramento e controle para irrigação	28
3	Metodologia	30
3.1	Modelo do dispositivo	30
3.2	Materiais utilizados	31
3.3	Microcontrolador ESP32	32
3.4	Programação dos sensores	34
3.4.1	Módulo sensor de luminosidade - LDR	34
3.4.1.1	Conexão com o ESP32	36
3.4.1.2	Configuração no código	36
3.4.1.3	Processamento dos dados	37
3.4.2	Módulo sensor DHT22	37
3.4.2.1	Conexão com o ESP32	39
3.4.2.2	Configuração no código	40
3.4.2.3	Processamento de dados	40
3.4.3	Sensor THCPH-S	41
3.4.3.1	Conexão com o ESP32	43
3.4.3.2	Configuração no código	44
3.4.3.3	Processamento de dados	45
3.5	Programação do módulo RTC	46
3.5.1	Conexão com o ESP32	47
3.5.2	Configuração do código	47
3.5.3	Leitura da data e hora	48
3.6	Programação do módulo de cartão Micro SD	48
3.6.1	Conexão com o ESP32	49
3.6.2	Configuração no código	50

3.6.3	Armazenamento de dados	50
3.7	Programação do display OLED	50
3.7.1	Conexão com o ESP32	52
3.7.2	Configuração no código	52
3.7.3	Configuração de exibição	52
3.8	Programação da conexão com Wi-Fi	53
3.8.1	Configurando o código	54
3.8.2	Realizando conexão	55
3.9	Programação do banco de dados	56
3.9.1	Configuração no site do Firebase	57
3.9.2	Configuração no código do ESP32	59
3.10	Fluxo completo do código	60
3.10.1	Etapa 01	61
3.10.2	Etapa 02	63
3.11	Esquema da montagem do protótipo	64
3.12	Sistema fotovoltaico de alimentação	66
3.12.1	Dimensionamento dos equipamentos	67
3.12.2	Equipamentos	68
3.12.2.1	Controlador de carga MPPT CN3722	68
3.12.2.2	Bateria Li-On 7,4V	69
3.12.2.3	Painéis solares de 3W	69
3.12.2.4	Regulador de tensão buck	70
3.12.3	Esquema de montagem	71
3.13	Fluxo completo de conexão	71
3.14	Desenvolvimento da PCB no EasyEDA	72
3.14.1	Diagrama esquemático	73
3.14.2	Desenho das trilhas	74
3.14.3	Visualização 3D da PCB	74
3.15	Desenvolvimento da estrutura	75
3.15.1	Fusion 360	76
3.15.2	Estrutura	76
3.16	Desenvolvimento da aplicação móvel	78
3.16.1	Aplicativos móveis	79
3.16.1.1	Frameworks	79
3.16.1.2	Framework - React Native	79
3.16.2	Arquitetura do aplicativo	80
3.16.2.1	Camada de interface	80
3.16.2.2	Camada de serviços	81
3.16.2.3	Camada de navegação	81

3.16.3 Fluxo completo do aplicativo	81
4 Resultados	86
4.1 Placa de circuito impresso	86
4.1.1 Prototipagem do layout das trilhas	86
4.1.2 Soldagem dos componentes	87
4.2 Estrutura 3D	89
4.3 Medições realizadas pelo dispositivo	93
4.4 Aplicativo móvel	96
4.5 Custo do dispositivo	100
4.6 Aplicação do dispositivo	102
5 Considerações finais	104
5.1 Sugestões para trabalhos futuros	106
REFERÊNCIAS	107
A Apêndice	115
A.1 Códigos referente ao módulo LDR	115
A.2 Códigos referente ao módulo DHT22	115
A.3 Códigos referente ao sensor THCPH-S	116
A.4 Códigos referente ao módulo RTC	118
A.5 Códigos referente ao módulo de cartão MicroSD	119
A.6 Códigos referente ao Display OLED	120
A.7 Códigos referente a conexão com o Wi-Fi	121
A.8 Códigos referente ao Firebase	127
A.9 Códigos referentes a lógica principal	128

Capítulo 1

Introdução

1.1 Conceitos iniciais

A agricultura exerceu uma função importante na evolução da humanidade, sendo uma referência para a relação do homem com a natureza. A contar da Revolução Cognitiva, quando os Homo sapiens iniciaram o processo de manuseio do solo, até chegar ao desenvolvimento das primeiras civilizações agrícolas na região da Mesopotâmia e Egito, onde o cultivo das plantas era necessário para garantir a subsistência e o desenvolvimento da sociedade. No Brasil, com a chegada dos colonizadores, novas práticas agrícolas foram introduzidas, trazendo melhorias na produção e expandindo o uso de tecnologias. Assim, com o decorrer dos anos, a mecanização juntamente com a ciência converteram a agricultura em um setor essencial para a economia do mundo (FELDENS, 2018).

Segundo o Ministério da Agricultura e Pecuária, o agronegócio é um setor crucial para o crescimento econômico brasileiro. Observou-se, em 2022, que a soma dos bens e serviços oriundos do agronegócio representou um total de R\$ 1,11 trilhões (cerca de 11,27% do PIB do país). A maior parte dessa contribuição advém do setor agrícola, responsável por 69,18%. Além disso, no ano de 2023, houve um acréscimo de 2,4% em relação ao ano anterior (MAPA, 2023).

Observa-se assim, que ainda que haja variações nos percentuais do retorno oriundo do agronegócio, este representa uma expressiva fatia na economia nacional. O impacto do setor no Brasil se dá devido às condições climáticas favoráveis à prática, bem como o intenso investimento em estudos de novas tecnologias voltadas ao plantio e à pecuária. Uma das áreas fomentadas por incentivos e recursos é a Agricultura de Precisão, que consiste em um conjunto de técnicas que permitem o gerenciamento localizado dos cultivos, tratando em particular cada ponto

da propriedade agrícola. (EMBRAPA, 2022)

Entretanto, mesmo que muito eficiente, podendo ser aplicada em diversos tipos de cultura e trazendo resultados tanto no desenvolvimento da produção quanto na economia do produtor, a agricultura de precisão ainda se torna limitada para pequenos e médios produtores devido ao custo da tecnologia envolvida para realizar a sua aplicação. Partindo desse pressuposto, este trabalho visa construir um dispositivo capaz de realizar medições de parâmetros do solo e do ambiente integrado a uma interface acessível por meio de um aplicativo de celular, para visualização dos dados, oferecendo assim uma solução acessível que permita a pequenos e médios produtores adotarem técnicas de agricultura de precisão.

1.2 Problema

A hipótese que direciona este estudo é oriunda da análise das possíveis estratégias para implementar técnicas de agricultura de precisão voltadas para produtores de pequeno, médio e grande porte. Ainda que o avanço do setor agrícola no Brasil seja presente e impulsionado pela disseminação de novas tecnologias, essas inovações ainda encontram barreiras de acesso quando se trata de empreendimentos de menor escala. Nessa perspectiva, o estudo busca responder a dois questionamentos fundamentais:

- 1) De que maneira a engenharia pode viabilizar a implementação de técnicas de agricultura de precisão para produtores de pequeno e médio porte?
- 2) Quais estratégias podem ser adotadas para tornar o sistema autossuficiente e adequado para produtores rurais em regiões com infraestrutura limitada?

1.3 Proposta de solução

A proposta para sanar as questões anteriormente mencionadas, se deu através da construção de um sistema de monitoramento remoto e em tempo real voltado à Agricultura de Precisão. A ideia principal consistiu em elaborar um sistema capaz de medir, enviar e apresentar remotamente dados de temperatura, umidade, condutividade e pH do solo, assim como a temperatura, umidade e luminosidade do ambiente.

A abordagem responsável pela concepção da proposta partiu da idealização de elaboração de um protótipo real, utilizando uma placa embarcada [ESP32](#) vinculada a sensores que realizassem as medições dos parâmetros determinados. Para isso, primeiramente, foi pesquisado na área da agronomia quais grandezas do solo e do ambiente trariam maior impacto na produtividade e no manejo de diversas culturas e, em seguida, foram selecionados sensores específicos para realizar a medição dessas grandezas. Em segunda instância, de posse desses sensores, uma gama de estratégias foram adotadas, para complementar o projeto, objetivando conceder maior autonomia, autossuficiência e flexibilidade ao mesmo.

1.4 Objetivo geral

Desenvolver um dispositivo integrado de baixo custo e autossuficiente para o monitoramento das condições do solo e do ambiente, capaz de medir parâmetros como temperatura do solo e do ar, umidade do solo e do ar, condutividade do solo, [pH](#) do solo e luminosidade do ambiente, com integração a um aplicativo móvel, visando acessibilidade e eficiência no setor agrícola.

1.4.1 Objetivos específicos

- 1) Programar um microcontrolador [ESP32](#) para coletar, processar e enviar para o banco de dados remoto [Firebase](#) os dados dos sensores de temperatura, umidade, condutividade, [pH](#) e luminosidade;
- 2) Implementar um sistema de armazenamento local via [cartão Micro SD](#), para o armazenamento dos dados coletados como forma de [backup](#) das medições realizadas;
- 3) Criar e configurar um banco de dados via [Firebase](#) na qual serão armazenados os dados coletados pelo dispositivo, de modo a permitir o envio e a exibição em tempo real no aplicativo móvel;
- 4) Projetar e desenvolver uma placa de circuito impresso ([PCB](#)) utilizando o software [EasyEDA](#) para integração dos módulos e sensores;
- 5) Integrar um sistema solar fotovoltaico [off-grid](#) garantindo a operação contínua do dispositivo sem conexão com a rede elétrica;
- 6) Projetar e construir uma estrutura envoltória (*case*) para o *hardware* do sistema, através de modelagem 3D via software [Fusion 360](#);

- 7) Desenvolver um aplicativo móvel em [JavaScript](#) por meio do [Framework React Native](#) para exibir gráficos e tabelas com os valores das medições realizadas;
- 8) Testar e validar o dispositivo ao aplicá-lo em situações reais, de modo a avaliar sua precisão, funcionalidade geral e eficiência energética.

1.5 Justificativa

O Brasil, nos últimos 40 anos, tornou-se um grande exportador de alimentos para o mundo. Os indicadores apontaram que o crescimento da produção de grãos neste período aumentou de 38 milhões para 236 milhões de toneladas, observando-se assim um superavit de 621,05% em relação ao índice anterior. Em contrapartida, ao se observar a área ocupada para o plantio, essa apenas dobrou, mesmo em um cenário em que a produção cresceu exponencialmente (EMBRAPA, 2017a). Esses dados podem ser verificados na [Figura 1.1](#).

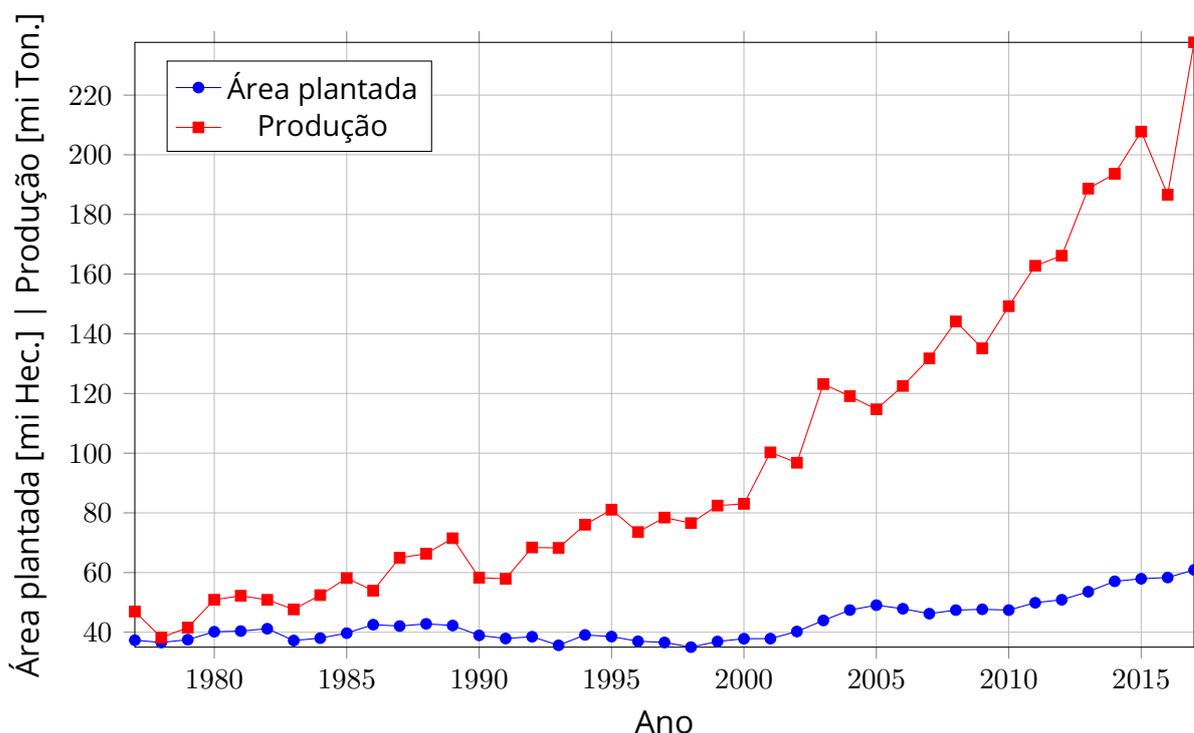


Figura 1.1 – Gráfico da evolução da área plantada e da produção ao longo dos anos. Fonte: adaptado de [Embrapa \(2017a\)](#).

Em paralelo, no âmbito da economia nacional, a agropecuária brasileira cresceu em 2023, refletindo diretamente no PIB do Brasil, que aumentou 2,4% em relação ao ano anterior, com R\$ 10,9 trilhões (MAPA, 2024). Esse avanço ocorreu

justamente pelo crescimento da produção e pelos ganhos de produtividade da atividade agrícola, o que expressa a influência significativa das melhorias nas técnicas empregadas para o cultivo no país.

Outrossim, a ineficiência na utilização dos recursos, tratando-se da falta de monitoramento da umidade do solo, pH do solo ou mesmo da luminosidade do ambiente, são fatores que interferem diretamente na sustentabilidade e produtividade agrícola. O grau de umidade do solo, refletido pela quantidade de água nos poros do terreno, é crucial para o transporte de nutrientes e para a fotossíntese, impactando diretamente no desenvolvimento da cultura (EOS DATA ANALYTICS, 2024). Do mesmo modo, a qualidade química do solo, refletida no pH, influencia na disponibilidade de nutrientes para as plantas, enquanto a luminosidade interfere no crescimento e processos metabólicos (SOLUSOLO, 2024). Ademais, o monitoramento inadequado desses fatores pode levar a desequilíbrios, resultando em desperdício de recursos, redução na produtividade e aumento dos custos de produção.

Segundo a Embrapa, foram destinados 32 milhões de hectares ao plantio direto no país, porém apenas em 8,44% (2,7 milhões) seguem-se as técnicas preconizadas pelo campo da pesquisa agropecuária, que de acordo com esta, dispêndios severos como a compactação do solo, erosão hídrica, quebra da estabilidade da produtividade e aumento do custo de produção são inerentes. Ainda nessa esfera, é importante destacar que 80,7% do consumo total de água é destinado ao meio rural, na qual o plantio recebe 67,2 % dessa fatia, porém, o recurso hídrico não se mostra tão bem aproveitado neste ramo, estimando-se que 40% desta água não é aproveitada devido à implementação de sistemas inadequados. (EMBRAPA, 2017a)

Analisando esse cenário, entende-se que mesmo em face da tecnologia atual ainda há lacunas na qualidade do cultivo, assim, esse projeto destaca-se por sua:

Relevância: Propondo-se a atender à agricultura familiar, visto que, como pauta de discussão no senado, representa 77% do meio agrícola no Brasil, sendo majoritariamente composta por pequenos produtores (EMBRAPA, 2017b). A categoria é conhecida por não dispor de recursos tecnológicos suficientes para otimização da produção, surgindo assim, cenários que propiciam o gasto intempestivo de recursos, corroborando para o aumento do desperdício e impactando na degradação ambiental. A implementação de tecnologias que promovam a aplicação da agricultura de precisão pode reduzir os custos, desperdícios e mão de obra em um cultivo, aumentando consequentemente o lucro e a qualidade da produção.

Aplicabilidade: O projeto visa permitir a coleta precisa de informações de temperatura e umidade do solo e do ambiente, pH do solo, condutividade do solo e luminosidade do ambiente. Com esses parâmetros, atrelado à autossuficiência do protótipo, que contará com uma bateria alimentada por módulos fotovoltaicos e ao aplicativo móvel, promovendo maior acessibilidade e facilidade por parte do usuário, espera-se contribuir para a manutenção da qualidade do plantio em áreas rurais. Assim, a interface deverá ser aplicada em diversos tipos de plantações, objetivando a realização de medições para que se possa garantir a qualidade de um determinado tipo de sementeira, bem como permitindo a integração com sistemas de autoirrigação e estufa, caso necessário.

Contribuição Científica: Entende-se que o desenvolvimento de um dispositivo acessível e energeticamente autônomo, voltado para a agricultura de precisão, irá acrescentar contribuições ao estado da arte. Além disso, a solução inova ao integrar sensores para coleta de parâmetros do solo e do ambiente, conexos a um aplicativo móvel, permitindo análises em tempo real e auxiliando na tomada de decisões por parte do produtor. Mais que isso, contribui-se com práticas agrícolas sustentáveis, ao se promover o uso racional de recursos naturais, enquanto fornece uma base sólida de dados para futuras pesquisas sobre manejo agrícola e impacto ambiental.

Motivação: Após a inclusão da agricultura familiar no fundo garantidor, através da PL.2750/2024, autorizando o uso do fundo para empréstimos visando fomentar o PRONAF (Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar), espera-se que ocorram maiores investimentos em tecnologia e infraestrutura na agricultura da família. Assim, promover projetos que otimizem o cultivo e melhorem o plantio de modo a reduzir desperdícios e ampliar a colheita serão de grande auxílio no desenvolvimento econômico do país ([SENADO NOTÍCIAS, 2024](#)).

Capítulo 2

Referencial Teórico

2.1 Agricultura

A agricultura é mais do que somente o cultivo da terra, é a espinha dorsal das civilizações. Essa, no que lhe diz respeito, é a ciência e a arte de criar e cultivar o solo, refletindo na preparação de produtos vegetais para o uso dos seres humanos, como também para a sua distribuição em mercados (Geo Inova, 2013).

A evolução agrícola, ao decorrer dos anos que se passaram na história, remete a um processo marcado por inúmeras transformações sociais, econômicas e tecnológicas, que modelou o vínculo da terra com o homem. Segundo retratado por Mazoyer e Roudart (2010), em "História das Agriculturas no Mundo: Do Neolítico à Crise Contemporânea", essa evolução pode ser organizada em diversas etapas, as quais serão comentadas brevemente nas próximas seções.

2.1.1 Origem da agricultura no período neolítico

A agricultura remete há cerca de 10.000 anos a.C., no período Neolítico, como resultado da transformação do estilo de vida nômade para um modo de vida sedentário. Essa época foi demarcada pelo início do manuseio de algumas plantas, como arroz, cevada e trigo; além de alguns animais, como ovelha, cabras e gado. Os locais nos quais estiveram centralizados essa revolução, foram no Oriente Médio, em uma região denominada "Crescente Fértil" na China, na América Central e na América do Sul. Esses primeiros produtores utilizavam como ferramentas alguns itens rudimentares, como enxadas e foices, conforme observado na Figura 2.1, os quais lhes permitiram dar início às primeiras comunidades agrí-

colas (MAZOYER; ROUDART, 2010).



FONTE: E-disciplinas (2017).

Figura 2.1 – Ferramentas agrícolas rudimentares.

2.1.2 Sistemas agrários hidráulicos

Em regiões como o Egito e Mesopotâmia, melhorias na produção agrícola foram descobertas, como a utilização da irrigação, corroborada pela fartura da disponibilidade de água na região, conforme apresentado na Figura 2.2. Assim, os egípcios e mesopotâmicos construíram obras como forma de aproveitar as cheias dos rios para produzir alimentos em larga escala, tornando a produtividade ainda maior e dando início ao desenvolvimento de civilizações urbanas mais organizadas (MAZOYER; ROUDART, 2010).



FONTE: World History (2020).

Figura 2.2 – Mapa da Crescente Fértil, na região da Mesopotâmia, Ásia Menor.

2.1.3 Agricultura com tração animal

Outro grande passo foi a implementação de animais, como cavalos e bois, na produção agrícola, possibilitando a utilização de arados conforme mostrados na [Figura 2.3](#). Essas ferramentas eram arrastadas por esses animais, permitindo o plantio e cultivo de regiões maiores, bem como facilitando a rotatividade das culturas, sendo benéfico para que se pudesse manter a fertilidade do solo (MAZOYER; ROUDART, 2010).

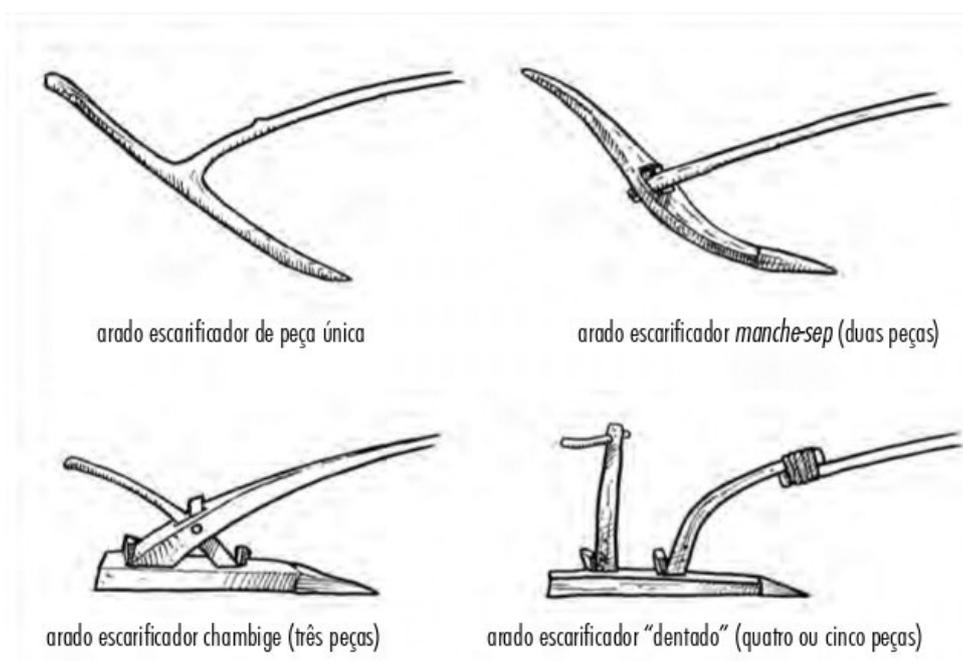


Figura 2.3 – Modelos primitivos de arados à tração animal.

FONTE: Escisiplinas (2017).

2.1.4 Revolução agrícola moderna

Nos séculos XVII e XVIII, passaram a vigorar algumas práticas inovadoras, como a rotação de culturas com base no [sistema de Norfolk](#), estimulando, por exemplo, o uso de adubos naturais. Tais inovações permitiram o aumento significativo da produtividade agrícola daqueles séculos, minimizando a fome de grande parte da Europa Ocidental e marcando o início do uso de técnicas científicas na agricultura (FELDENS, 2018).

2.1.5 Revolução industrial e mecanização

Com a revolução industrial, equipamentos mecanizados como ceifadeiras, tratores e debulhadoras passaram a ser amplamente utilizados no ramo agrícola.

Esses maquinários, atrelados ao uso de fertilizantes químicos e sementes selecionadas, aumentaram significativamente a produtividade do setor, possibilitando a expansão ainda mais das áreas cultivadas (FELDENS, 2018).

2.1.6 Agricultura contemporânea

A agricultura contemporânea, por sua vez, se caracteriza pela seleção genética das sementes, motomecanização, uso intensivo de fertilizantes químicos e especialização das técnicas aplicadas. Apesar dos avanços significativos, garantindo a segurança alimentar dos seres humanos e fornecendo matérias-primas utilizadas na confecção de utensílios e equipamentos diversos, alguns desafios surgiram, tais como a desigualdade no acesso a tecnologias, degradação do solo e escassez de água em algumas regiões, de modo que, em muitos locais, a agricultura manual e/ou familiar ainda é predominante (FELDENS, 2018).

2.2 A agricultura no Brasil

Nas últimas 4 décadas, o Brasil retirou-se da posição de mero importador de alimentos para assumir a condição de um grande abastecedor mundial, entretanto nem sempre foi assim. Em meados de 1950, a agricultura no Brasil era rudimentar; por mais que o cultivo da soja fosse uma novidade no cenário brasileiro, esta ainda era inexpressiva para o mercado doméstico, tampouco para o comércio internacional. Conforme a EMBRAPA, nesse período, apenas 2% das propriedades rurais possuíam máquinas agrícolas, de modo que, nas demais atividades, o trabalho braçal prevalecia (EMBRAPA, 2017a).

Em um estudo publicado em 1997, elaborado por SCHUH (1997), estabeleceu-se a ideia de que a ausência de conhecimento sobre os solos tropicais culminava em sua má utilização, o que resultava em um baixo rendimento por hectare. Desse modo, o crescimento da agricultura exigia que extensas áreas naturais fossem convertidas em lavouras e pastagens e, assim, inúmeras práticas inadequadas provocaram intensos impactos ambientais, destacando-se a erosão dos rios e assoreamento do solo (EMBRAPA, 2017a).

Destarte, a ineficiência presente no campo ascendeu problemas para todo o país, visto que, mesmo em frente ao forte momento de industrialização brasileiro, crescimento da infraestrutura e aumento do poder aquisitivo, o contexto vigente ainda era de escassez alimentícia. Tal fato pode ser observado na Figura 2.4, a qual

retrata uma reportagem realizada pelo jornal "O Estado de São Paulo" em abril de 1968.



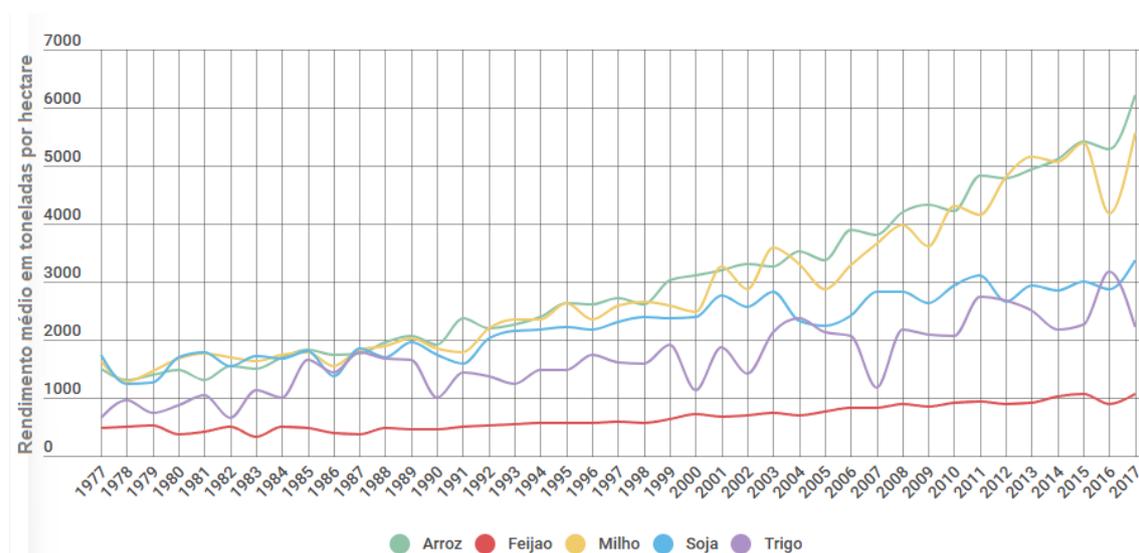
Figura 2.4 – Escassez alimentícia no Brasil: notícia jornalística de 1968.

2.2.1 A evolução da agricultura no Brasil

Dado esse contexto, visando mitigar o cenário de escassez, o governo instituiu políticas de aumento de produção no campo da agricultura. Destacando-se por investimentos em pesquisa e desenvolvimento, extensão rural e aumento de crédito. Tal cenário era o prelúdio para a modernização da agricultura brasileira, visto que, como resultado dessa estratégia, entre os anos de 1975 e 2017 a área plantada brasileira apenas dobrou, enquanto a produção de grãos que antes era em torno de 38 milhões atingiu um superavit de 236 milhões de toneladas (EMBRAPA, 2017a).

Diante desse cenário, o maior crescimento observável no setor de produção em comparação à área, é demonstrado pela evolução do rendimento médio das lavouras de feijão, trigo, milho e soja, conforme observado pela Figura 2.5. Os

números expressam que o trigo aumentou 346% o seu rendimento, o arroz, teve um aumento de 317%, o milho cresceu 270% e a soja, juntamente com o feijão, dobraram o rendimento no período de análise (EMBRAPA, 2017b).



FONTE: Embrapa (2017a).

Figura 2.5 – Culturas mais cultivadas entre 1977 e 2017.

2.2.2 Aplicação de tecnologias no setor

Ao observar os últimos 50 anos, essas mudanças só foram possíveis devido principalmente ao impulso dado na aplicação de tecnologias avançadas. Um exemplo notório é a cultura da soja, a qual, mediante pesquisas e melhoramentos genéticos, passou a ser cultivada nas regiões tropicais do Brasil. Além disso, o uso de tecnologias aplicadas à análise, correção e adubação de determinados solos permitiu o cultivo em áreas antes improdutivas, como o Cerrado.

Entretanto, conforme observa [Bolfe et al. \(2020\)](#), o processo de modernização da agricultura no Brasil tem acontecido de forma heterogênea, ao verificar diferentes regiões do país. Essa modernização, atrelada a novas tecnologias e práticas agrícolas, reflete em escolhas individuais dos produtores por uma maior eficiência e produtividade nos cultivos. Pode-se verificar uma maior concentração desse processo nas regiões Sul e Sudeste do país, onde aspectos como acesso a recursos, mercado e infraestrutura, tem facilitado a inserção dessas inovações. Nas outras regiões, essa modernização acontece de forma mais gradual, devido às condições dos locais, bem como pelas escolhas dos agentes econômicos.

2.2.3 A agricultura familiar

A agricultura no Brasil possui inúmeros modelos de trabalhos e níveis de tecnologias aplicadas, sendo algumas delas:

- ▶ Agricultura Moderna: dotada pelo uso intensivo de tecnologias e maquinários, normalmente aplicadas por grandes produtores em extensas propriedades;
- ▶ Agricultura Tradicional: a qual utiliza métodos tradicionais de plantio e colheita, porém sem grande influência de tecnologia;
- ▶ Agricultura Empresarial: essa por sua vez é focada no mercado externo, utilizando mão de obra contratada e aplicando técnicas modernas de produção;
- ▶ Agricultura Familiar: modelo gerido por núcleos familiares em pequenas propriedades agrícolas.

Tratando-se do último modelo, a agricultura familiar, segundo **WANDERLEY e TEDESCO (1999)** é "Aquela em que a família, ao mesmo tempo, em que é proprietária dos meios de produção, assume o trabalho no estabelecimento produtivo", ou seja, é uma modalidade de produção agrícola onde a maior parte da mão de obra utilizada para as atividades e gerenciamento parte de pessoas do mesmo vínculo familiar. De acordo com o **IBGE**, é a modalidade de agricultura mais praticada no Brasil, de modo que, do total de estabelecimentos agropecuários e aquicultores nacionais (5.073.324), aproximadamente 76,8% correspondem à agricultura familiar (3.897.408), ocupando 23,0% do total da área dedicada a atividades agropecuárias (**IBGE, 2017**). Essa é praticada em pequenas propriedades, apresentando uma diversidade de cultivos, possibilitando o abastecimento do mercado interno brasileiro com os alimentos mais consumidos, como feijão, arroz, mandioca, café, hortaliças e outros.

Entretanto, por mais que essa prática seja heterogênea, muitas das tecnologias utilizadas atualmente não acolhem as necessidades da agricultura familiar. Atualmente, muitos agricultores dispõem de dificuldades para integrar essas tecnologias modernas ao seu cultivo, seja pelo baixo capital disponível, acesso limitado a informação, baixa capitalização, recursos insuficientes ou mesmo uma falta de infraestrutura disponível (**FILHO et al., 2004**). Assim, inúmeras problemáticas podem ser observadas no cultivo de plantas com base na agricultura familiar, como desperdício de alimentos no processo de produção, elevado tempo para o cultivo

de uma plantação, bem como custo elevado ao final desta.

2.3 Agricultura de precisão

Tradicionalmente entende-se que a aplicação de insumos nos cultivos deve ser feita de maneira uniforme por toda a propriedade da plantação, de modo que não são observadas as diferenças físico-químicas do solo a qual se está trabalhando. Por mais que as necessidades das plantas em relação à disponibilidade de nutrientes sejam sanadas, esse tipo de aplicação resulta em impactos negativos ao meio ambiente, como, por exemplo, a contaminação da água e do solo, além de gerar desperdícios financeiros recorrentes com a utilização excessiva e desnecessárias de fertilizantes (EMBRAPA, 2022).

Ao analisar esta situação, verifica-se que, numa mesma propriedade, o solo pode apresentar composições distintas em diversos pontos, tornando-se necessária a aplicação correta da quantidade de insumos para cada um destes, de modo a ter um manejo eficiente. Com isso, devido a uma busca pela melhora na produtividade, bem como, uma preocupação maior com a preservação ambiental, abordagens mais inovadoras e sustentáveis na agricultura foram inseridas.

Diante desse cenário, a agricultura de precisão emerge como uma solução viável. Essa pode ser descrita como a utilização de tecnologias da informação, ferramentas de mecanização e automação nas práticas agrícolas, na qual se deve considerar a variação do tempo e do espaço sobre a produção de determinada cultura (GEBBERS; ADAMCHUK, 2010). De maneira similar, VAINER, pesquisador da EMBRAPA Meio Ambiente, descreve: "O principal conceito da Agricultura de Precisão é aplicar os insumos no local correto, no momento adequado, com as quantidades de insumos necessárias à produção agrícola, para áreas cada vez menores e mais homogêneas, tanto quanto a tecnologia e os custos envolvidos o permitam" (VAINER, 1995). Assim, esse processo remete a um ciclo contínuo que parte da coleta de dados em campo, que posteriormente passa pela análise e interpretação, resultando em recomendações para uma aplicação prática.

Com esse método, os produtores tornam-se capazes de tomar medidas mais estratégicas ao realizar o manejo de determinada cultura, adequando cada área da sua propriedade às práticas agrícolas necessárias, de modo a reduzir custos operacionais, maximizando a produtividade e minimizando os impactos ambientais (INAMASU et al., 2015). Portanto, a Agricultura de Precisão é a união de tecnologia com conhecimento, visto que, softwares, sensores, máquinas e equipamentos tra-

balham juntos para promover um sistema mais eficiente e sustentável (EMBRAPA, 2022).

Dentre as ferramentas possíveis para a aplicação desse modelo tem-se (EMBRAPA, 2022):

- ▶ **GPS:** esse sistema permite associar as subdivisões da propriedade com as coordenadas geográficas (latitude e longitude), possibilitando que o agricultor faça intervenções em locais específicos para resolver determinado problema. Apesar de propor inúmeros benefícios, o custo deste equipamento é elevado, a depender do modelo.
- ▶ **GIS:** esses softwares analisam e processam dados geográficos, gerando desde mapas simples a gráficos complexos para o auxílio no planejamento agrícola.
- ▶ **Sistema de Mapeamento de Colheita:** sistema usado para monitorar a lavoura durante o período de colheita, com intuito de armazenar informações sobre o desenvolvimento de cada área.
- ▶ **Técnica de Taxa Variáveis:** essa técnica permite a aplicação de insumos de forma controlada com base em mapas de produtividade, ajustando as quantidades conforme a necessidade do solo em cada ponto.
- ▶ **Sensores Remotos:** método que utiliza satélites, drones, balões e máquinas, permitindo a coleta de informações de extensas áreas agrícolas, entretanto, ainda sujeitos a intempéries como a presença de nuvens ou de um operador para controlar o equipamento no local desejado. Além disso, por mais precisos que sejam, ainda carecem de um preço acessível a determinados produtores e necessitam de aprimoramentos, a fim de garantir medições mais exatas e detalhadas.
- ▶ **Sensores do Solo:** método destinado a realizar medições diretas do solo em uso, com o intuito de verificar dados sobre sua composição, compactação, teor de nitrogênio e salinidade. Esses sensores permitem a detecção de parâmetros como pH, resistividade, temperatura, umidade, e níveis de fósforo e potássio.

Por mais que a Agricultura de Precisão seja vinculada a grandes propriedades, por conta dos custos e da complexidade das tecnologias utilizadas, sua aplicação também pode ser integrada às necessidades dos pequenos produtores. Evoluções como a miniaturização de equipamentos, desenvolvimento de sensores me-

nos custosos ou até mesmo a utilização de aplicativos móveis, têm possibilitado a inserção dessas tecnologias na agricultura familiar (BOLFE et al., 2020).

2.4 Grandezas influentes no cultivo de culturas

2.4.1 Temperatura do solo

Para a agricultura, a temperatura do solo é um fator crucial, visto que, o calor adequado, atrelado a uma profundidade ideal, garante crescimento eficiente da cultura. De acordo com, Kaiser et al. (2001) a temperatura do solo é um parâmetro importante para a regulação dos processos ecológicos, visto que, esta interfere na evaporação, na aeração e no desenvolvimento das plantas. Ao variar, a mesma pode impactar na germinação, na absorção de água e nutrientes e no crescimento vegetal de determinada cultura.

Em pesquisa realizada por SILVA (2002), ao observar o cultivo de alfaces em estufas, o autor verificou que temperaturas em torno de 27 °C promovem um crescimento e uma aparência mais robusta para a planta quando comparado ao cultivo em solos descobertos ou cobertos com sombrite, onde as temperaturas eram de 25 °C e 28 °C, respectivamente. Já no caso da soja, este observou que a faixa ideal para o processo de germinação do grão variava entre 25 °C e 30 °C, porém, para o processo de nodulação, as condições mais favoráveis estavam entre 27 °C e 32 °C.

Por outro lado, segundo Risser et al. (1978), a temperatura adequada no solo para hortaliças está na faixa de 15 °C a 20 °C, para a couve em torno de 5 °C e 12 °C para o feijoeiro, tomate e melão. Sendo mais relevante no crescimento inicial, quando a semente está submetida a diversas variações térmicas diárias, por estar próxima à superfície. Observa-se, então, que a análise da temperatura do solo faz-se necessária em todas as fases do desenvolvimento das plantas. Assim, compreender, monitorar e manejar a temperatura do solo conforme as necessidades de cada cultura é essencial para garantir produtividade e qualidade na produção agrícola.

2.4.2 Umidade do solo

A umidade do solo é um parâmetro essencial para o cultivo, influenciando diretamente na sobrevivência e no crescimento das plantas, de modo que, tanto o excesso quanto a falta podem influenciar no desenvolvimento das culturas. A

verificação do nível de umidade é imprescindível para a coordenação dos recursos hídricos na agricultura, permitindo ao agricultor realizar os ajustes necessários.

Diante dessa complexidade, torna-se fundamental adotar métodos eficientes para monitorar e analisar o teor de umidade do solo. O uso de tecnologias adequadas permite um manejo mais preciso da irrigação, garantindo que as plantas recebam a quantidade ideal de água para seu pleno desenvolvimento, enquanto se evitam desperdícios, reduzem-se os custos com água e energia elétrica, além de minimizarem-se os impactos negativos ao meio ambiente (BUSKE et al., 2013).

Desse modo, sabe-se que perturbações nesse parâmetro influenciam diretamente no grau de absorção de água e nutrientes pelas plantas, além de que podem prevenir o surgimento de doenças e o estresse hídrico. Quando a umidade é excessiva, ocorre uma rápida lixiviação dos nutrientes como fósforo, potássio e nitrogênio, além de tornar o solo favorável ao crescimento de micro-organismos patogênicos. Em contrapartida, se a umidade for baixa, as plantas possuem menos minerais disponíveis para absorção, impactando negativamente na qualidade da cultura (Geo Inova, 2013). Na Figura 2.6, pode se observar os comportamentos das plantas em diferentes condições de umidade.



Figura 2.6 – Condições das plantas em diferentes níveis de umidade.

2.4.3 PH do solo

A acidez do solo (pH) indica o quanto o solo possui disponibilidade ou não de nutrientes para oferecer para a plantação. Segundo Jackson (1963), o grau de acidez do solo se refere à capacidade de liberação de prótons, transformando o solo de um estado para outro a depender de uma referência, sendo estes estados especificados em termos de pH.

De modo geral, o pH do solo representa o quão ácido ou alcalino o solo pode estar. Esse valor varia em uma escala que vai de 0 a 14, sendo o valor 7 a representação de um pH neutro. De forma que, valores de pH abaixo de 7 indicam um solo ácido e valores acima de 7 indicam um solo alcalino (básico).

O pH do solo tem grande influência na produção agrícola. Tal importância repercute diretamente nos seguintes componentes (SOLUSOLO, 2024):

- ▶ Disponibilidade de Nutrientes: em solos muito ácidos torna-se difícil a absorção de cálcio, magnésio e fósforo e aumenta a quantidade de substâncias tóxicas como manganês e alumínio, por outro lado, em solos alcalinos esses nutrientes são reduzidos.
- ▶ Desenvolvimento de Raízes: solos muito ácidos ou alcalinos desfavorecem o crescimento das raízes, prejudicando a absorção de água e nutrientes, bem como, a resistência de determinado cultivo.
- ▶ Atividade Microbiana: alguns micro-organismos presentes no solo são de extrema importância para a decomposição da matéria orgânica, porém são muitos sensíveis a variações de pH e caso estejam em pequenas quantidades, estes impactam na fertilidade provida para o solo.

Normalmente a maioria das plantas necessita de um valor de pH entre 6,0 e 7,0, pois essa faixa oferece a máxima disponibilidade de nutrientes como fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre. Entretanto, algumas plantas têm uma necessidade específica de pH; plantas acidófilas, a exemplo das azáleas, camélias e mirtilos, preferem um pH em torno de 4,5 e 5,5. Tratando-se de batatas e morangos, são preferíveis solos ligeiramente ácidos com pH entre 5,5 e 6,5. Por outro lado, para plantas calcícolas como alfafa e a ervilha, são necessários solos ligeiramente alcalinos com um pH entre 7,5 e 8,0 (AGRICOLA, 2024).

2.4.4 Condutividade elétrica do solo

A condutividade elétrica reflete no potencial que o solo tem de conduzir eletricidade, tornando-se um parâmetro essencial para classificar a qualidade deste para o crescimento de uma cultura. Entre os fatores físicos e químicos que interferem na condutividade elétrica, temos a porcentagem de saturação, o teor de argila, a concentração de sais minerais, a capacidade de troca de cátions, a matéria orgânica, o teor de umidade e a composição mineral (RABELLO; BERNARDI; INAMASU,

2014). Em resumo, é uma medida que indica a concentração de íons na solução do solo, de modo que esses íons podem ser nutrientes essenciais, como nitrogênio, fósforo e potássio, ou sais nocivos em excesso, como sódio e cloro (DARE AGRO, 2024).

O monitoramento desse parâmetro ajuda a avaliar a fertilidade do solo, garantindo que os nutrientes estejam em quantidades corretas. Baixos valores de condutividade elétrica podem indicar uma deficiência nutricional, entretanto, valores elevados demonstram que o mesmo está com um acúmulo de sais, o que prejudica a absorção de água e nutrientes pelas raízes (ROGÉRIO, 2024a). Os valores ideais desse parâmetro variam de acordo com o tipo de solo, cultura e/ou fase de desenvolvimento da planta, sendo que, para um solo agrícola, o valor entre 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ é considerado ideal para a maioria das culturas e se tratando da água de irrigação, um valor menor que 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ é considerado o ideal, enquanto valores acima de 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ podem ser prejudiciais, dependendo da tolerância da cultura (DARE AGRO, 2024).

2.4.5 Temperatura do ambiente

O clima e a agricultura estão relacionados no meio rural. Um dos parâmetros que influenciam no crescimento, desenvolvimento e produtividade de uma cultura é a temperatura do ambiente. Essa, por sua vez, tem consequências diretas da radiação solar e controla alguns processos fisiológicos da planta, como a germinação das sementes, taxa de respiração, taxa de absorção de água e nutrientes e reações metabólicas (APAGRI, 2017).

Temperaturas mais elevadas também tendem a aumentar a decomposição da matéria orgânica. Com isso, a reciclagem de nutrientes se torna mais intensa, impactando na fixação do nitrogênio, bem como aumentando o processo de acidificação do solo (SIQUEIRA; SALLES; FERNANDES, 1999).

É válido ressaltar que cada espécie possui uma determinada temperatura que irá favorecer o seu crescimento. De acordo a EMBRAPA, tratando-se da soja, essa se adapta melhor a locais onde as temperaturas variam entre 20 °C e 30 °C, sendo o valor ideal para seu desenvolvimento os 30 °C (EMBRAPA, 2021b). Já para uma pimenteira, as temperaturas médias mensais ideais estão na faixa de 21 °C e 30 °C, podendo atingir um valor mínimo de 18 °C e um valor máximo de 35 °C (EMBRAPA, 2021a).

2.4.6 Umidade do ambiente

A umidade do ambiente é um parâmetro crucial para a agricultura, interferindo diretamente na saúde, no crescimento e na produtividade das plantas. Normalmente, é medida em porcentagem, sendo um indicador que demonstra as condições climáticas e o microclima da região na qual está inserida. Valores inadequados de umidade do ar afetam alguns processos fisiológicos importantes como a fotossíntese e a transpiração da planta, bem como, aumenta a possibilidade de geração de doenças (ROGÉRIO, 2024b).

Em cenários de baixa umidade, as plantas tendem a perder mais água devido à transpiração, tornando-se murchas e reduzindo seu crescimento. Elas podem fechar seus estômatos para conservar água, o que irá limitar a entrada de dióxido de carbono essencial para fotossíntese (Geo Inova, 2024). Já ambientes com uma alta umidade, são propícios ao desenvolvimento de fungos e doenças, como oídio e botrytis (Flor de Camomylla, 2024).

Esse parâmetro varia conforme a necessidade de cada espécie cultivada. Plantas suculentas e cactos, comuns em regiões áridas, desenvolvem-se melhor em condições de umidade relativa do ar em torno de 30%. Em contrapartida, plantas tropicais, como a samambaia, prosperam em ambientes com umidade entre 50% e 70% (RODRÍGUEZ, 2024).

2.4.7 Luminosidade

A luz é um importante parâmetro para o desenvolvimento de um vegetal, interferindo tanto nos processos metabólicos quanto nos fisiológicos. Por sua vez, essa é de suma importância para a fotossíntese, como também para o crescimento da planta, influenciando em mecanismos como fototropismo, geomorfogênese, foto-estimulação da biossíntese de substâncias e fotoperiodismo (TAIZ et al., 2017). As plantas detêm receptores que são sensíveis à luz, tornando-as capazes de responderem a diferentes cenários de luminosidade, de modo que esses sensores são imprescindíveis para o desenvolvimento do vegetal, pois controlam o metabolismo e os processos morfológicos conforme o local que a mesma está inserida (ALBUQUERQUE; EVANGELISTA; NETO, 2015).

Tratando-se de diferentes espécies, cada uma necessita de uma quantidade específica luz, que pode ser classificada em três categorias principais: sol pleno, meia-sombra e sombra.

- ▶ Sol Pleno: plantas que precisam de exposição plena do sol por ao menos 6 horas no dia, como exemplo o girassol (YAMASAKI, 2007);
- ▶ Meia Sombra: culturas que se desenvolvem bem com luminosidade de 2 a 4 horas, como, por exemplo, a espada de São Jorge (180 Sustentável Engenharia, 2020);
- ▶ Sombra: são espécies que precisam de menos de 2 horas diárias de luz, a exemplo do lírio da paz e da samambaia (YAMASAKI, 2007).

2.5 Estado da arte

Quando se trata de tecnologias no cultivo agrícola, o Brasil desenvolve constantemente estratégias que fomentam a melhoria no setor. Para entender o processo evolutivo das tecnologias desse setor, este capítulo busca explorar as contribuições de cunho acadêmico desenvolvidas ao longo dos últimos anos no que diz respeito à sensoreamento de culturas e agricultura de precisão.

2.5.1 Monitoramento de sensores de umidade do solo com internet das coisas (IoT) aplicado à agricultura de precisão

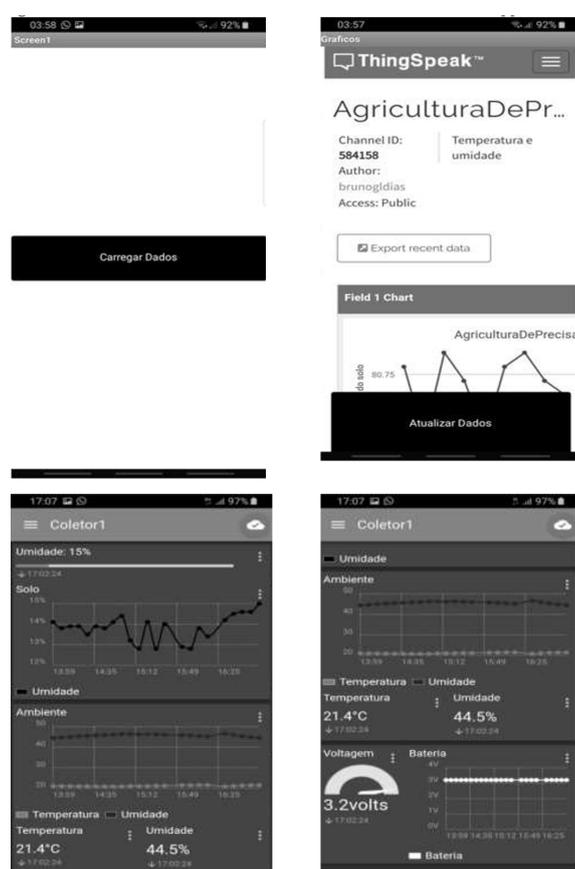
Em 2019, Dias et al. (2019) desenvolveram um sistema capaz de monitorar a umidade do solo, temperatura e umidade do ambiente voltado para plantações, com o intuito de melhorar o uso da água e tornar o cultivo da agricultura mais sustentável. O sistema visa o fornecimento de dados em tempo real, garantindo aos agricultores tomadas de decisões mais rápidas voltadas à irrigação (DIAS et al., 2019).

A construção do sistema foi dividida em três etapas:

- 1) Inicialmente um microcontrolador PIC24 foi conectado aos sensores de umidade do solo (sensor capacitivo) e ao sensor de temperatura e umidade do ambiente (DHT22). Com base no protocolo de comunicação LoRaWAN, os dados coletados por esses sensores puderam ser transmitidos. O sistema operava em ciclos de *deep sleep* buscando a economia de energia.

- 2) Os dados puderam ser coletados por um gateway LoRa e então enviados para um servidor. Para visualização dos dados, usou-se a ferramenta Node RED integrados a plataforma ThingSpeak, onde os dados foram plotados em gráficos.
- 3) Foi desenvolvida também em conjunto com o projeto uma interface móvel utilizando o aplicativo IoT MQTT Panel, para melhor visualização dos dados.

A [Figura 2.7](#) a seguir demonstra o aplicativo móvel desenvolvido pelo autor.



FONTE: Dias et al. (2019).

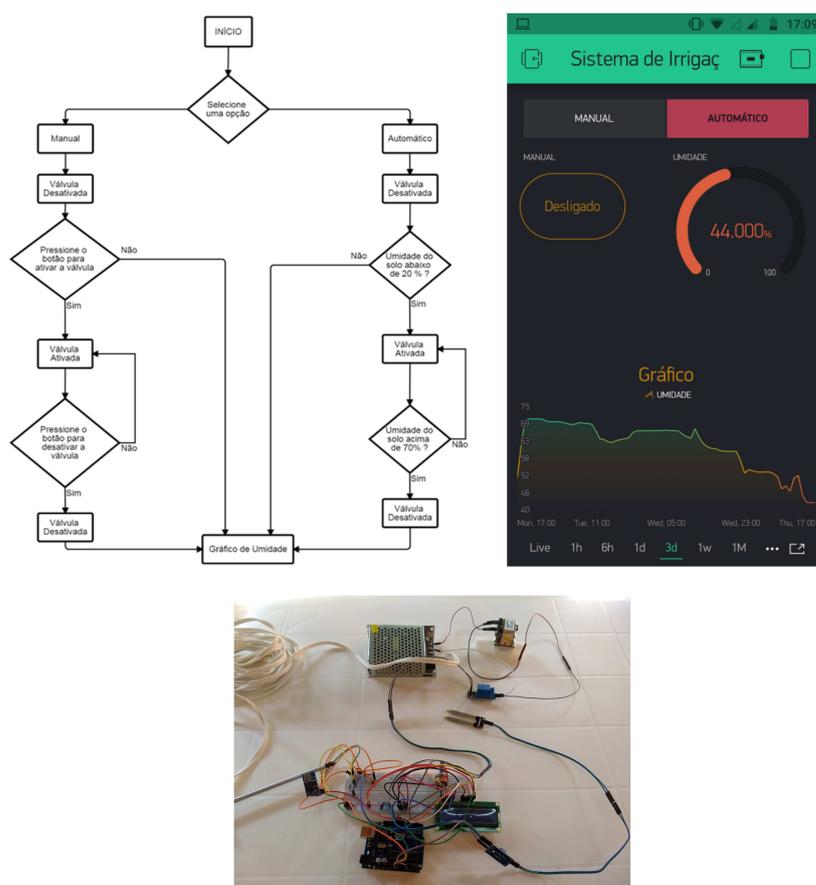
Figura 2.7 – Aplicativo móvel desenvolvido por [Dias et al. \(2019\)](#).

2.5.2 Agricultura de precisão: sistema para monitoramento remoto de lavouras

Em 2019, [Albuquerque \(2019\)](#) desenvolveu um sistema de irrigação inteligente moldado para o sistema de agricultura familiar. Foram utilizadas aplicações IoT para melhorar o consumo de água nas plantações. O sistema foi desenvolvido utilizando o microcontrolador Arduino UNO e um sensor para medir a umidade

do solo para coletar os dados do local. A comunicação e transmissão de dados foram feitas por meio do Wi-Fi e, por meio de um aplicativo móvel, o usuário do sistema conseguia fazer o controle da irrigação ou deixá-la de forma automática (ALBUQUERQUE, 2019).

A Figura 2.8 a seguir demonstra o fluxograma do dispositivo, bem como a tela do aplicativo móvel desenvolvido e as conexões de todos os dispositivos utilizados pelo autor.



FONTE: Albuquerque (2019)

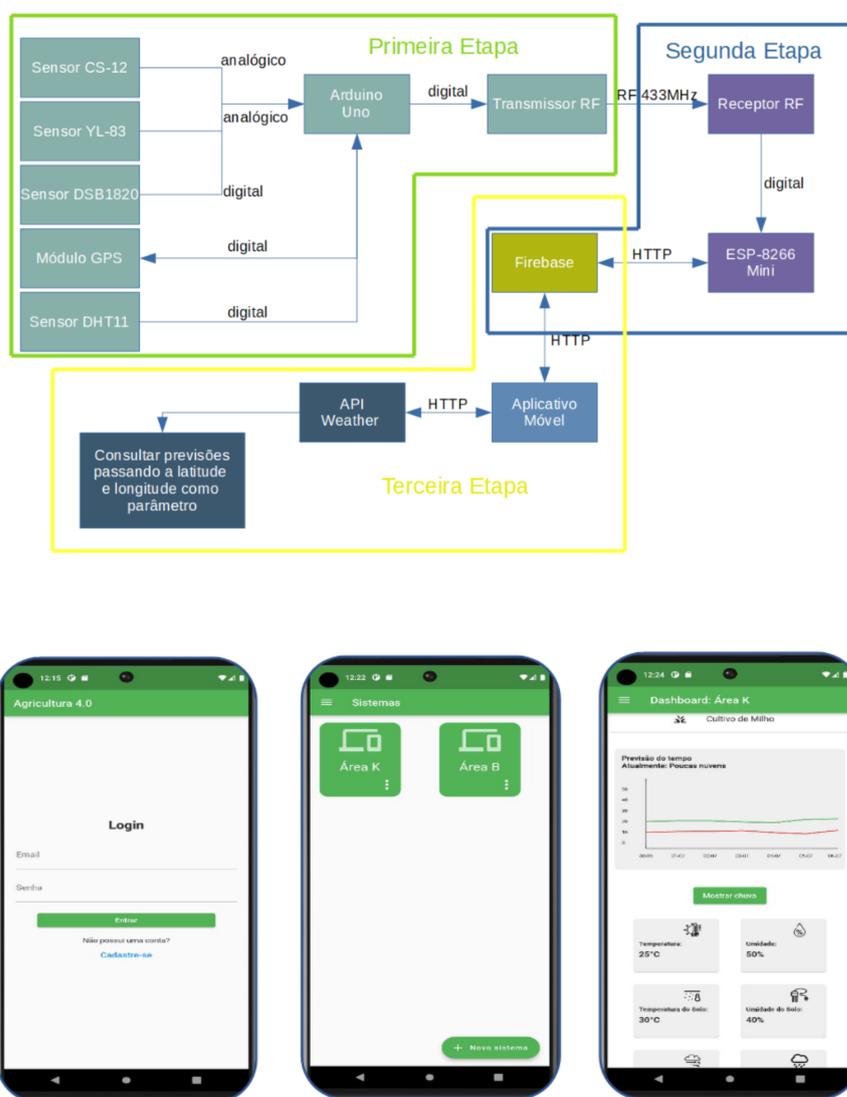
Figura 2.8 – Fluxograma do dispositivo, Tela do aplicativo, Conexões entre os dispositivos (da esquerda para direita e de cima para baixo) desenvolvido por Albuquerque (2019).

2.5.3 Sistema de monitoramento agrícola utilizando LoRa 433 MHz, IoT e aplicativo móvel

No ano de 2023, o trabalho realizado por Christensen e Fonseca (2023) consistiu em desenvolver um sistema de monitoramento de parâmetros voltados para plantações com base em Internet das Coisas (IoT) em conjunto com o protocolo de comunicação LoRa. A ideia do projeto foi observar e gerenciar as culturas em

tempo real, utilizando o microcontrolador Arduino Uno vinculado a sensores para coletar parâmetros como umidade e temperatura do solo e do ambiente, variações de clima e localização geográfica. Por sua vez, esses dados seriam enviados por meio de LoRa 433 Mhz para um banco de dados em nuvem (Firebase), onde seriam processados e tratados da melhor forma. Em conjunto com o sistema, foi desenvolvido um aplicativo em Flutter a fim de permitir a visualização dos dados coletados das culturas de soja e milho, nas quais o dispositivo estava sendo aplicado.

A **Figura 2.9** a seguir demonstra o fluxograma do dispositivo, bem como, as telas do aplicativo móvel desenvolvido pelo autor.



FONTE: Christensen e Fonseca (2023)

Figura 2.9 – Fluxograma do dispositivo, Telas do aplicativo (de cima para baixo) desenvolvido por Christensen e Fonseca (2023).

2.5.4 Sistema de irrigação inteligente para agricultura familiar baseado em IoT

Em seguida, [Velooso \(2023\)](#) desenvolveu um sistema de monitoramento remoto voltado para aplicações em lavouras com intuito de possibilitar a aplicação de técnicas de agricultura de precisão. O mesmo usou alguns sensores, sendo eles, de umidade do solo, temperatura do solo e luminosidade do ambiente, de modo que os dados fossem enviados por meio do protocolo de comunicação LoRa, permitindo assim uma comunicação a longas distâncias. Acoplado a esse sistema, também foi desenvolvida uma aplicação *web* de modo a facilitar a visualização dos dados coletados em tempo real. O diferencial do projeto é que o mesmo explorou a aplicação do aprendizado de máquina (*Machine Learning*) para ser possível uma análise minuciosa dos dados que estavam sendo coletados e permitindo melhorias automatizadas na lavoura.

A [Figura 2.10](#), a seguir, demonstra o fluxograma do dispositivo, bem como a tela do aplicativo móvel desenvolvido e as conexões de todos os dispositivos utilizados pelo autor.

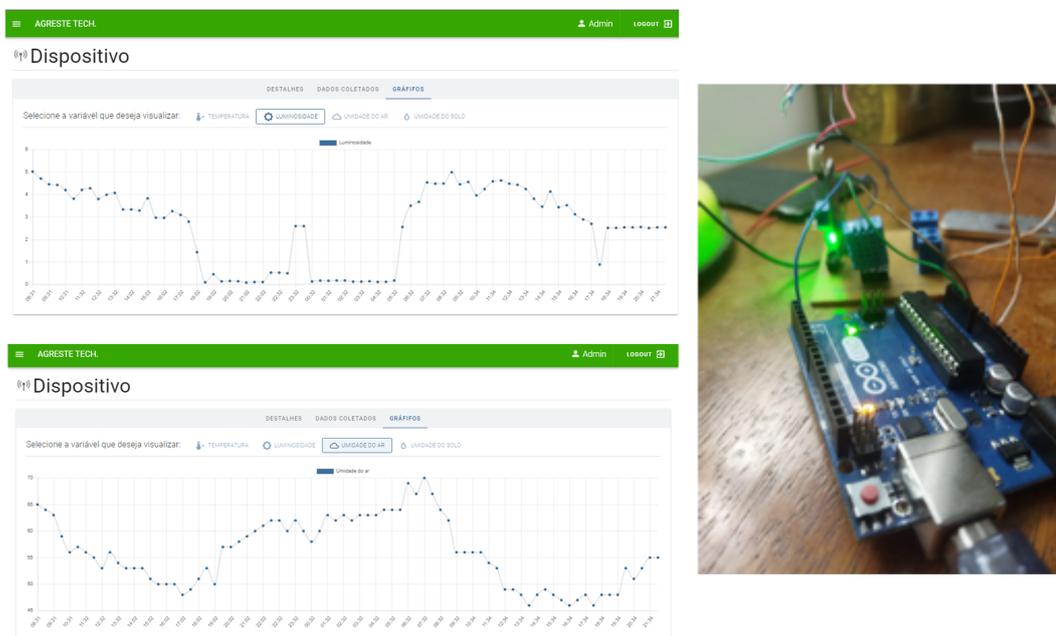
FONTE: [Velooso \(2023\)](#)

Figura 2.10 – Telas da interface web (a esquerda), Dispositivo (a direita) desenvolvido por [Velooso \(2023\)](#).

2.5.5 Desenvolvimento de plataforma *web* para monitoramento de dados para agricultura de precisão

Outra aplicação do ano de 2023, foi apresentada por Alves (2023), o qual desenvolveu uma plataforma *web* voltada para o monitoramento de dados que seriam coletados por sensores, os quais estariam sendo usados em aplicações voltadas para a agricultura de precisão. A plataforma foi projetada com o intuito de receber os dados de umidade e temperatura, posteriormente processá-los e exibi-los em um *dashboard* bastante intuitivo e de fácil visualização, de modo a permitir que os agricultores tomassem decisões mais consistentes.

O desenvolvimento foi dividido em duas partes principais:

- 1) Foi inicialmente usado o NodeRED como um gateway para receber os dados enviados pelo ESP32 via protocolo MQTT, processar os dados recebidos e enviar para uma API externa, com o objetivo de : armazenamento em nuvem, autenticação dos dispositivos e envio de dados para a aplicação. Nesse caso, o ESP32 era responsável por capturar os dados dos sensores de temperatura e umidade aos quais estava conectado.
- 2) A aplicação *web* foi construída usando o Laravel no back-end e o Vue.js no front-end com a integração do Inertia.js para facilitar a comunicação entre as duas camadas. Essa aplicação foi hospedada no Google Cloud Platform e foi projetada para mostrar os dados de forma fácil e intuitiva.

A Figura 2.11 e Figura 2.12 a seguir demonstram o dashboard desenvolvido pelo autor.

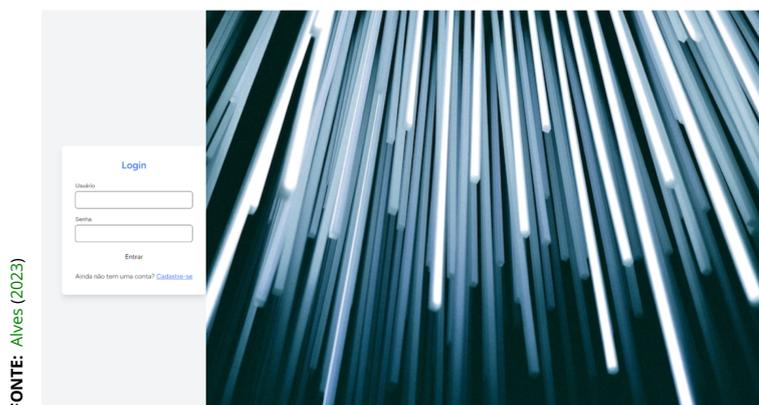


Figura 2.11 – Menu de entrada do dashboard desenvolvido por Alves (2023).



Figura 2.12 – Menu de informações do dashboard desenvolvido por Alves (2023).

2.5.6 Fertirrigação de planta com sistema baseado em IoT para gerenciamento e monitoramento (Fertigation of plant with IoT based system for management and monitoring)

Em 2024, na universidade de Tun Hussein na Malaysia foi desenvolvido por Zainal et al. (2024) um projeto de Fertirrigação com comunicação IOT (internet das coisas) para monitoramento e controle. Os autores utilizaram o sistema Blynk em conjunto com um ESP32 que integrava um sensor DHT22 em sua estrutura, bem como, um sensor ultrassônico para uma compreensão mais profunda do entorno da planta para medir as quantidades de água e nutriente (ZAINAL et al., 2024).

Como resultado, obteve-se um sistema controlado com medições em tempo real, conforme orientado pela Figura 2.13:

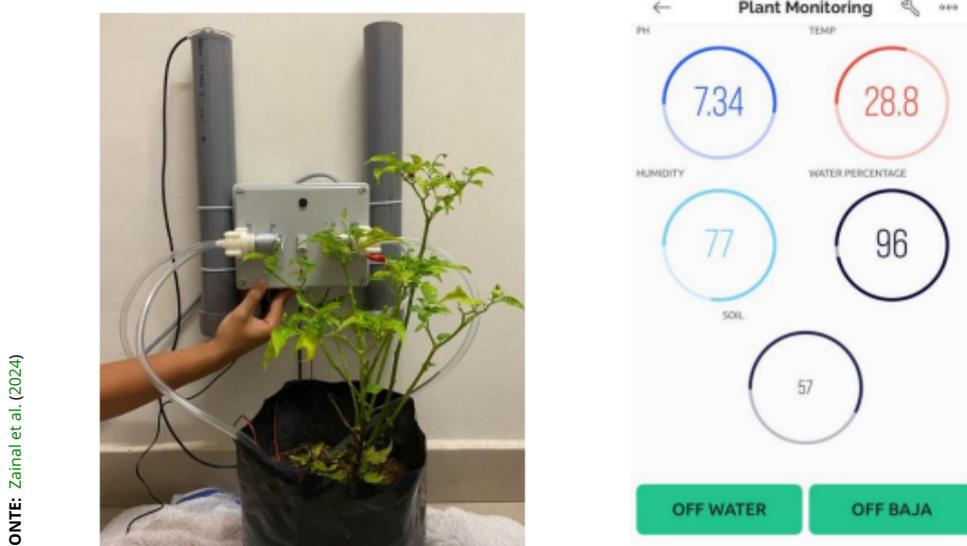


Figura 2.13 – Dispositivo desenvolvido, Tela do aplicativo (da esquerda para direita) desenvolvido por Zainal et al. (2024).

2.5.7 Projeto de sistema de monitoramento e controle para irrigação

Em outubro de 2024 o Engenheiro Vasconcelos et al. (2024), como requisito de conclusão na graduação de Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, o projeto final de Curso denominado "Projeto de Sistema de Monitoramento e Controle para Irrigação" foi apresentado. A proposta do Engenheiro foi elaborar um sistema de irrigação automatizado para propriedades rurais de pequeno e médio porte, durante o desenvolvimento do projeto, foi enfatizada a necessidade de promover o uso eficiente de água e energia elétrica na agricultura, bem como, a importância da engenharia para alcançar esse objetivo. Dessa maneira a metodologia adotada por Roberto Dourado, consistiu na aplicação de softwares remotos como Node-RED e Blink para automatizar o sistema e visando conjecturar todo o projeto, a placa embarcada ESP32 foi utilizada.

Como resultado, obteve-se um diagrama esquemático para o desenvolvimento do projeto, conforme orientado pela Figura 2.14:

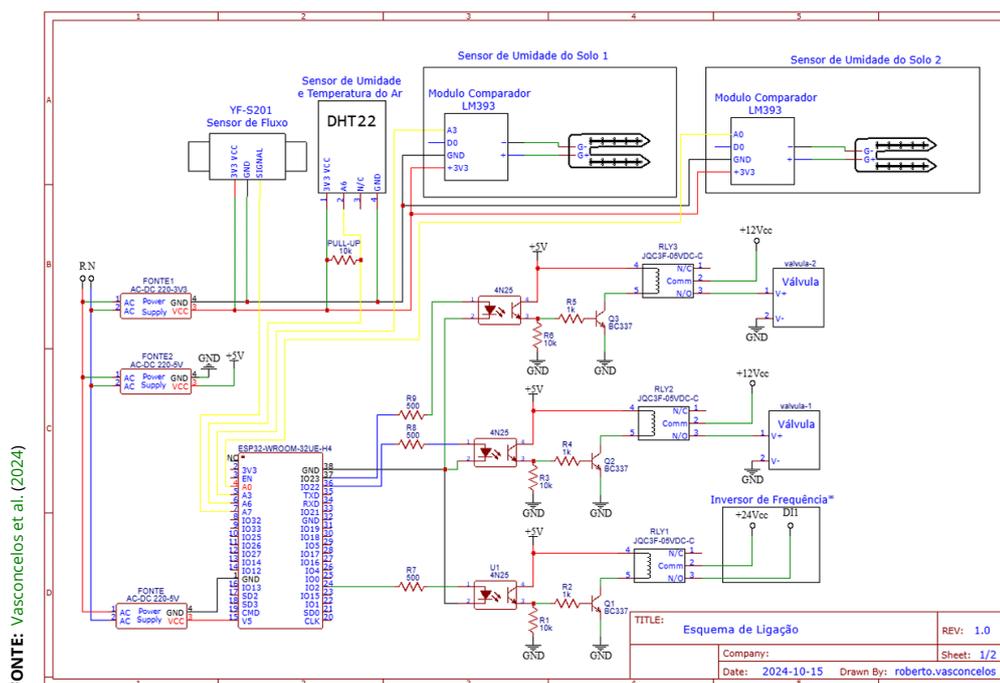


Figura 2.14 – Esquemático do protótipo desenvolvido por Vasconcelos et al. (2024).

Em conjunto com a interface do dashboard para verificação e análise dos dados que pode ser verificado na Figura 2.15.



Figura 2.15 – Dashboard para análise dos dados desenvolvido por Vasconcelos et al. (2024).

Após integrar o projeto com um Dashboard via comunicação de interface WI-FI possibilitada pelo ESP32, o autor observou que embora não tenham sido elaborados testes de consumo real de água, o controle apontou para uma potencial economia ao longo do ciclo produtivo, garantindo haver interrupção automática quando o nível de umidade desejado for alcançado, evitando conforme o mesmo o desperdício no meio de produção.

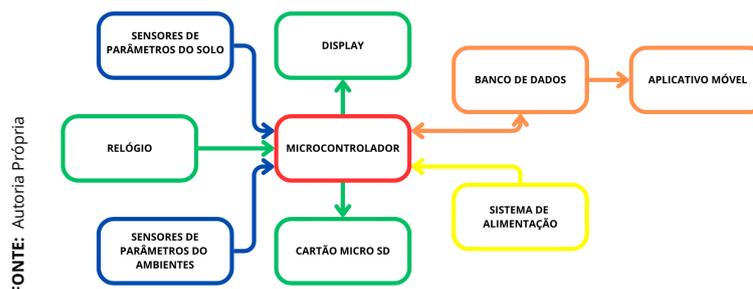
Capítulo 3

Metodologia

Após a realização da revisão bibliográfica sobre o tema, que incluiu a discussão de estudos e pesquisas relacionadas à Agricultura de Precisão, os parâmetros que influenciam as condições de uma cultura, os sensores utilizados para medir esses parâmetros e outras aplicações relevantes, foi possível estabelecer uma base sólida de conhecimento sobre o assunto. Esse embasamento teórico foi fundamental para o desenvolvimento do protótipo do dispositivo e do aplicativo associado, permitindo a adoção de uma metodologia própria para o desenvolvimento do sistema. Diante disso, neste capítulo é apresentada a metodologia adotada para que os objetivos do trabalho fossem atingidos, incluindo a escolha e dimensionamento de dispositivos, ferramentas e *softwares* empregados, bem como o racional de configuração e integração entre eles para que o protótipo do sistema fosse desenvolvido.

3.1 Modelo do dispositivo

O protótipo do projeto traduz-se em um sistema de monitoramento de parâmetros do solo e do ambiente com foco para o setor agrícola. O sistema é constituído para um microcontrolador, atrelado a um conjunto de sensores, módulos de armazenamento e comunicação, um sistema de alimentação para manter o funcionamento, bem como uma interface remota para visualização dos dados. A [Figura 3.1](#) demonstra a arquitetura do sistema.



FONTE: Autoria Própria

Figura 3.1 – Diagrama para representação do projeto.

3.2 Materiais utilizados

Para o desenvolvimento do projeto, fez-se necessária a escolha de diversos componentes eletrônicos e *softwares*, que possibilitou a construção do dispositivo de monitoramento das condições do solo e do ambiente. Os materiais foram escolhidos com base em critérios como eficiência, compatibilidade, consumo energético e viabilidade econômica, garantindo um sistema funcional e de baixo custo.

- ▶ 01 Microcontrolador ESP32;
- ▶ 01 Sensor THCPH-S;
- ▶ 01 Módulo Sensor LDR;
- ▶ 01 Módulo Sensor DHT22;
- ▶ 01 Módulo RTC;
- ▶ 01 Módulo Adaptador Micro SD;
- ▶ 01 Módulo Conversor MAX485;
- ▶ 01 Display OLED 0.91;
- ▶ 01 Regulador De Tensão Step Down Buck DC LM2596;
- ▶ 02 Baterias Li-On 7,4 V 3300 mAh;
- ▶ 02 Painéis Solares 12 V 3W;
- ▶ 01 Controlador de Carga MPPT CN3722 3A;
- ▶ 01 Placa de Fenolite 15x15cm;
- ▶ 06 Bornes de 2 pinos;
- ▶ 01 Diodo Schottky 1N5819;
- ▶ 01 Chave Gangorra;

- ▶ 01 Resistor de 10k Ω ;
- ▶ 01 Push Button.

3.3 Microcontrolador ESP32

As placas embarcadas de desenvolvimento são módulos da eletrônica com componentes e recursos específicos para o desenvolvimento de protótipos de projetos. Em sua estrutura, essas contam com microcontroladores, dispositivos com processador, memória e periféricos integrados em um único chip, os quais são projetados para executar tarefas específicas de controle e monitoramento em tempo real. Diferente do habitual, os microcontroladores são otimizados para trabalhar com baixo consumo de energia e custo reduzido, bem como possuem compatibilidade com linguagem de programação em alto nível como C e C++ (VISION, 2023).

Um exemplo de microcontrolador voltado para o desenvolvimento embarcado é o [ESP32](#), que foi desenvolvido pela *Espressif Systems* e lançado em 2016. Este módulo é uma evolução do ESP8266, oferecendo compatibilidade com WI-FI e Bluetooth, possuindo dois processadores de altíssima velocidade, conversores Analógico - Digital e Digital - Analógico, portas PWM que permitem a emissão de sinal em vários níveis de intensidade, como também uma grande capacidade de armazenamento de programas (VISION, 2023).

Abaixo, observam-se as especificações técnicas do [ESP32](#):

Microcontrolador:

- ▶ Processador: Xtensa LX6 dual-core de 32 bits
- ▶ Clock: Até 240 MHz
- ▶ Memória: 32 KB de cache de nível 1
- ▶ Memória: 16 KB de cache de nível 2

Memória:

- ▶ Flash: 520 KB
- ▶ RAM: 80 KB

Conectividade sem fio:

- ▶ Wi-Fi: IEEE 802.11 b/g/n
- ▶ Bluetooth: Bluetooth 4.2

Periféricos:

- ▶ Portas GPIO: 30
- ▶ UART: 2
- ▶ I2C: 2
- ▶ SPI: 2
- ▶ ADC: 12
- ▶ DAC: 2
- ▶ RTC: 2
- ▶ Sensor de temperatura: 1

Para a orientação das saídas do **ESP32**, observe a **Figura 3.2**, a qual expressa as saídas lógicas, como também, suas respectivas funções:

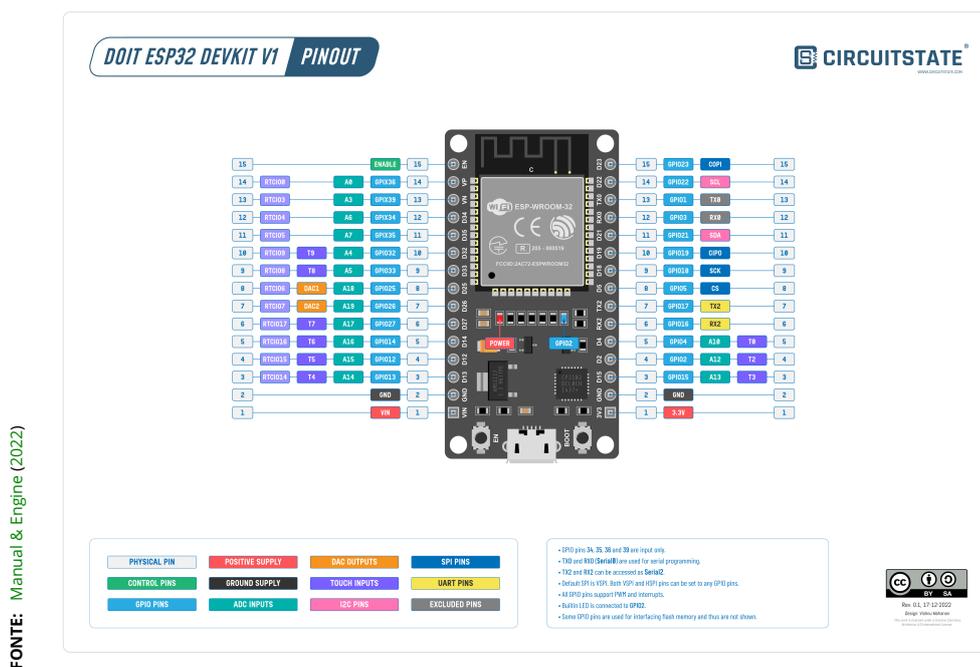


Figura 3.2 – Microcontrolador ESP32.

3.4 Programação dos sensores

De modo a certificar a aquisição correta dos parâmetros do solo e do ambiente, cada sensor integrado ao projeto passou por um processo de configuração conforme as suas especificações técnicas e ao funcionamento do ESP32. Serão retratadas configurações como protocolos utilizados, bibliotecas empregadas para o desenvolvimento do firmware, calibração e ajustes necessários para coleta e armazenamento de dados. Além disso, serão discutidos os desafios encontrados na integração dos sensores ao sistema e as soluções previstas para garantir o desempenho eficiente do dispositivo.

3.4.1 Módulo sensor de luminosidade - LDR

Um dos componentes eletrônicos mais conhecidos no ramo da Engenharia Elétrica é o sensor L.D.R, o termo é uma abreviação de *Light Dependent Resistor*, ou resistor dependente de luz. Como o nome sugere, o sensor se baseia em um foto-resistor, cuja característica principal é variar a resistência em função da intensidade de luz incidente em sua superfície.

Essa percepção de luminosidade se dá à medida que as partículas que compõem a luz (fótons) incidem sobre a superfície do sensor, resultando na liberação de elétrons do semicondutor presente no L.D.R. e variando conseqüentemente a resistência do conjunto, aumentando ou diminuindo-a. Em um estado comum, o sensor possui um alto valor de resistência, a qual é reduzida mediante o aumento da incidência de luz, se o ambiente for mais claro, permitindo, assim, uma maior passagem de corrente (ALVES, Não Informado), essa característica pode ser observada na Figura 3.3.

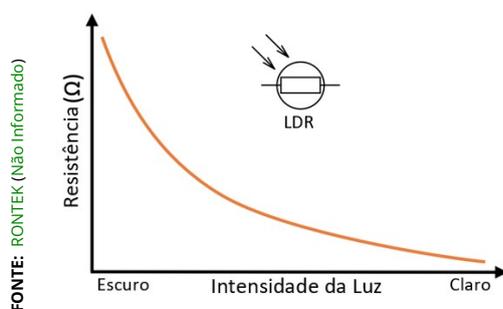


Figura 3.3 – Gráfico de Luminosidade x Resistência do LDR.

Tratando especificamente do módulo, este, por sua vez, possui um sensor

LDR integrado, conforme observado na [Figura 3.4](#)



Figura 3.4 – Módulo Sensor LDR.

As especificações técnicas do módulo são (**ELETROGATE, Não Informado**):

- ▶ Comparador: LM393;
- ▶ Tensão de Operação: 3,3 - 5V DC;
- ▶ Sensibilidade ajustável (através do ajuste do potenciômetro digital azul);
- ▶ Saídas de comutação digital (0 e 1) - D0
- ▶ Saídas de comutação analógica (0 e 4095, caso seja o [ESP32](#)) - A0

A [Figura 3.5](#) a seguir detalha o processo de integração do módulo LDR ao sistema.



Figura 3.5 – Etapas do processo de integração do módulo LDR.

3.4.1.1 Conexão com o ESP32

O módulo LDR foi alimentado com uma tensão de 5V controlada por um regulador BUCK, o GND, por sua vez está interligado ao Terra do sistema por completo. Já o pino A0 do módulo LDR, que se refere ao pino de sinal, este foi conectado a porta analógica GPIO 34 do [ESP32](#).

► Configuração do Pino:

- 1) A porta GPIO 34 foi configurada como uma porta de leitura de sinal por meio do [Código A.1](#), através da constante "PINO_LDR".

► Leitura do Sinal Analógico:

- 1) O [ESP32](#) possui alguns conversores analógico-digital (ADC) de 12 bits, a porta GPIO 34 é uma delas, de modo que, toda tensão aplicada a esta é convertida em um valor digital que segue uma escala de 0 a 4095. Para essa aplicação, esse valor é proporcional a intensidade luminosa que irá incidir no LDR.

3.4.1.2 Configuração no código

Via [Código A.2](#), a porta GPIO 34 foi configurada para ler o sinal do módulo LDR. A função "analogRead()" foi usada para adquirir o valor do sensor.

► Inicialização:

- 1) Na função "setup()" inerente a programação do [ESP32](#), a porta GPIO34 foi definida com uma entrada analógica. Para esse caso não foi preciso a utilização de bibliotecas, visto que o [ESP32](#) possui um suporte nativo para leituras analógicas.

► Leitura de Dados:

- 1) A cada ciclo de medição, por meio da função "analogRead(34)" o valor bruto (tensão) do LDR é lido, como demonstrado no [Código A.2](#).

3.4.1.3 Processamento dos dados

Após a leitura do valor bruto do LDR, este é convertido para retornar uma escala em percentual de luminosidade. Como citado, o valor analógico para o [ESP32](#) tem o seu máximo em 4095, o que representa para esse caso os 100% (muito claro), enquanto o valor 0 corresponde aos 0% (muito escuro).

► Normalização:

- 1) Para normalizar o valor lido, seguiu-se a seguinte fórmula da [Equação 3.1](#), verificada no [Código A.3](#):

$$\text{Luminosidade (\%)} = \frac{\text{Tensão (V)}}{4095} \cdot 100 \quad (3.1)$$

- 2) Após a normalização esse valor é armazenado em um [array](#) denominado "arrayluminosidade[]" e será utilizado para realizar uma média das medições.

3.4.2 Módulo sensor DHT22

O Módulo Sensor de Temperatura e Umidade denominado DHT22 é um módulo responsável por realizar medições de temperatura e umidade com alta precisão. O mesmo possui uma variação (range) de temperatura entre a faixa de -40°C a +80°C e de umidade de 0 a 100 %, por ser um módulo em questão, este é um aperfeiçoamento embarcado do sensor para otimizar a conectividade com protótipos para medição ([ELETROGATE](#), [Não informado](#)).

Seu funcionamento se dá por meio de um sensor capacitivo para medir a umidade e um termistor que mede o ar circundante informando valores de temperatura. Essas informações são enviadas para um microcontrolador de 8 bits que responde com sinal digital em sua informação final, permitindo assim a leitura de suas informações ([ELETROGATE](#), [Não informado](#)).

Através da [Figura 3.6](#) é possível identificar o módulo desenvolvido.

FONTE: Eletrogate (Não Informado)

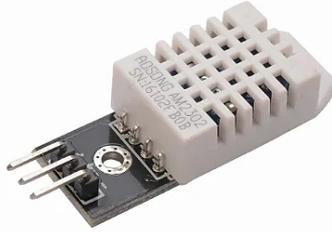


Figura 3.6 – Módulo Sensor DHT22.

As especificações técnicas do módulo são:

- ▶ Faixa de medição de Umidade: 0 a 100% UR;
- ▶ Faixa de medição de temperatura: -40° a 80°C;
- ▶ Alimentação: 3,5 a 5,5VDC;
- ▶ Corrente: 2,5mA (máx); em stand by de 100uA a 150 uA;
- ▶ Precisão de medição de umidade $\pm 2\%$ UR;
- ▶ Precisão de medição de temperatura: $\pm 5^\circ\text{C}$;
- ▶ Tempo de resposta: 2 seg.

A [Figura 3.7](#) a seguir detalha o processo de integração do módulo DHT22 ao sistema.

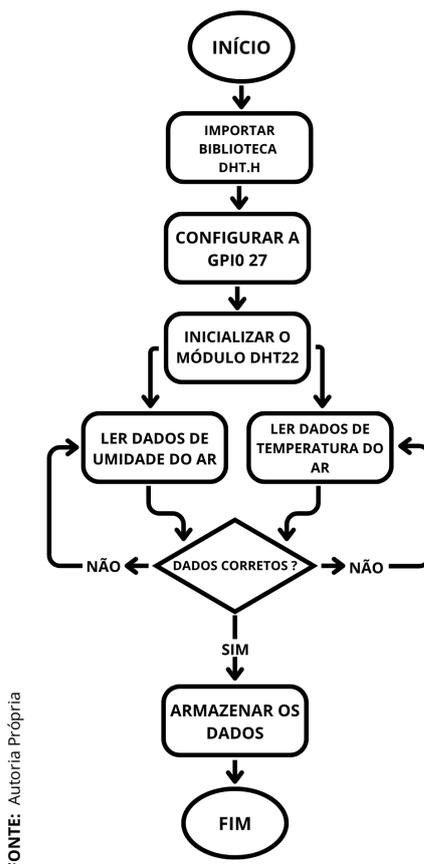


Figura 3.7 – Etapas do processo de integração do módulo DHT22.

3.4.2.1 Conexão com o ESP32

O módulo DHT22 foi alimentado com uma tensão de 5V controlada por um regulador BUCK, o GND, por sua vez está interligado ao Terra do sistema por completo. Já o pino OUT do módulo DHT22, que se refere ao pino de sinal, este foi conectado a porta digital GPIO 27 do [ESP32](#).

► Configuração do Pino:

- 1) A porta GPIO 27 foi configurada com uma porta de leitura de sinal via código por meio da biblioteca "DHT.h", que irá gerenciar a comunicação com o sensor, conforme o [Código A.4](#).

► Leitura do Sinal Digital:

- 1) O [ESP32](#) possui inúmeras portas digitais, a porta GPIO 27 é uma delas, de modo que, esta pode ler um sinal binário 0 (0V) ou 1 (3,3V). Entretanto, muitas portas digitais do [ESP32](#) pos-

suem funcionalidade adicionais como PWM, permitindo a leitura de valores digitais entre 0 a 255, que para essa aplicação esses valores são proporcionais a temperatura e umidade do ar.

3.4.2.2 Configuração no código

A escolha da biblioteca "DHT.h" se dá pela facilidade permitida para leitura dos dados do sensor.

► Inicialização:

- 1) Inicialmente foi importado a biblioteca "DHT.h", conforme verificado no [Código A.4](#).
- 2) Posteriormente, foi criado um objeto denominado "dht" a partir da classe "DHT" que faz da biblioteca "DHT.h", conforme verificado no [Código A.4](#). Esse objeto é usado para comunicar com o módulo DHT22.
- 3) Na função "setup()" inerente a programação do [ESP32](#), o sensor foi inicializado por meio do comando "dht.begin()" que faz parte da biblioteca "DHT.h", demonstrado no [Código A.5](#). Por meio deste comando a porta GPIO27 é definida com uma entrada digital, permitindo a leitura dos dados do sensor.

► Leitura dos Dados:

- 1) A cada ciclo de medição, os valores de umidade do ar e temperatura do ar são medidos, mediante a função "dht.readHumidity" e a função "dht.readTemperature" respectivamente, conforme visto no [Código A.6](#).

3.4.2.3 Processamento de dados

- 1) Após realizar a leitura dos valores de umidade e temperatura, por meio da biblioteca "DHT.h" é realizada verificações internas para detectar se houve erros de leitura, como, por exemplo, valores fora da faixa esperada ou a não leitura dos valores.

- Ademais, se tudo estiver correto, os valores de temperatura do ar e umidade do ar são armazenados nos *arrays*, "arraytemperaturaar[]" e "arrayumidadear[]" respectivamente, que serão utilizados para realizar uma média das medições.

3.4.3 Sensor THCPH-S

O sensor THCPH-S, desenvolvido pela empresa COMWIMTOP, é um equipamento com multifunções desenvolvido para realizar a medição de variáveis importantes do solo como umidade, temperatura, condutividade elétrica (EC) e pH. Esses parâmetros são de suma importância para o monitoramento e o controle eficiente do solo, podendo ser aplicado para diversas finalidades como agricultura de precisão, controle de uma irrigação ou mesmo para pesquisas ambientais. Observe na [Figura 3.8](#) a representação do mesmo.



Figura 3.8 – Sensor THCPH - S.

Devido a sua robustez e precisão, o mesmo pode ser aplicados em diversos cenários de ambientes. Suas especificações técnicas são (COMWINTOP, Não Informado):

Temperatura:

- ▶ Faixa de medição: - 40°C a + 80°C
- ▶ Precisão: ±5°C (a 25°C)
- ▶ Estabilidade de longo prazo: ≤ 0.1 % °C/ano
- ▶ Tempo de resposta: ≤ 15 s

Umidade:

- ▶ Faixa de medição: 0-100%
- ▶ Precisão: 2% (0-50%), 3% (50-100%)
- ▶ Estabilidade de longo prazo: $\leq 1\%$ /ano
- ▶ Tempo de resposta: ≤ 4 s

Condutividade Elétrica (EC):

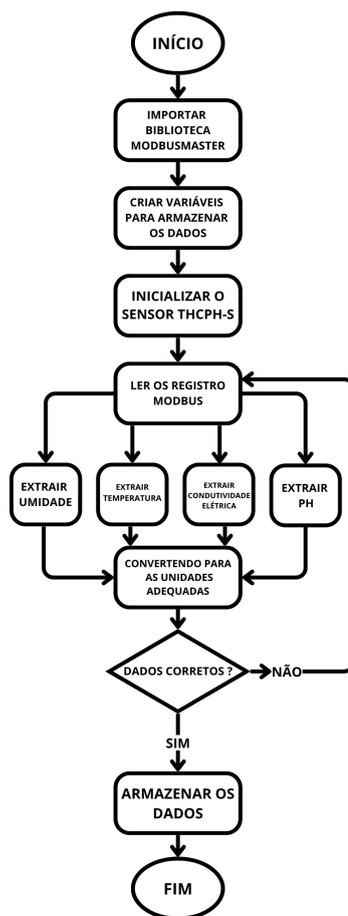
- ▶ Faixa de medição: 0-200000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- ▶ Precisão: $\pm 3\%$ (0-10000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), $\pm 5\%$ (10000-20000 $\mu\text{S}/\text{cm}$)
- ▶ Estabilidade de longo prazo: ≤ 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- ▶ Tempo de resposta: ≤ 1 s

pH:

- ▶ Faixa de medição: 3-9 pH
- ▶ Precisão: ± 0.3 pH
- ▶ Estabilidade de longo prazo: $\leq 5\%$ /ano
- ▶ Tempo de resposta: ≤ 10 s

A sua alimentação é por meio de tensão contínua (DC) que pode variar de 4,5 V a 30 V, possuindo um consumo máximo de 0,5W a 24V. Devido a sua robustez, o mesmo possui proteção [IP68](#), o que lhe permite longos períodos de imersão em água. Já sua comunicação se dá por meio do [protocolo RS485](#) com suporte ao padrão [Modbus RTU](#), na qual se têm registros Modbus para leitura e escrita de parâmetros como umidade, temperatura, condutividade e [pH](#), facilitando assim sua aplicação a sistemas de monitoramento e controle automatizados ([COMWINTOP](#), [Não Informado](#)).

A [Figura 3.9](#) a seguir detalha o processo de integração do sensor THCPH-S ao sistema.



FONTE: Autoria Própria

Figura 3.9 – Etapas do processo de integração do sensor THCPH-S.

3.4.3.1 Conexão com o ESP32

Visto que, o sensor THCPH-S usa o protocolo de comunicação RS485, fez-se necessário a utilização de um módulo MAX485. O intuito deste é converter os sinais RS485 para TTL, compatível com o tipo de interpretação do [ESP32](#).

► Configuração do sensor THCPH-S:

- 1) O sensor foi alimentado pelo pino "VCC" com uma tensão de 5V controlada por um regulador BUCK, o pino "GND", por sua vez está interligado ao Terra do sistema por completo.
- 2) Os pinos A+ e B- do sensor, que se referem aos pinos de sinais, foram conectados respectivamente aos pinos A+ e B- do módulo conversor MAX485.

► Configuração do módulo MAX485:

- 1) O módulo MAX485 foi alimentado pelo pino "VCC" com uma tensão de 5V controlada por um regulador BUCK, o pino "GND", por sua vez está interligado ao Terra do sistema por completo.
- 2) Os pinos RO e DI do módulo, que se tratam dos pinos de sinais, foram conectados as portas GPIO16 e a GPIO17 respectivamente, sendo essas, portas de comunicação serial 02, denominadas RX2 e TX2, do [ESP32](#);
- 3) Os pinos RE e DE do módulo MAX485, foram curto-circuitados e posteriormente conectados a porta GPIO4 do [ESP32](#), sendo esta responsável pelo controle do modo de operação. Quando o pino está em nível alto, o modulo está em modo transmissão, por outro lado, quando está em nível baixo, o módulo está em modo recepção.

► Inicialização do Modbus:

- 1) Para implementação do protocolo Modbus foi utilizada a biblioteca "ModbusMaster.h" e conforme descrito no [datasheet](#) do módulo THCPH-S, o mesmo deve ser configurado com o endereço Modbus 1.

3.4.3.2 Configuração no código

A biblioteca "ModbusMaster.h" foi utilizada por facilitar a comunicação do sensor THCPH-S com o [ESP32](#), pois a mesma facilita a complexidade do protocolo Modbus.

► Inicialização:

- 1) Inicialmente, foi importado a biblioteca "ModbusMaster.h", demonstrado no [Código A.7](#).
- 2) Posteriormente foi criado um objeto denominado "node" a partir da classe "ModbusMaster" que faz parte da biblioteca "ModbusMaster.h" para ser possível a interação com o sensor THCPH-S, conforme verificado no [Código A.7](#).
- 3) Em sequência foram criadas quatro variáveis denominadas "umidadesolo", "temperaturasolo", "condutividadesolo", "ph-

solo" para o armazenamento dos parâmetros do solo, como umidade, temperatura, condutividade elétrica e pH respectivamente. É possível observá-las no [Código A.8](#).

- 4) Na função "setup()" inerente a programação do ESP32, a porta serial 02 foi configurada para se comunicar com o módulo MAX485 por meio da função "Serial2.begin()", conforme mostrado no [Código A.9](#).
- 5) Foram criadas duas funções, denominadas "preTransmission()" e "postTransmission()" com intuito de controlar o modo do MAX485 entre os estados de transmissão e recepção respectivamente, essas podem ser observadas no [Código A.10](#)

► Leitura dos Dados

- 1) A cada ciclo de medição, os valores de temperatura, umidade, condutividade elétrica e pH são obtidos mediante a função "node.readInputRegisters()", como observado no [Código A.11](#). Essa função ler os registros Modbus, onde cada parâmetro possui um registro de endereço diferente.
- 2) Após a obtenção dos parâmetros, os mesmos são extraídos dos registros por meio da função "node.getResponseBuffer()", observada no [Código A.12](#) e posteriormente convertidos para as unidades adequadas, conforme a tabela informada no [datasheet](#) no sensor THCPH-S.

3.4.3.3 Processamento de dados

- 1) Após a leitura dos valores, é realizada uma verificação destes, para garantir uma maior precisão e consistência dos dados. Esse passo pode ser observado no [Código A.13](#).
- 2) Com os valores verificados, esses já se tornam úteis, assim os parâmetros de umidade, temperatura, condutividade elétrica e pH são armazenados nos [arrays](#) denominados "arrayumidadesolo", "arraytemperaturasolo", "arraycondutividadesolo", "arrayphsolo" respectivamente, que serão usados para realizar uma média das medições.

3.5 Programação do módulo RTC

O módulo RTC (*Real-Time-Clock*) usado é o DS3231, o mesmo é responsável por manter preciso a data e a hora do sistema. Esse módulo é essencial para afirmar que as medições sejam realizadas no tempo correto e para que posteriormente seja possível uma análise temporal dos dados coletados. É importante citar que o mesmo pode manter a data e hora atualizada mesmo que o sistema esteja desligado, isso graças a sua bateria de *backup*. A [Figura 3.10](#) a seguir demonstra o dispositivo que será usado.



Figura 3.10 – Módulo RTC.

As especificações técnicas deste são ([ELETROGATE, 2022](#)):

- ▶ Tensão de operação: 3.3-5V;
- ▶ Computa segundos, minutos, horas, dias da semana, dias do mês, meses e anos (de 2000 a 2099);
- ▶ Circuito de detecção de falha de energia;
- ▶ Sensor de temperatura com ± 3 °C de exatidão.
- ▶ Dimensões: 38 x 22 x 14mm.

A [Figura 3.11](#) a seguir detalha o processo de integração do módulo RTC ao sistema.

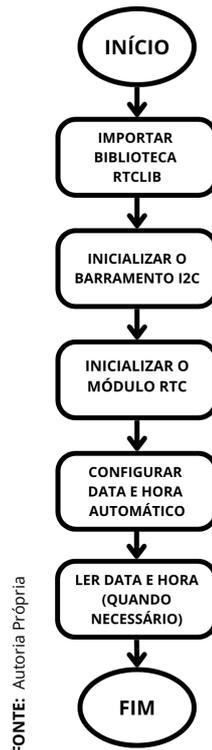


Figura 3.11 – Etapas do processo de integração do módulo RTC.

3.5.1 Conexão com o ESP32

- 1) O módulo RTC foi alimentado pelo pino "VCC" com uma tensão de 5V controlada por um regulador BUCK, o pino "GND", por sua vez está interligado ao terra do sistema por completo.
- 2) Posteriormente, o modulo RTC foi conectado ao [barramento I2C](#) do [ESP32](#) da seguinte forma, o pino "SDA" do módulo foi ligada a porta GPIO21 (SDA) do [ESP32](#), já o pino "SCL" do módulo foi conectada a porta GPIO22 (SCL) do [ESP32](#).

3.5.2 Configuração do código

- 1) Inicialmente a biblioteca "RTClib.h" foi importada, conforme mostrado no [Código A.14](#). Essa foi usada por facilitar a comunicação com o módulo, permitindo a leitura da data e hora de forma simples.
- 2) Em sequência, foi criado um objeto denominado "rtc" por meio da classe "RTC_DS3231" que se encontra dentro da biblioteca "RTClib.h" com intuito de interagir com o módulo RTC, observado no [Código A.14](#).

- 3) Na função "setup()" inerente a programação do [ESP32](#), foi inicializado o [barramento I2C](#) com o comando "Wire.begin(21, 21)" , a qual configura as portas GPIO21 e GPIO22 para a comunicação I2C, observe o mesmo no [Código A.15](#).
- 4) Na função "setup()" também é inicializado o módulo RTC por meio do comando "rtc.begin()" e, ao mesmo tempo, configura a data e hora atual para o sistema, conforme visto no [Código A.15](#).

3.5.3 Leitura da data e hora

- 1) Os valores de data e hora podem ser verificados por meio da função "rtc.now()" o qual retorna um objeto denominado "DateTime" que possui os dados do dia, mês, ano, hora, minuto e segundo. Observe um exemplo de aplicação no [Código A.16](#).

3.6 Programação do módulo de cartão Micro SD

O módulo [cartão Micro SD](#) foi usado para armazenar os dados coletados pelos sensores por meio de um arquivo de texto. O intuito é garantir um "[backup](#)" dos dados coletados mesmo que o sistema perca a conexão com a internet e consequentemente com a conexão em nuvem. O mesmo usa a [interface SPI](#) para se comunicar com o [ESP32](#), bem como, permite a escrita e a leitura de arquivos usando o sistema [FAT16](#) ou [FAT32](#). A [Figura 3.12](#) demonstra o dispositivo usado no projeto.

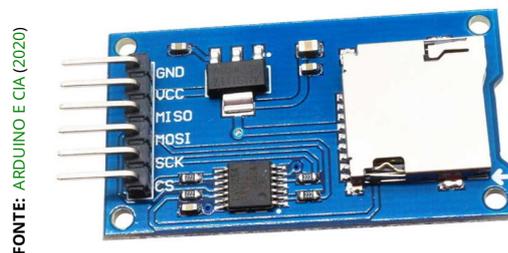


Figura 3.12 – Módulo Cartão Micro SD.

As especificações técnicas deste são ([ARDUINO E CIA, 2020](#)):

- ▶ Tensão de alimentação: 3.3V 5V
- ▶ Slot: Micro SD / Micro SDHC de alta velocidade

- ▶ Interface de comunicação: SPI
- ▶ Temperatura de Operação: -40°C ã 85°C
- ▶ Tamanho: 41mm Largura x 24mm Profundidade x 3mm Altura
- ▶ Pinagem: CS (Chip Select), SCK (Serial Clock), MOSI (Master Out / Slave In), MISO (Master In / Slave Out), VCC (Positivo), GND (Negativo)

A [Figura 3.13](#) a seguir detalha o processo de integração do módulo de [cartão Micro SD](#) ao sistema.

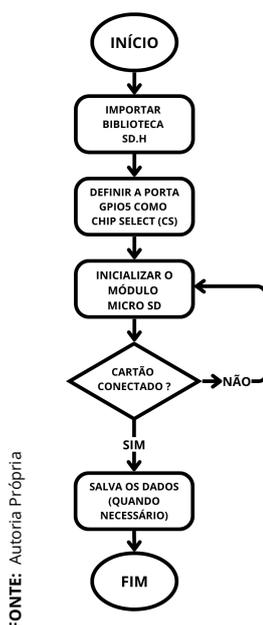


Figura 3.13 – Etapas do processo de integração do módulo de cartão Micro SD.

3.6.1 Conexão com o ESP32

- 1) O módulo MicroSD foi alimentado pelo pino "VCC" com uma tensão de 5V controlada por um regulador BUCK, o pino "GND", por sua vez, está interligado ao Terra do sistema por completo.
- 2) Posteriormente, o restante dos pinos do módulo foram conectados ao barramento SPI do [ESP32](#) da seguinte maneira:
 - 1) Pino SCK do módulo foi conectado a porta GPIO18 (SCK) do [ESP32](#);
 - 2) Pino MISO do módulo foi conectado a porta GPIO19 (MISO) do [ESP32](#);

- 3) Pino MOSI do módulo foi conectado a porta GPIO23 (MOSI) do [ESP32](#);
- 4) Pino CS do módulo foi conectado a porta GPIO5 (CS) do [ESP32](#).

3.6.2 Configuração no código

- 1) Inicialmente a biblioteca "SD.h" foi importada, como verificado no [Código A.17](#).
- 2) Posteriormente, foi definido a porta GPIO5 do [ESP32](#) como o pino "Chip Select", observe no [Código A.18](#).
- 3) Na função "setup()" é inicializado o módulo [cartão Micro SD](#) por meio do comando "SD.begin(SD_CS)" e, ao mesmo tempo, é verificado se o cartão está presente e funcionando, conforme visto no [Código A.19](#).

3.6.3 Armazenamento de dados

- 1) Os valores coletados, quando solicitados, serão armazenados no [cartão Micro SD](#) em um arquivo de texto denominado "BACKUP.txt". Este arquivo é inicializado por meio do comando "FILE_APPEND" no modo anexação, garantindo que sempre quando novos valores forem lidos e requisitados para serem salvos, estes não sobreponham os dados antigos. Observe no [Código A.20](#) o modelo de salvamento.

3.7 Programação do display OLED

O display OLED é o responsável por mostrar as informações em tempo real dos dados coletados pelo sistema. Tornando essencial para o usuário que irá utilizar o equipamento, por permitir uma visualização fácil e rápida. Este possui é um modelo de 128x32 píxeis monocromático e também utiliza o [barramento I2C](#) para se comunicar com o [ESP32](#). A [Figura 3.14](#) representa o modelo a ser usado.



Figura 3.14 – Display OLED.

As especificações técnicas do mesmo são (ELETROGATE, Não informado):

- ▶ Controlador: SSD1306;
- ▶ Tensão de Operação: 3.3V a 5V;
- ▶ Cor: Azul, com alto contraste;
- ▶ Interface: I2C, que utiliza apenas dois fios (SDA e SCL);
- ▶ Resolução: 128x32 pixels;
- ▶ Dimensões: 38 x 12 x 2,5 mm.

A Figura 3.15 a seguir detalha o processo de integração do display OLED ao sistema.



Figura 3.15 – Etapas do processo de integração do display OLED.

3.7.1 Conexão com o ESP32

- 1) O display OLED foi alimentado pelo pino "VCC" com uma tensão de 5V controlada por um regulador BUCK, o pino "GND", por sua vez, está interligado ao Terra do sistema por completo.
- 2) Os demais pinos foram conectadas ao [barramento I2C](#) do [ESP32](#) da seguinte maneira:
 - ▶ O pino SDA do display foi conectado a porta GPIO21 (SDA) do [ESP32](#);
 - ▶ O pino SCL do display foi conectado a porta GPIO22 (SCL) do [ESP32](#).

3.7.2 Configuração no código

- 1) Inicialmente a biblioteca "Adafruit_SSD1306.h" foi importada, como verificado no [Código A.21](#).
- 2) Em sequência, foram definidas as constantes "LARGURA_DISPLAY", "ALTURA_DISPLAY" e "RESETAR_DISPLAY", como mostrado no [Código A.22](#). Tais constantes são usadas para configurar o display conforme as suas especificações.
- 3) Posteriormente, foi criado o objeto "display" por meio da classe "Adafruit_SSD1306" que se encontra dentro da biblioteca "Adafruit_SSD1206", esse objeto configura o display com os valores das constantes que foram anteriormente criadas, conforme o [Código A.23](#).
- 4) Após configurado, na função "setup()" o display OLED é inicializado por meio do [Código A.24](#), onde é informado o endereço I2C do mesmo.

3.7.3 Configuração de exibição

- 1) Após ser inicializado, o display é configurado para visualização de dados da seguinte maneira, conforme o [Código A.25](#):
 - 1) Limpa-se o display;
 - 2) Define o tamanho da fonte;

- 3) Define a cor da fonte;
- 4) Define a posição (x, y) do cursor;
- 5) Exibe o texto "DISPLAY INICIALIZADO" .

3.8 Programação da conexão com Wi-Fi

A conexão com a rede Wi-Fi é de suma importância para o projeto, visto que, o [ESP32](#) precisa ler e enviar informações para o banco de dados que no caso é o [Firebase](#). O projeto foi pensado para ser acessível ao usuário, possibilitando que o mesmo configure as credenciais do Wi-Fi caso seja a primeira vez que o mesmo esteja utilizando ou que este se conecte de forma automática caso já tenha alguma rede Wi-Fi salva em sistema.

A [Figura 3.16](#) a seguir detalha o processo de configuração para conectar o [ESP32](#) ao Wi-Fi do local.

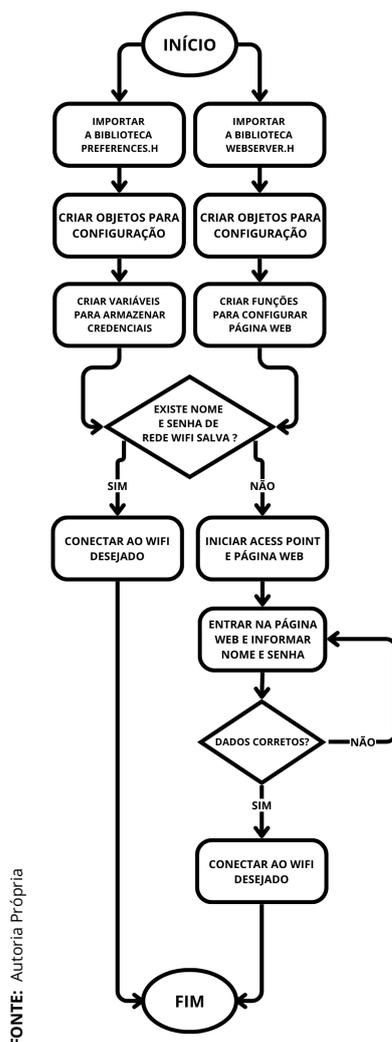


Figura 3.16 – Etapas do processo de configuração para conectar o [ESP32](#) ao Wi-Fi do local.

3.8.1 Configurando o código

Antes de se conectar ao Wi-Fi é necessário realizar algumas configurações, sendo essas as seguintes:

- 1) Inicialmente faz-se necessário a importação da biblioteca "Preferences.h", demonstrada no [Código A.26](#). A mesma é útil armazenar as credenciais do Wi-Fi na memória não volátil da [ESP32](#) e assim realizar o processo de conexão automático caso existam credenciais de Wi-Fi salvas.
- 2) Em sequência, é criado o objeto "preferences" por meio da classe "Preferences" que se encontra dentro da biblioteca "Preferences.h", verificado no [Código A.27](#). Esse objeto serve para acessar a memória não volátil e verificar se existem credenciais salvas.

- 3) Também faz-se necessário importar a biblioteca "WebServer.h", observe no [Código A.28](#). Essa será necessária para criar o servidor HTTP que irá hospedar a página web que será usada posteriormente.
- 4) Um objeto denominado "server" também é criado, por meio da classe "WebServer" que se encontra dentro da biblioteca "WebServer.h", demonstrado no [Código A.29](#). O mesmo é criado com a porta 80 que é a porta padrão para HTTP.
- 5) Por conseguinte, é necessário criar duas variáveis denominadas "ssid" e "password", que serão úteis para salvar as credenciais do Wi-Fi. Observe no [Código A.30](#) a criação das mesmas.
- 6) Por fim, é criado três funções denominadas "handleRoot", "handleSubmit" e "handleConnected", verificada nos Códigos [A.34](#), [A.35](#) e [A.36](#) respectivamente. As mesmas serão posteriormente usadas para gerar a página Web e configurar e enviar o formulário de preenchimento das credenciais do Wi-Fi desejado.

3.8.2 Realizando conexão

Com o [ESP32](#) configurado, é possível agora conectar-se ao Wi-Fi através das seguintes etapas:

- 1) Por meio da função "setup", as credenciais do Wi-Fi contidas nas variáveis "ssid" e "password" serão lidas da memória volátil, por meio da função "preferences.begin()", verificada no [Código A.31](#). Caso já exista, o [ESP32](#) se conecta ao Wi-Fi normalmente.
- 2) Caso não exista, o [ESP32](#) entra no modo "Acess Point", criando uma rede Wi-Fi própria para que o usuário se conecte a essa rede e possa configurar a rede Wi-Fi desejada, por meio das seguintes etapas:
 - 1) Cria-se a rede Wi-Fi denominada "ESP32_AP" com a senha "12345678", como verificado no [Código A.32](#).
 - 2) É iniciado um servidor HTTP que irá exibir uma página web, observe no [Código A.33](#)
 - 3) Estando conectado ao Wi-Fi da [ESP32](#), o usuário poderá acessar a página Web por meio do endereço "192.168.4.1" via navegador e informar o "SSID" e a "SENHA" da rede a qual o

mesmo deseja se conectar.

3) Após informar as credenciais o sistema tenta se conectar a rede Wi-Fi desejada:

- ▶ Caso consiga conectar, o servidor Web finaliza o sistema funciona.
- ▶ Caso não consiga conectar, é solicitada novamente no servidor Web as credenciais corretas do Wi-Fi.

3.9 Programação do banco de dados

Visando auxiliar no desenvolvimento de projetos maiores, a Google lançou em 2012 uma plataforma de BaaS (Backend-as-Service), o [Firebase](#). A plataforma fornece infraestrutura de programação back-end pronta para quem desenvolve aplicativos, mitigando a necessidade de redirecionar esforços para a configuração ou manutenção de servidores. Em outras palavras o [Firebase](#) é uma plataforma de desenvolvimento multiplataforma e atua como uma caixa de ferramentas com recursos que possibilitam melhorias e expansões em aplicativos de maneira mais eficiente e sem a necessidade de dedicar tempo para hospedagem, configuração ou segurança, pois tudo já é fornecido pelo sistema ([RIBEIRO, 2023](#)).

O ponto de maior destaque no [Firebase](#), é a possibilidade de armazenar, recuperar, atualizar e gerenciar dados de maneira organizada, eficiente e em tempo real, ou seja, o mesmo possui um Realtime Database (Banco de dados em tempo real) que permite aos aplicativos o gerenciamento de grandes volumes de dados. Entende-se assim que o [Firebase](#) Realtime Database é um banco de dados NoSQL hospedado na nuvem que armazena e sincroniza informações entre usuários em tempo real, sendo essa uma funcionalidade de suma importância para aplicativos colaborativos, permitindo à vários usuários interações entre si com atualização em tempo real. Além disso, são fornecidos recursos adicionais como a manutenção de dados offline e escalabilidade entre múltiplos bancos de dados ([RIBEIRO, 2023](#)).

Durante o desenvolvimento do software, um dos processos fundamentais é a hospedagem, sem esta etapa a aplicação desenvolvida não será acessível para outros usuários. Além disso, um bom serviço de hospedagem garante a disponibilidade constante de um aplicativo, acelera atualizações mais rapidamente e dá suporte ao acesso de muitos usuários em simultaneidade ([RIBEIRO, 2023](#)).

Assim a implementação da mesma está descrita nas seções 3.9.1 e 3.9.2 a seguir.

3.9.1 Configuração no site do Firebase

A Figura 3.17 a seguir detalha o processo para a construção do banco de dados via Firebase.

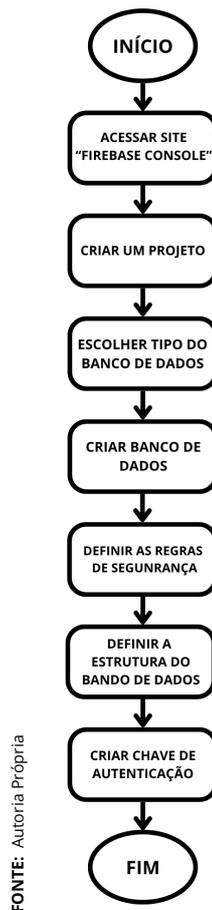


Figura 3.17 – Etapas do processo de construção do banco de dados via Firebase.

- 1) Inicialmente foi acessado o site "https://console.firebase.google.com/u/0/";
- 2) Seguidamente, foi necessário criar um novo projeto clicando na opção "Adicionar Projeto". Segui-se todas as etapas necessárias para essa parte e por fim o nome do projeto foi definido como "MultiSensores PFC";
- 3) Após entrar no projeto, foi escolhido o tipo de banco de dados denominado "Realtime Database" no menu lateral, este modelo se refere a um banco de dados em tempo real;
- 4) Em sequência, foi escolhida a opção "Criar banco de dados", como tam-

bém, foi necessário a escolha da região mais próxima à localidade atual do projeto;

- 5) Posteriormente, foram definidas as regras de segurança para o banco de dados, permitindo ou não a escrita e leitura de dados;
- 6) Por conseguinte, definiu-se a estrutura a qual o banco de dados iria seguir para a recepção dos dados provenientes das medições captadas pelos sensores juntamente com o [ESP32](#), sendo esta organizada em nós ("*paths*"), como observado a seguir:

- 1) Umidade do Solo:

- ▶ Valor (*int*);
- ▶ Data e Hora (*string*).

- 2) Umidade do Ar:

- ▶ Valor (*int*);
- ▶ Data e Hora (*string*).

- 3) Temperatura do Solo:

- ▶ Valor (*int*);
- ▶ Data e Hora (*string*).

- 4) Temperatura do Ar:

- ▶ Valor (*int*);
- ▶ Data e Hora (*string*).

- 5) Condutividade do Solo:

- ▶ Valor (*int*);
- ▶ Data e Hora (*string*).

- 6) pH do Solo:

- ▶ Valor (*int*);
- ▶ Data e Hora (*string*).

7) Luminosidade:

- ▶ Valor (*int*);
- ▶ Data e Hora (*string*).

A [Figura 3.18](#) é possível verificar a estrutura implementada dentro da plataforma do [Firebase](#).

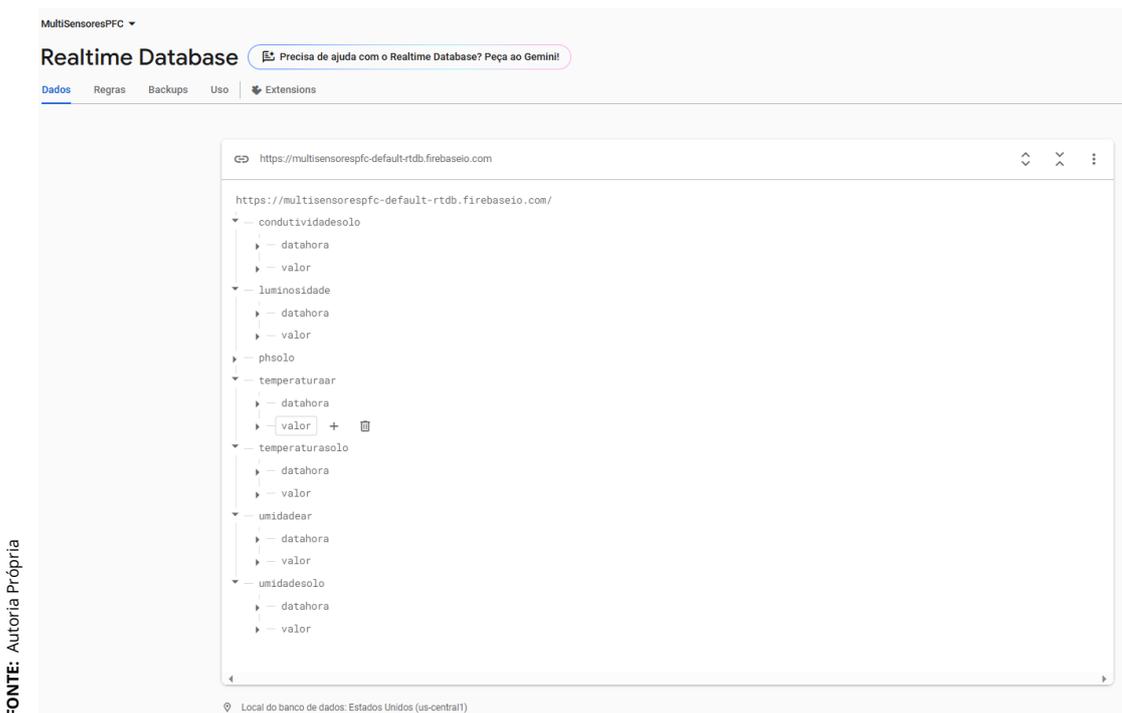


Figura 3.18 – Etapas do processo de configuração do [Firebase](#).

- 7) Por fim, foi acessado as opções "Configurações de Projeto" e posteriormente a opção "Contas de Serviço", com o intuito de gerar uma chave de autenticação de modo a permitir que o [ESP32](#) acesse esse banco de dados.

3.9.2 Configuração no código do [ESP32](#)

A [Figura 3.19](#) a seguir detalha o processo para a configuração do [Firebase](#).



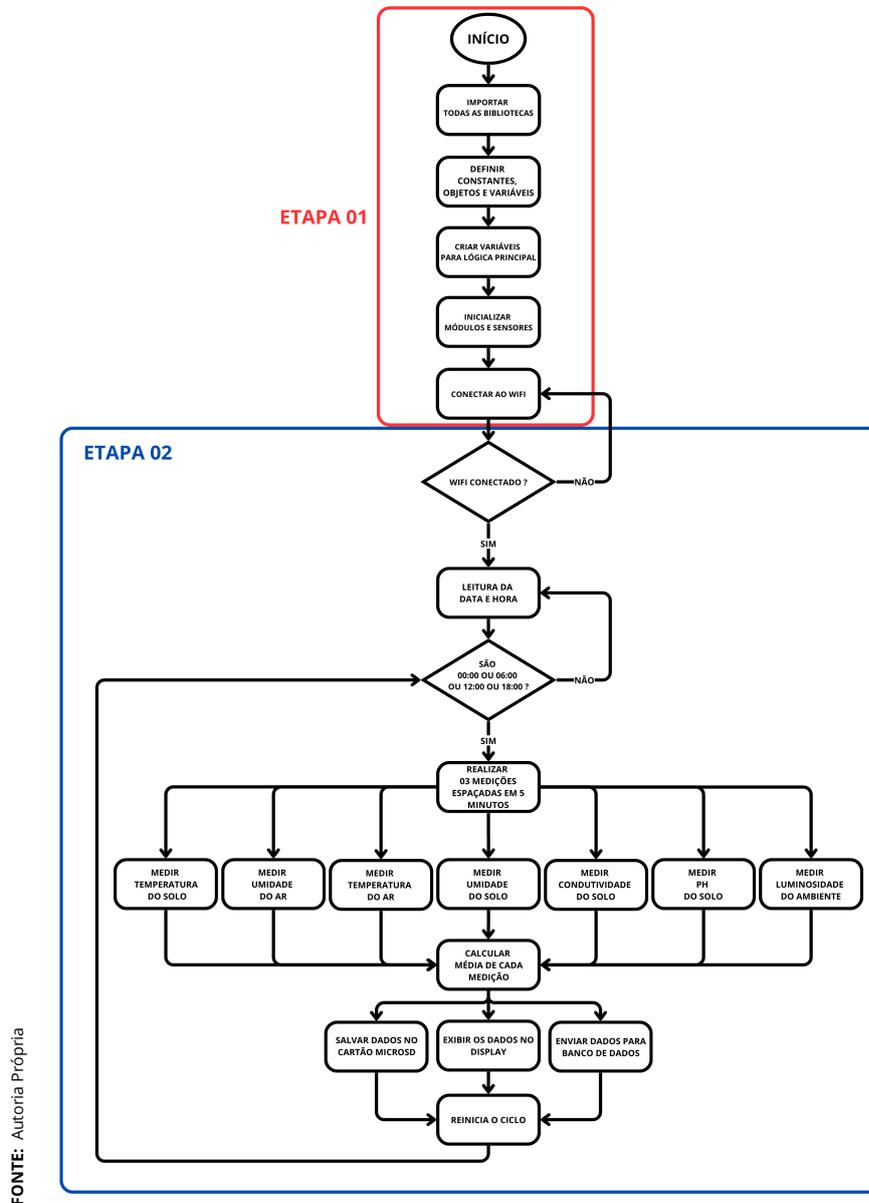
Figura 3.19 – Etapas do processo de configuração do Firebase.

- 1) Inicialmente foi importado a biblioteca "IOXhop_FirebaseESP32.h" para comunicação com o Firebase, observado no [Código A.37](#);
- 2) Em sequência, foi importada a biblioteca "ArduinoJson.h" para ser possível manipular os dados em JSON, devido à necessidade da biblioteca "IOXhop_FirebaseESP32.h", verificado no [Código A.38](#);
- 3) Posteriormente, foram definidas duas constantes denominadas "FIREBASE_HOST" e "FIREBASE_AUTH", tais constantes possuem as credenciais de *host* e chave de autenticação respectivamente, para ser possível o acesso do [Firebase](#). Observe no [Código A.39](#);
- 4) Por conseguinte, na função "setup", o Firebase pode ser iniciado por meio de função "Firebase.begin()", conforme demonstrado no [Código A.40](#);
- 5) Por fim, com todas as configurações realizadas, torna-se possível a leitura e o envio de informações para o bando de dados. Para envio usa-se a função "Firebase.pushFloat()", já para a leitura usa-se a função "Firebase.getFloat()" conforme demonstrado no exemplo do [Código A.41](#).

3.10 Fluxo completo do código

Após todos os sensores e componentes estarem devidamente configurados é possível reuni-los simultaneamente, para definitivamente dar continuidade no processo de construção e aquisição de dados do dispositivo. Desse modo, o có-

o código do projeto foi construído para trabalhar em modo contínuo, dividido em duas etapas conforme demonstrado na [Figura 3.20](#):



FONTE: Autoria Própria

Figura 3.20 – Etapas do processo do fluxo completo do código.

3.10.1 Etapa 01

1) Inicialmente foram importadas todas as bibliotecas necessárias de todos os sensores, módulos e dependências que serão usadas. Pode-se verificar nos seguintes trechos:

- ▶ Sensor de Luminosidade: subseção [3.4.1.2](#);
- ▶ Sensor DHT22: subseção [3.4.2.2](#) no Código [A.4](#);

- ▶ Sensor THCPH-S: subseção [3.4.3.2](#) no Código [A.7](#);
- ▶ Módulo RTC: subseção [3.5.2](#) no Código [A.14](#);
- ▶ Módulo Cartão MicroSD: subseção [3.6.2](#) no Código [A.17](#);
- ▶ Display OLED: subseção [3.7.2](#) no Código [A.21](#);
- ▶ Wi-Fi: subseção [3.8.1](#) nos Códigos [A.26](#) e [A.28](#);
- ▶ Firebase: subseção [3.9.2](#) nos Códigos [A.37](#) e [A.38](#).

2) Seguidamente, foram definidas todas as constantes, bem como, criado todos os objetos e variáveis necessárias, as quais a programação dos módulos, sensores e dependências utilizam, verificados nos seguintes trechos:

- ▶ Sensor de Luminosidade: subseção [3.4.1.1](#) no Código [A.1](#);
- ▶ Sensor DHT22: subseção [3.4.2.2](#) no Código [A.4](#);
- ▶ Sensor THCPH-S: subseção [3.4.3.2](#) nos Códigos [A.7](#), [A.8](#) e [A.10](#);
- ▶ Módulo RTC: subseção [3.5.2](#) no Código [A.14](#);
- ▶ Módulo Cartão Micro SD: subseção [3.6.2](#) no Código [A.18](#);
- ▶ Display OLED: subseção [3.7.2](#) nos Códigos [A.22](#) e [A.23](#);
- ▶ Wi-Fi: subseção [3.8.1](#) nos Códigos [A.27](#), [A.29](#) e [A.30](#);
- ▶ Firebase: subseção [3.9.2](#) no Código [A.39](#).

3) Em sequência, foram criadas variáveis para armazenar valores que serão utilizados na lógica principal de funcionamento do código, que será apresentado na subseção [3.10.2](#) (Etapa 02). Tais variáveis são demonstradas no [Código A.42](#).

4) Por conseguinte, na função "setup" é inicializado todos os módulos e sensores utilizados no projeto, conforme verificado nos seguintes trechos:

- ▶ Sensor de Luminosidade: subseção [3.4.1.1](#);
- ▶ Sensor DHT22: subseção [3.4.2.2](#) no Código [A.5](#);
- ▶ Sensor THCPH-S: subseção [3.4.3.2](#) nos Códigos [A.9](#)
- ▶ Módulo RTC: subseção [3.5.2](#) nos Códigos [A.15](#) e [A.15](#);
- ▶ Módulo Cartão Micro SD: subseção [3.6.2](#) no Código [A.19](#);

- ▶ Display OLED: subseção [3.7.2](#) nos Códigos [A.24](#);
 - ▶ Firebase: subseção [3.9.2](#) no Código [A.40](#).
- 5) Por fim, é realizada a conexão com o Wi-Fi desejado, essa fase pode ser dividida em duas, conforme demonstrado na subseção [3.8.2](#), sendo elas:
- ▶ Se já possuir credenciais salvas, o dispositivo se conecta automaticamente a rede Wi-Fi e inicializa os processos descritos na subseção [3.10.2](#) (Etapa 02);
 - ▶ Caso não tenha credenciais salvas, o usuário deverá conectar o Wi-Fi ao dispositivo por meio dos passos descritos na subseção [3.8.2](#).

3.10.2 Etapa 02

Com todos os parâmetros inicializados e configurados, o sistema entra no código principal de funcionamento, nesse será realizado todas as medições, processamento de dados e atualização das interfaces como o display, banco de dados e [cartão Micro SD](#). O processo ocorre da seguinte forma:

- 1) Inicialmente, é verificado se existe conexão com Wi-Fi, demonstrado no [Código A.43](#);
- 2) Em sequência, são criadas duas variáveis denominadas "tempoAtualDisplay" e "tempoAtualSensores", as mesmas serão usadas para contar o tempo no qual a tela do display será atualizada e o tempo quando será realizada as medições dos sensores. Verifica-se a criação das mesmas no [Código A.44](#);
- 3) Posteriormente, é realizada a leitura da data e da hora obtidas pelo módulo RTC, verifique no [Código A.45](#)
- 4) Por conseguinte, o sistema verifica se está no horário de realizar as medições. Os horários estipulados são 00:00, 06:00, 12:00, 18:00, conforme demonstrado no [Código A.46](#).
 - ▶ São escolhidos apenas 4 horários no dia, pois o que interessa para análise de uma cultura é as medições ao longo de um período, haja visto, que num mesmo dia esses parâmetros não irão ter mudanças significativas.

- 5) Caso seja algum dos horários citado acima, as medições de cada sensor são realizadas e salva na sua respectiva variável, observe no [Código A.47](#).
 - ▶ Para tal, são feitas três medições em sequência, espaçadas em 5 minutos uma da outra, de modo a realizar uma média obter um valor mais preciso.
- 6) Por conseguinte, após as três leituras, a média dos valores armazenados é calculada, conforme o [Código A.48](#).
- 7) Por fim, com os valores obtidos e a média calculada, esses serão salvos juntamente com a data e hora de medição no [cartão Micro SD](#), serão apresentados no Display OLED para o usuário verificar, bem como, serão enviados para o banco de dados ([Firebase](#)) para ser usados na aplicação móvel. Essa etapa pode ser verificada no [Código A.49](#).

3.11 Esquema da montagem do protótipo

Mediante a todas as conexões, pinagem e portas definidas, levando em conta a integração de todos os sensores e módulos com o microcontrolador [ESP32](#), torna-se possível dar continuidade para a montagem do esquemático que irá demonstrar as conexões. Esse esquemático é de suma importância, visto que, representa de forma fácil e detalha a interligação de todos os componentes, bem como, serve de guia para a confecção da montagem do projeto físico, garantindo uma maior segurança. A [Figura 3.21](#) demonstra o esquemático.

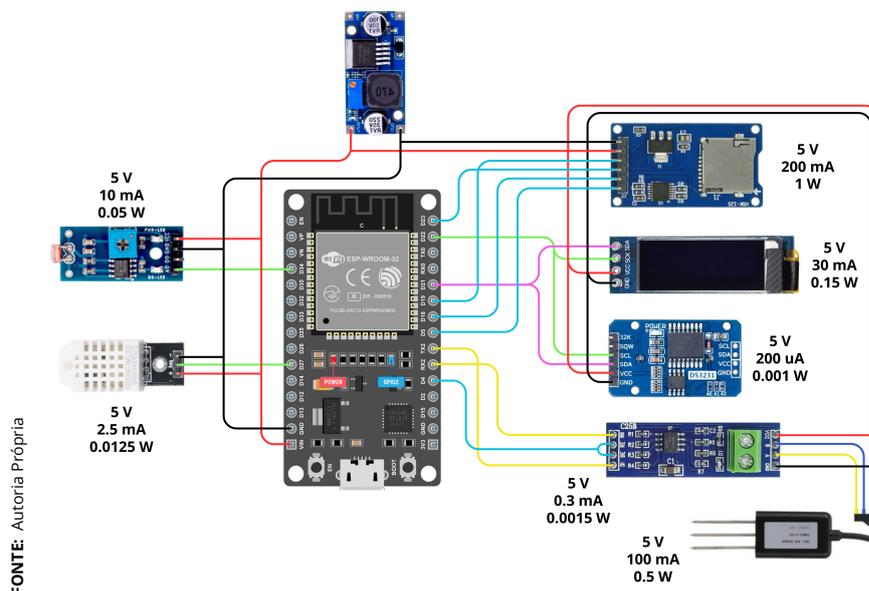


Figura 3.21 – Esquemático de conexões de parte dos dispositivos.

Mediante a integração de todos os componentes via o esquemático, o seguinte passo consiste na montagem física a partir do diagrama de conexões. Essa etapa consiste em realizar todas as ligações reais dos sensores e módulos mencionados ao microcontrolador [ESP32](#). Essa montagem é válida para verificar o funcionamento do sistema por completo e garantir que todas as conexões estejam de forma correta, permitindo a fluidez das informações. A [Figura 3.22](#) demonstra toda a montagem física do sistema.

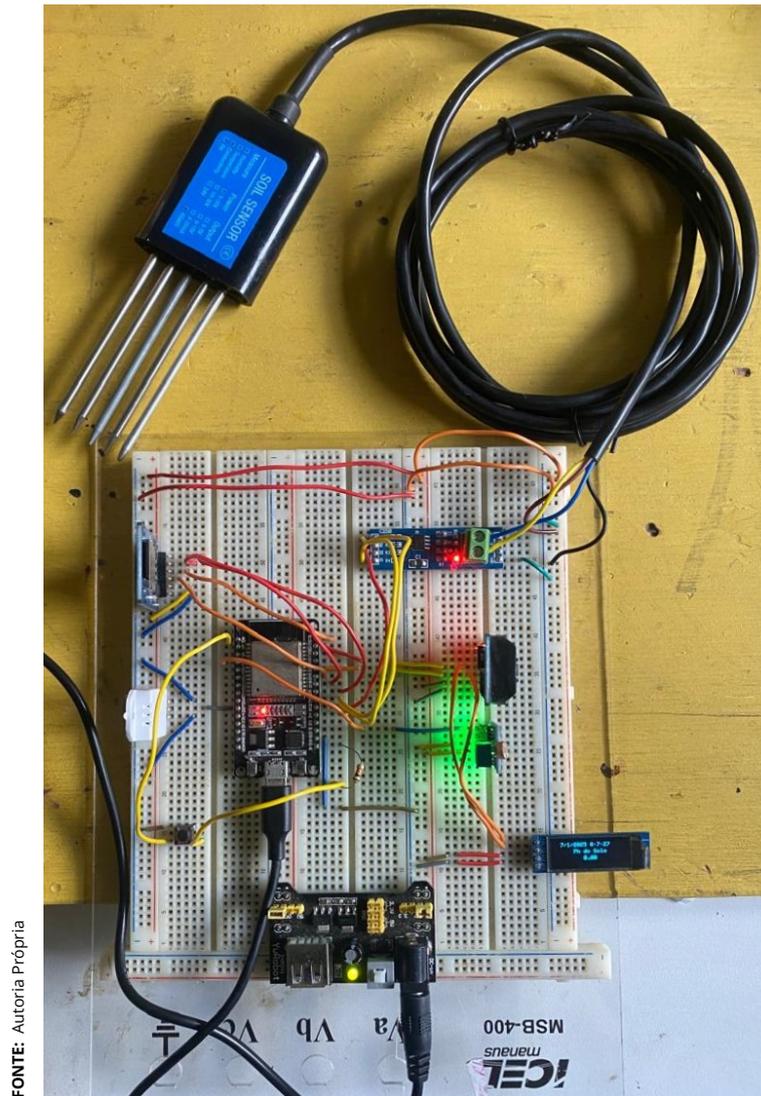


Figura 3.22 – Conexões físicas realizadas.

É válido ressaltar que, como verificado na [Figura 3.22](#) o sistema continua sendo alimentado por uma fonte externa, de modo a garantir a estabilidade durante os testes iniciais, entretanto o sistema de alimentação será detalhado na seção [3.12](#) a seguir.

3.12 Sistema fotovoltaico de alimentação

Entende-se por Sistema Off-Grid a elaboração de um projeto fotovoltaico não conectado à rede de distribuição de energia. Esse tipo de sistema possui além de um Inversor CC/CA, estratégias de armazenamento de energia constituído por um banco de baterias em conjunto com um controlador de carga. No processo de geração de energia, o sistema Off-Grid tem por característica principal abastecer diretamente os aparelhos que utilizarão a energia, geralmente construídos para propósito local e específico (BORTOLOTO et al., 2017).

Por ser comumente aplicado em áreas rurais, fazendas e regiões onde não há conexão com a rede elétrica, o sistema é uma alternativa para a manutenção do funcionamento de equipamentos elétricos, garantindo autonomia praticamente integral a depender da irradiância local. Na Figura 3.23, observa-se um diagrama unifilar de um sistema Off-Grid.

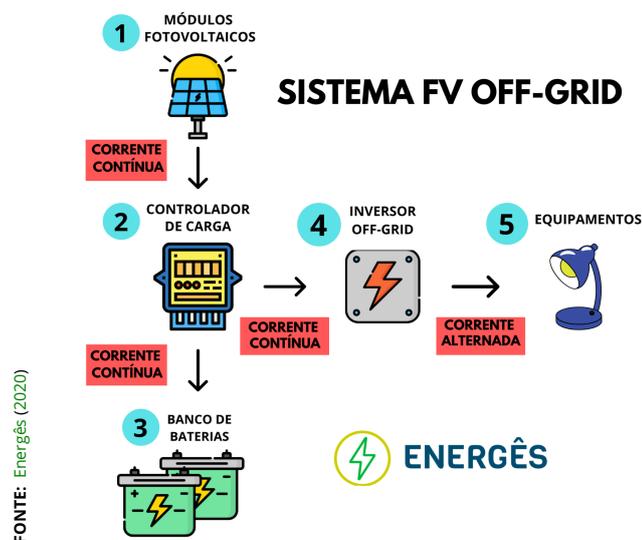


Figura 3.23 – Esquema de funcionamento do sistema Off-Grid.

Quando se trata de sistema Off-Grid, é normal associar essa aplicação ao uso de inversores, com intuito de converter a energia das baterias, que se trata de corrente contínua (CC), para corrente alternada (CA), de modo a alimentar sistemas como uma residência, por exemplo. Porém, essa aplicação pode ser usada sem a presença do inversor, com o intuito de alimentar diretamente equipamentos de corrente contínua (CC).

Assim para confirmar que o sistema do protótipo funcione de forma independente de fontes externas de energia, foi implementado um sistema fotovoltaico

que segue a arquitetura descrita na [Figura 3.24](#), onde o mesmo será composto por painéis solares, controlador de carga, baterias e um regulador de tensão Buck.

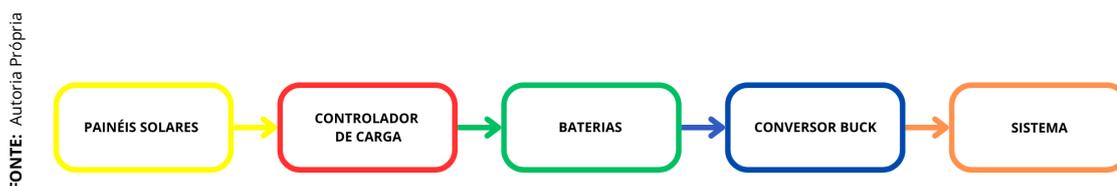


Figura 3.24 – Diagrama do sistema de alimentação.

3.12.1 Dimensionamento dos equipamentos

Para projetar este, inicialmente é necessário dimensionar os equipamentos corretos, conforme as necessidades do projeto. Para essa aplicação a ideal é que o sistema suporte ao menos um dia, caso as placas solares apontem defeitos ou devido a intempéries naturais. Ademais a informação contida até o momento é o consumo do sistema que é em torno de 150 a 200 mA.

Assim, é possível utilizar a [Equação 3.2](#), [Equação 3.3](#) e [Equação 3.4](#) para dimensionamento do sistema:

- 1) Determinar o consumo do equipamento:

$$\text{Energia (Wh)} = \text{Tensão (V)} \cdot \text{Corrente (A)} \cdot \text{Tempo Ligado (h)} \quad (3.2)$$

$$\text{Energia (Wh)} = 12 \text{ V} \cdot 200 \text{ mA} \cdot 24\text{h}$$

$$\text{Energia (Wh)} = 24 \text{ Wh}$$

- 2) Dimensionar a bateria:

$$\text{Capacidade (Ah)} = \frac{\text{Energia (Wh)}}{\text{Tensão da Bateria (V)}} \quad (3.3)$$

$$\text{Capacidade (Ah)} = \frac{24 \text{ Wh}}{7,4 \text{ V}}$$

$$\text{Capacidade (Ah)} = 3,24 \text{ Ah ou } 3240 \text{ mAh}$$

- 3) Dimensionar os painéis solares:

$$\text{Potência (W)} = \frac{\text{Energia (Wh)}}{\text{Horas de Sol Pleno (h)}} \quad (3.4)$$

$$\text{Potência (W)} = \frac{24 \text{ Wh}}{5 \text{ h}}$$

$$\text{Potência (W)} = 4,8 \text{ W}$$

3.12.2 Equipamentos

3.12.2.1 Controlador de carga MPPT CN3722

O controlador de carga MPPT CN3722 é um dispositivo de suma importância para esse sistema, visto que, o mesmo é responsável por gerenciar a energia que será fornecida pelos painéis solares, de modo a garantir o carregamento seguro e de forma eficaz das baterias, protegendo-as de sobrecarga, descarregamento excessivo ou mesmo de curto-circuitos. Esse controlador usa a tecnologia MPPT (*Maximum Power Point Tracking*), que consiste em maximizar a captação da energia proveniente do sol, mesmo que o local esteja em condições desfavoráveis como uma variação na luminosidade. A [Figura 3.25](#) demonstra o dispositivo usado no projeto.

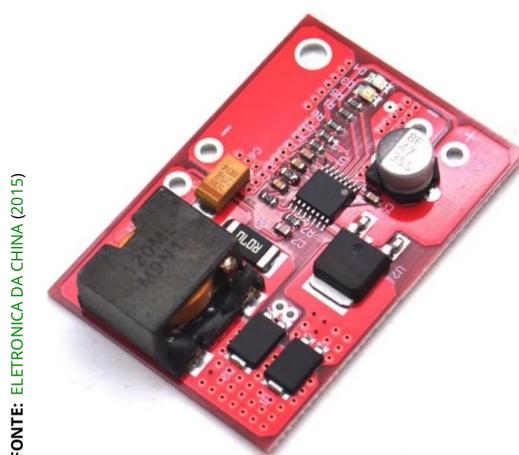


Figura 3.25 – Controlador de Carga MPPT CN3722.

As especificações técnicas deste são ([ELETRONICA DA CHINA, 2015](#)):

- ▶ Suporta painéis solares com tensão nominal de até 18V;
- ▶ Projetado para baterias de lítio 2-4 séries;

- ▶ Suporta corrente constante máxima de 3A;
- ▶ Utiliza um conversor DC-DC de modo chaveado para rastrear o ponto de máxima potência (MPP) dos painéis solares

3.12.2.2 Bateria Li-On 7,4V

As baterias de Li-On são costumeiramente utilizadas em projetos autossustentáveis devido a sua alta capacidade energética, capacidade de recarga e longa vida útil. Para este projeto foram utilizadas 02 baterias de 7,4V, de modo a, fornecer energia estável ao sistema do projeto. A [Figura 3.26](#) representa o modelo usado.



Figura 3.26 – Bateria de Li-On 7,4V.

As especificações técnicas são ([Mercado Livre, 2022](#)):

- ▶ Tensão Nominal: 7,4V;
- ▶ Capacidade: 3300mAh;
- ▶ Química: Íon-Lítio (Li-ion);
- ▶ Recarregável;
- ▶ Dimensões: 36mm x 65mm x 18mm.

3.12.2.3 Painéis solares de 3W

Os painéis solares são parte do sistema responsável por capturar a energia proveniente do sol e converter em energia elétrica. Quando a luz do sol incide sobre as células policristalinas, os elétrons são liberados e com isso é gerada uma corrente elétrica. Assim é possível permitir o carregamento diário das baterias e manter consequentemente o sistema sempre ligado. A [Figura 3.27](#) refere-se ao modelo utilizado no projeto.



Figura 3.27 – Painel Solar 3W.

As especificações técnicas desta são (ROBÓTICA, 2022):

- ▶ Material: Silicene Policristalino
- ▶ Dimensões: 145mm x 145mm;
- ▶ Capacidade: 250mA;
- ▶ Potência: 3W;
- ▶ Tensão: 12V.

3.12.2.4 Regulador de tensão buck

O regulador de tensão Buck LM2596 trabalha em modo step-down, reduzindo a tensão aplicada a entrada para um valor inferior na saída. Nesse caso, o mesmo é responsável por rebaixar a tensão proveniente da bateria no valor de 7,4V para a tensão que o sistema funciona, nesse caso 5V. Na [Figura 3.28](#) é possível verificar a representação do mesmo.



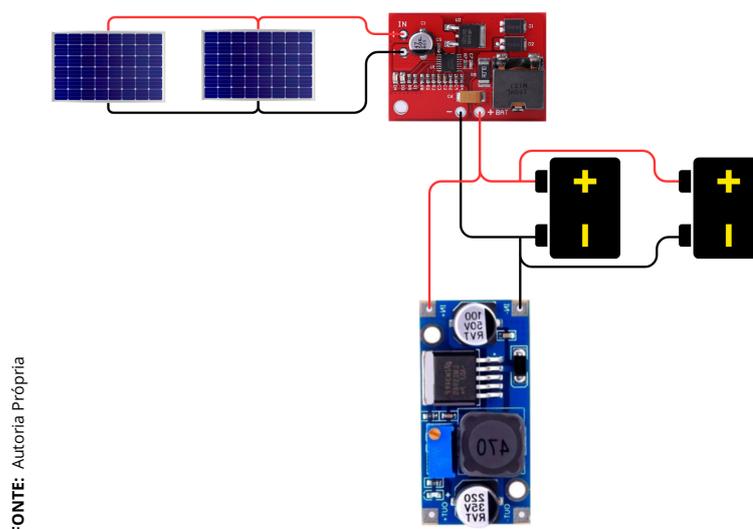
Figura 3.28 – Regulador de Tensão Buck.

As especificações técnicas deste equipamento são (Casa da Robotica, 2022):

- ▶ Tensão de Entrada: 3,2V a 40V DC;
- ▶ Tensão de Saída: 1,5V a 35V DC;
- ▶ Corrente de Saída: 2A, com capacidade máxima de 3A;
- ▶ Dimensões: 43 mm x 21 mm x 14 mm.

3.12.3 Esquema de montagem

Com todos os componentes definidos com base na necessidade de suprir o sistema, é possível realizar a integração dos mesmos a fim de realizar testes e validar a eficiência de carregamento e fornecimento de energia elétrica para o sistema. A [Figura 3.29](#) serve como referência para a montagem física e demonstra a integração entre os componentes do sistema de alimentação.



FONTE: Autoria Própria

Figura 3.29 – Esquemático do sistema de alimentação.

3.13 Fluxo completo de conexão

Com todas as conexões bem estruturadas é possível fazer a união das duas partes, sendo elas: o sistema de medição demonstrada na [Figura 3.21](#) e o sistema de alimentação demonstrado na [Figura 3.29](#). Com isso o resultado pode ser verificado na [Figura 3.30](#), a mesma é a base de todo o sistema do projeto, capaz de realizar todas as medições e ser auto independente.

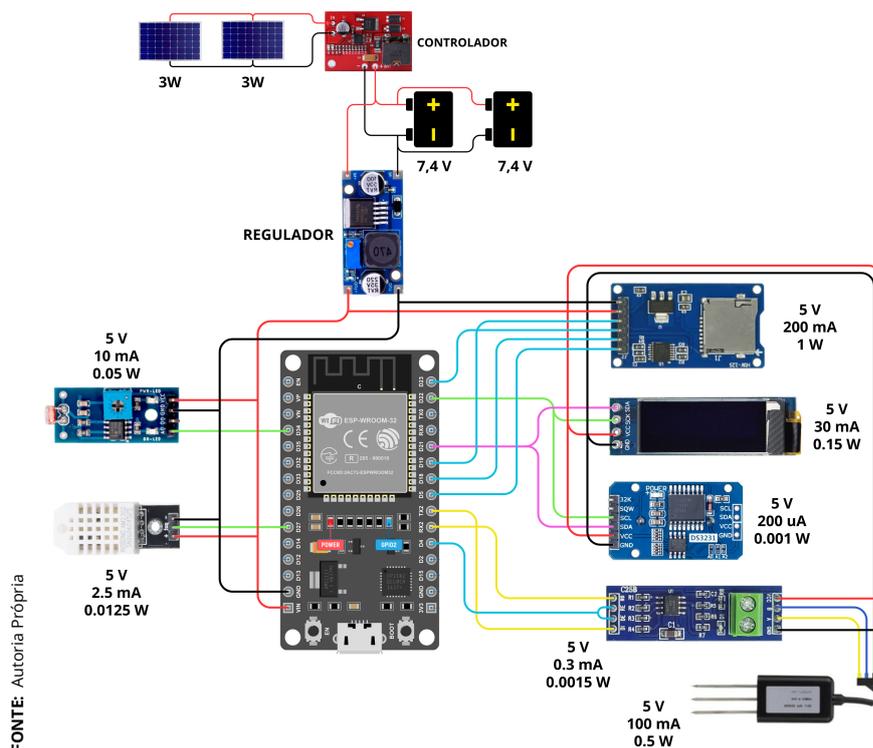


Figura 3.30 – Esquemático do sistema completo.

3.14 Desenvolvimento da PCB no EasyEDA

Com intuito de integrar todos os componentes anteriormente mencionados de uma forma mais organizada e eficiente, foram projetadas e desenvolvidas algumas placas de circuito impresso (PCB). A plataforma utilizada para o desenvolvimento foi o [EasyEDA](#), a logomarca da mesma está demonstrada na [Figura 3.31](#).



FONTE: EasyEDA (2013)

Figura 3.31 – Logomarca da EasyEDA.

O [EasyEDA](#) é uma ferramenta online que para realizar o *desing* de circuitos

eletrônicos, permitindo a criação de diagramas esquemáticos, layouts de PCB's, desenho de trilhas, simulação de circuitos e visualização 3D das placas, garantindo um projeto funcional e otimizada para confecção da fabricação. Essa ferramenta é bastante utilizada por estudantes, engenheiros e hobistas devido sua interface intuitiva e da gama de ferramentas que é possível manejar.

3.14.1 Diagrama esquemático

A primeira etapa da confecção é a criação do diagrama esquemático na plataforma, esse diagrama representa todas as conexões elétricas entre todos os componentes do sistema, as quais foram demonstradas na Figura 3.30. Desse modo, o resultado de toda essa implementação pode ser observada na Figura 3.32

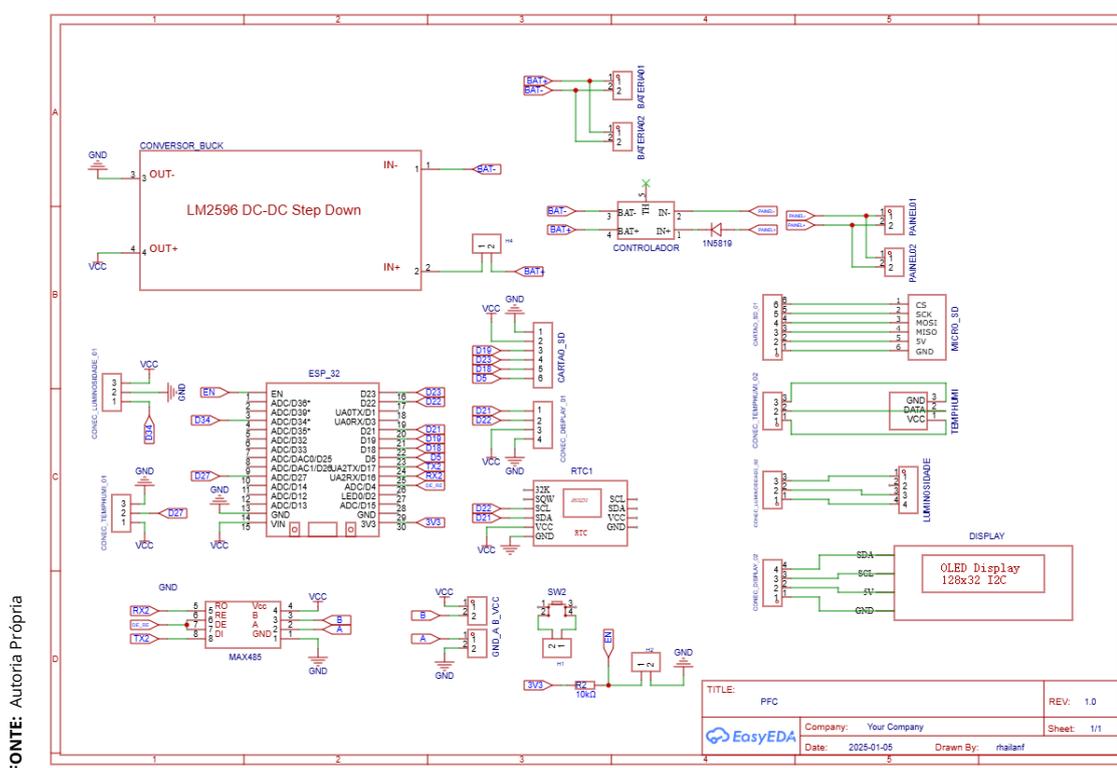


Figura 3.32 – Esquemático de conexões no software EasyEDA.

Para realizar esse passo, fez-se necessário:

- 1) Busca e importação da biblioteca de componentes de todos os dispositivos necessários para o projeto;
- 2) Identificar todos os pinos com os determinados "labels" (nomes);
- 3) Por fim, com a ferramenta "wire", conecta-se cada dispositivo com sua

respectiva conexão.

3.14.2 Desenho das trilhas

Após finalizado o desenho do diagrama, é realizado o desenho das trilhas na PCB, essas por sua vez representam o caminho por onde a corrente elétrica irá transitar fisicamente para conectar um dispositivo ao outro, de forma similar a um fio conectado. A [Figura 3.33](#) demonstra essa etapa.

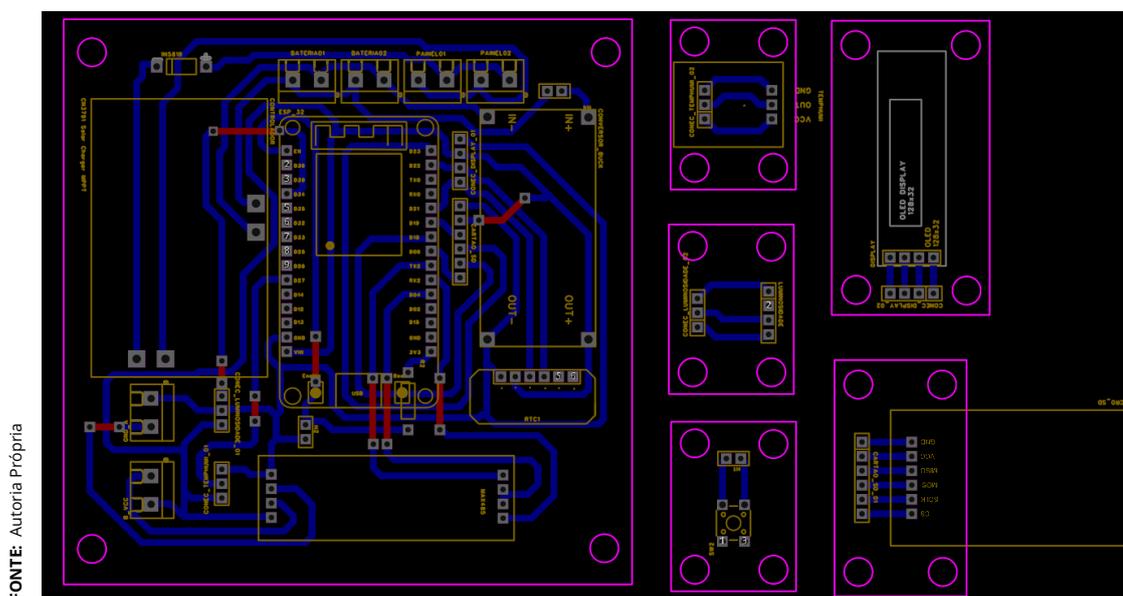


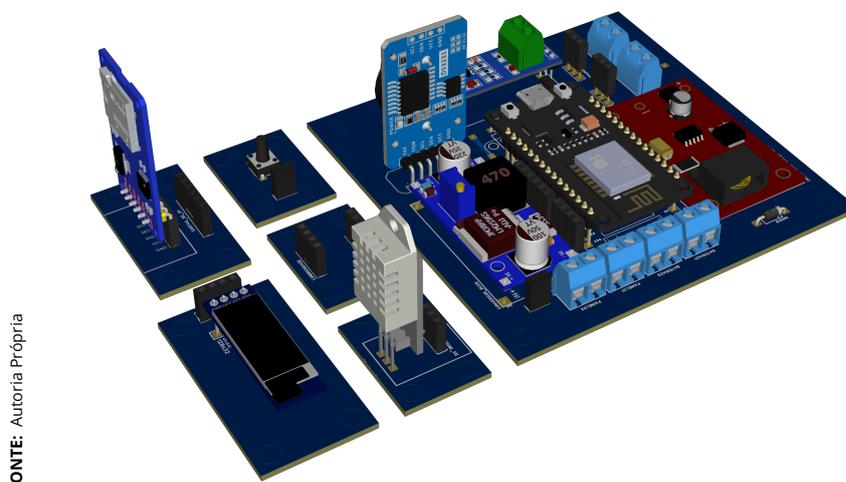
Figura 3.33 – Desenho das trilhas no software EasyEDA.

Para realizar esse passo, fez-se necessário:

- 1) Realizar o posicionamento dos componentes, buscando sempre utilizar o menor espaço para minimizar o comprimento das trilhas, tamanho da placa e as interferências eletromagnéticas;
- 2) Realizar o roteamento das trilhas, ou seja, realizar as conexões elétricas por meio de trilhas de cobre, representadas na cor "azul" e "vermelha".

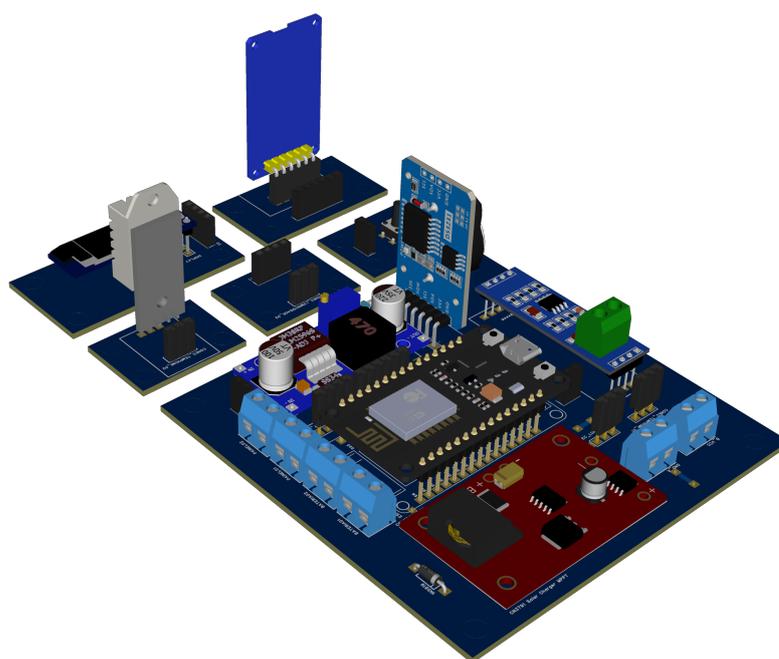
3.14.3 Visualização 3D da PCB

Por fim, para verificar como ficará o layout físico da placa, usa-se a ferramenta de visualização 3D disponibilizada para plataforma. A [Figura 3.34](#) e a [Figura 3.35](#) demonstram como ficou o *design* da PCB.



FONTE: Autoria Própria

Figura 3.34 – Visualização 3D das PCB's.



FONTE: Autoria Própria

Figura 3.35 – Visualização 3D das PCB's.

3.15 Desenvolvimento da estrutura

Para garantir que todos os equipamentos e componentes utilizados ficassem organizados de forma segura, compacta, protegida e funcional, foi desenvolvida uma estrutura (*case*) em impressão 3D por meio do software Fusion 360. Essa es-

trutura foi projetada de modo a permitir acoplar todas as PCB's desenvolvidas, as baterias, bem como, ter um suporte ajustável para os painéis solares. Ademais, a mesma foi projetada para ser possível a fixação da estrutura no solo, proporcionando estabilidade, praticidade e uma repleta gama de aplicações do mesmo.

3.15.1 Fusion 360

O Fusion 360 é um software projetado para realizar modelagem 3D e CAD (*Computer-Aided Desing*), normalmente muito utilizado para desenvolver projetos de *desing* ou voltados para engenharia. Esse software disponibiliza inúmeras ferramentas possibilitando a criação de impressões 3D, usinagem CNC, modelos paramétricos, simulação e renderizações. A logomarca deste está representada na Figura 3.36.



Figura 3.36 – Logomarca do Fusion 360.

3.15.2 Estrutura

A estrutura foi pensada com base em:

- ▶ Compactação: otimizada conforme o espaço necessário que todos os componentes e PCB's precisavam, mantendo ainda a organização e manuseio.
- ▶ Proteção: possibilitar uma cobertura robusta para proteger todos os equipamentos de possíveis impactos;
- ▶ Ventilação e sensoriamento: algumas aberturas estratégicas para permitir a entrada de ar e luminosidade, mantendo o sistema resfriado e possibilitando as medições dos sensores.

A seguir, são representados os modelos 3D projetados para o sistema:

Na [Figura 3.37](#) é demonstrada a modelagem da estrutura que será utilizada para fixação no solo.

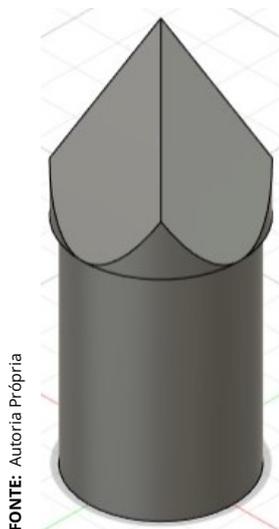


Figura 3.37 – Estrutura de fixação no solo.

Já na [Figura 3.38](#) observa-se a modelagem da estrutura que ficarão fixadas as PCB's desenvolvidas, como também, as baterias que serão usadas, bem como, os painéis solares.

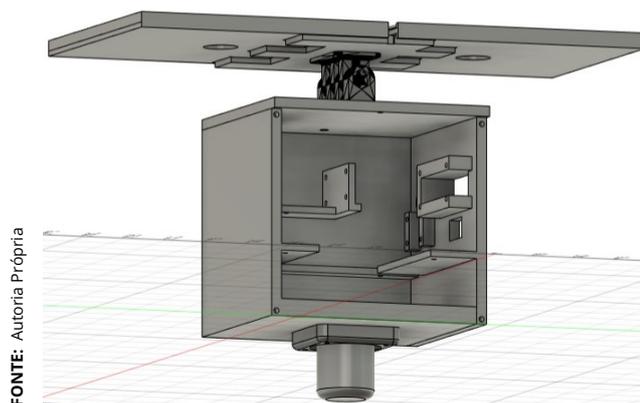
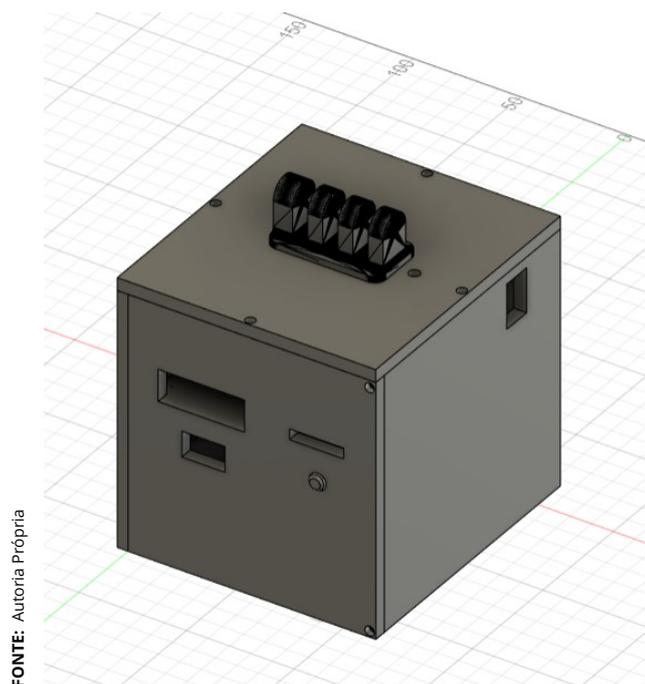


Figura 3.38 – Estrutura para fixação das PCB's parte interna.

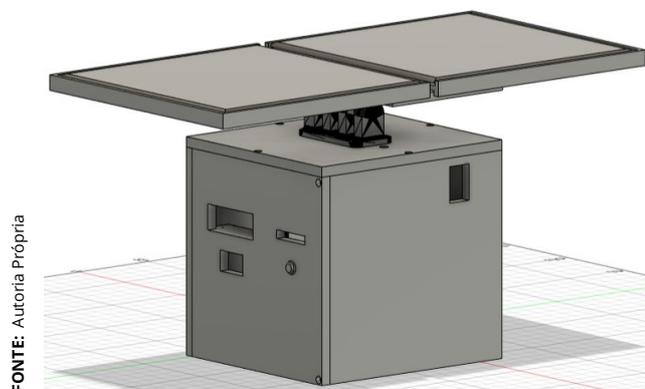
Na [Figura 3.39](#), na parte superior da estrutura modelada verificar o sistema feito para realizar o ajuste de angulação dos painéis solares.



FONTE: Autoria Própria

Figura 3.39 – Estrutura visão externa.

Por fim, observando a [Figura 3.40](#), vemos toda a estrutura modelada por completo.



FONTE: Autoria Própria

Figura 3.40 – Estrutura para fixação dos painéis solares.

3.16 Desenvolvimento da aplicação móvel

O desenvolvimento da aplicação móvel é de suma importância para o projeto, sendo uma parte que integra o sistema de monitoramento do projeto. Esse permite que os usuários do dispositivo visualizem e analisem os valores coletados pelos sensores do solo e do ambiente em tempo real e a distância, sendo essencial para aplicação da agricultura de precisão no local a qual o mesmo estará inserido. O mesmo foi desenvolvido em [React Native](#), framework comumente utilizado para

criação de aplicativos móveis.

3.16.1 Aplicativos móveis

Definido pela necessidade de manter a comodidade e facilitar o acesso à informação, as aplicações móveis são softwares dedicados a dispositivos móveis. Diferentemente dos aplicativos desenvolvidos para sistemas operacionais de computadores, estes devem considerar os fatores limitantes inerentes aos dispositivos móveis, como consumo de bateria e dados, disponibilidade de sensores, disponibilidade de armazenamento interno, consumo de dados, segurança e acessibilidade (CAMBRIDGE, 2018).

A interface da aplicação voltada para o usuário, é provavelmente tão importante quanto a finalidade desta, pois uma boa interface define os parâmetros de qualidade no quesito acessibilidade e facilidade de entendimento. Nos parâmetros atuais, quanto mais bem desenvolvido é uma aplicação, mais intuitivo será o seu manejo, nesse cenário, toda a interface deve ser desenvolvida pensando na compreensão do usuário (WASSERMAN, 2010).

3.16.1.1 Frameworks

A melhor maneira de desenvolver uma aplicação, é utilizar a experiência contida em projetos anteriores para aprimorar o objeto desenvolvido, para isto, os *Frameworks* consistem em técnicas e códigos visando possibilitar o melhor caminho durante a elaboração de uma solução específica (PROJETO, 2007).

Composto exclusivamente por classes cooperativas com finalidade reutilizável, os *Frameworks* atuam diretamente na arquitetura de um software, fornecendo direcionamento simplificado por particionar a estrutura do código em classes menores que executam funções independentes, que quando implementadas simultaneamente compõem o objetivo final (FERREIRA et al., 2018).

3.16.1.2 Framework - React Native

Entrando na esfera dos *frameworks* de código aberto, encontra-se o [React Native](#), utilizado em centenas de empresas no Brasil e no Mundo, incluindo a Uber, a Microsoft e o Facebook. O framework é na realidade uma estrutura voltada para aplicativos móveis baseada em JavaScript, que permite criar aplicativos renderizados nativamente para as plataformas iOS (pertencente ao sistema Apple) e An-

droid (Comum as maiores marcas de dispositivos móveis do mundo). Lançado em 2015 pelo Facebook, o diferencial deste framework é a capacidade de criar aplicativos para várias plataformas utilizando a mesma base de código, hoje é uma das soluções mais adotadas no mundo por tornar o processo simples, de modo que, somente é necessário o desenvolvimento do código uma única vez e a partir disso é possível utilizar o escopo elaborado para alimentar aplicativos tanto iOS quanto Android, economizando tempo e recursos (CUNHA, 2023).

3.16.2 Arquitetura do aplicativo

A ideia base para construção da aplicação móvel consiste na estrutura baseada na Figura 3.41.

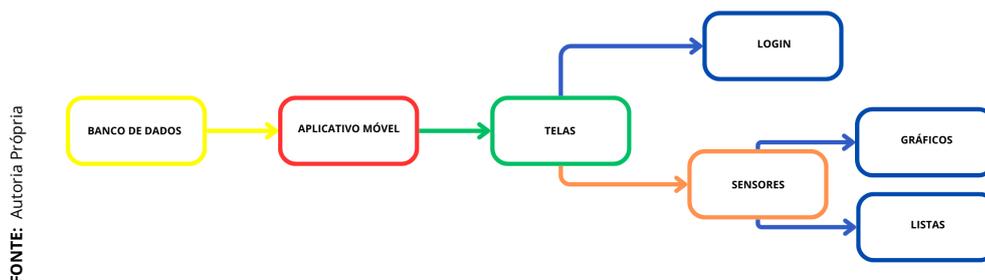


Figura 3.41 – Diagrama base para construção da aplicação móvel.

Para a realização da estrutura citada acima, o mesmo foi dividido em três camadas principais:

3.16.2.1 Camada de interface

A ideia dessa camada de interface é permitir a exibição dos dados para o usuário e a interação com o mesmo, a mesma inclui:

- 1) Cards Coloridos: esses cards são responsáveis por exibir os valores atuais das medidas realizadas pelos sensores de forma visual e organizada, sendo essas, a umidade do solo e do ar, temperatura do solo e do ar, condutividade elétrica do solo, pH do solo e luminosidade do ambiente.
- 2) Gráficos Interativos: apresentando os dados medidos de forma dinâmica e intuitiva por meio de um gráfico de linhas de fácil visualização e tabelas na vertical. Para tal foi utilizada a biblioteca "victory-native".
- 3) Filtros de Período: permitindo que o usuário escolha o intervalo de data

específica que o mesmo deseja realizar a análise, seja dia, mês ou ano. Para esta implementação foi utilizada um componente nativo do [React Native](#) denominado "datetimepicker".

- 4) Botões selecionáveis: promovendo a seleção de diferentes opções, seja voltar a tela inicial ou para uma tela seguinte.

3.16.2.2 Camada de serviços

Essa camada é responsável por realizar a comunicação com a base de dados que nesse caso é o [Firebase](#), como também, pelo processamento dos dados. Essa, por sua vez, inclui:

- 1) Integração com [Firebase](#): para tal é utilizado o SDK oficial do Firebase para tornar possível o acesso aos dados armazenados no banco de dados.
- 2) Processamento dos Dados: os dados são convertidos para o formato correto para tornar possível a realização da exibição, tanto nos gráficos, quando nas listas, quanto no valor atual (valor único);
- 3) Atualização em Tempo Real: sempre que novos dados são carregados para o banco de dados, os mesmos são atualizados em tempo real, garantindo que o usuário sempre tenha acesso à informação mais recente.

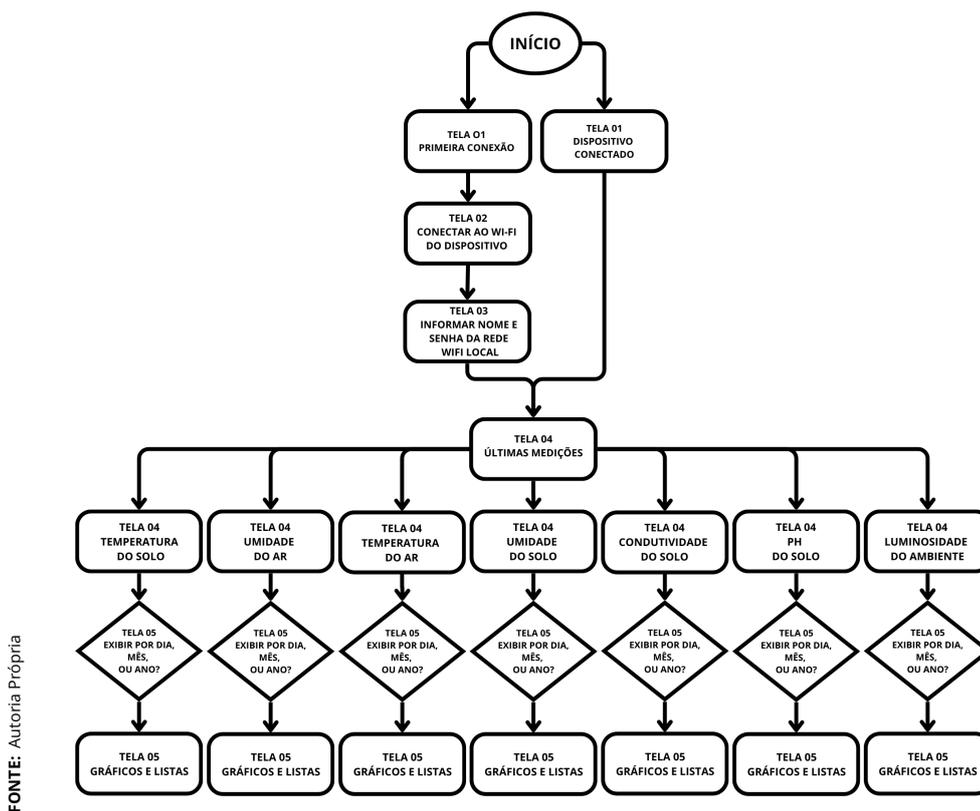
3.16.2.3 Camada de navegação

Nessa camada são organizadas o fluxo entre quais telas do aplicativo serão exibidas, ou seja, a ordem de exibição. Para implementação dessa, foi utilizada a biblioteca "react navigation", assim essa camada inclui:

- 1) Navegação em Pilha: permitindo a mudança fluida entre uma tela e outra por meio de gestos intuitivos, como deslize, por exemplo;

3.16.3 Fluxo completo do aplicativo

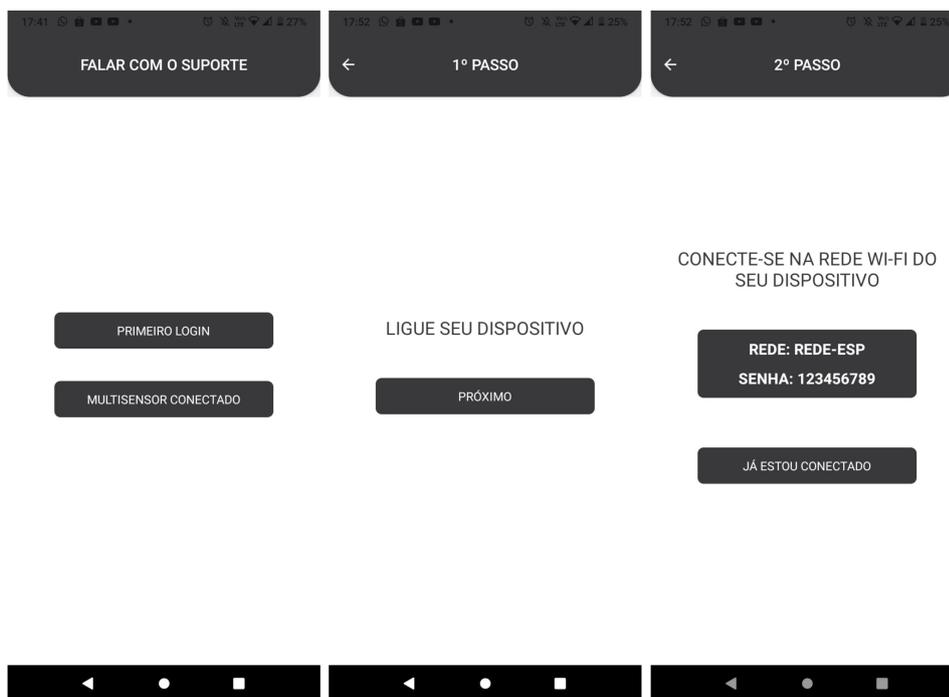
Com base no que foi dito, o fluxo completo do aplicativo pode ser demonstrado por meio da [Figura 3.42](#).



FONTE: Autoria Própria

Figura 3.42 – Diagrama com fluxo completo do aplicativo.

Em sequência, na [Figura 3.43](#), [Figura 3.44](#) e [Figura 3.45](#), são demonstradas as implementações das telas do aplicativo móvel desenvolvido.



FONTE: Autoria Própria

Figura 3.43 – Tela inicial, Tela de verificação, Tela com as informações do Wi-Fi do sistema (da esquerda para direita).

Na [Figura 3.43](#) é verificado a tela inicial do aplicativo na qual o usuário deverá escolher, se é a primeira vez dele usando o dispositivo ou se o mesmo já realizou alguma conexão. Posteriormente, caso seja a primeira conexão, na próxima tela, é instruído ao mesmo que ligue o dispositivo. Já na próxima tela, é informado ao mesmo o nome da rede Wi-Fi e senha que o dispositivo irá gerar, com o intuito que este se conecte e posteriormente entre na página HTML, demonstrada na [Figura 3.44](#), gerada para realizar a conexão do dispositivo com rede Wi-Fi mais próxima.

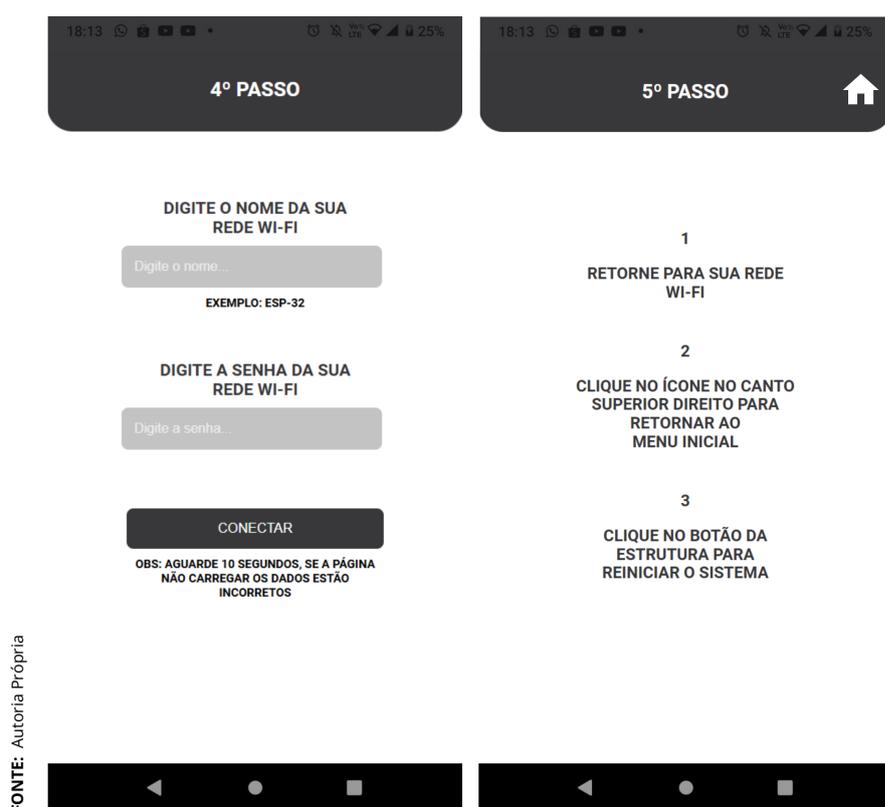
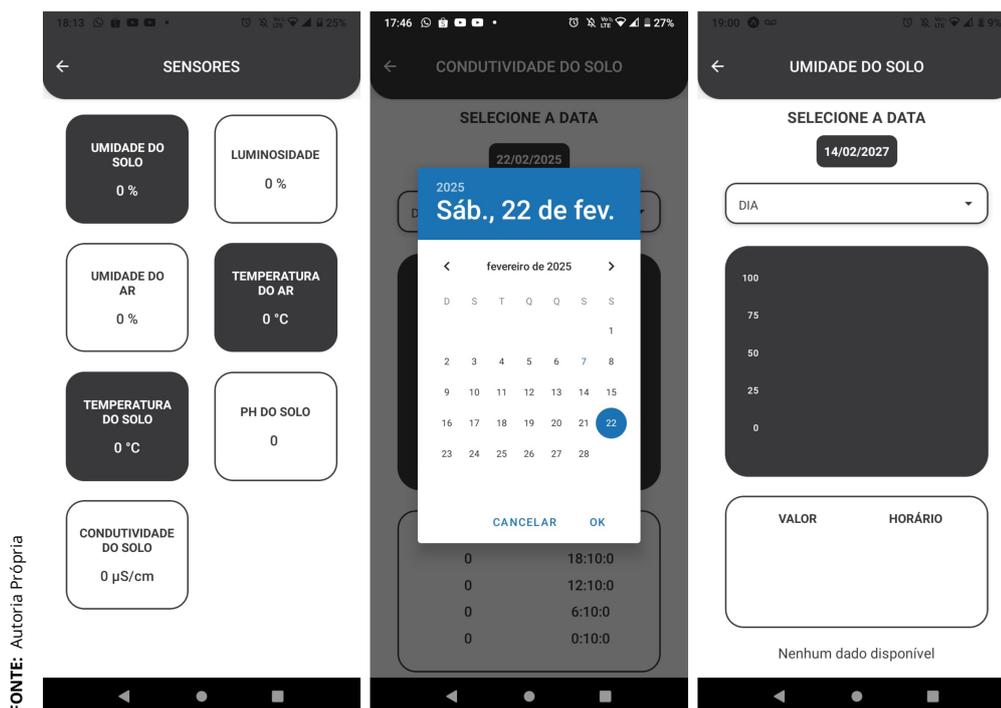


Figura 3.44 – Tela inicial, Tela para informar os dados do Wi-Fi que deseja conectar, Tela com instruções após conexão (da esquerda para direita).

Nessa [Figura 3.44](#) inicialmente pode-se observar a tela do aplicativo usada para que o usuário informe o nome e a senha da rede Wi-Fi mais próxima, para que o dispositivo possa se conectar e ter acesso à internet. Já na próxima tela, temos algumas instruções que o mesmo deverá realizar após ter conectado a rede Wi-Fi.

Por sua vez, na [Figura 3.45](#) é apresentado a primeira tela após tudo está configurado, nessa tela será mostrado os últimos valores coletados pelos sensores. Nas próximas telas podemos verificar a opção de escolha de data de visualização dos dados, como também, o local onde será plotado o gráfico das medições e uma lista logo abaixo com os mesmos valores.



FONTE: Autoria Própria

Figura 3.45 – Tela de últimas medições para cada sensor, Tela para selecionar data de visualização, Tela de gráfico e lista das medições por dia de umidade do solo (da esquerda para direita).

Por fim, na [Figura 3.46](#) é possível observar as telas do aplicativo que demonstram outras possibilidades de visualização dos dados medidos. Entre elas temos:

- ▶ Visualização dos dados um mês atrás a partir da data selecionada, com duas possibilidades, sendo:
 - 1) Todos os dados: demonstram todos os dados dos últimos 30 dias, ou seja, 120 dados, visto que, são 04 dados medidos ao dia;
 - 2) Média diária: demonstram uma média diária de todos os dados dos últimos 30 dias, ou seja, 30 dados.

- ▶ Visualização dos dados um ano atrás a partir da data selecionada, com duas possibilidades, sendo:
 - 1) Todos os dados: demonstram todos os dados dos últimos 365 dias, ou seja, 1460 dados, visto que, são 04 dados medidos ao dia;
 - 2) Média diária: demonstram uma média diária de todos os dados dos últimos 365 dias, ou seja, 365 dados.



Figura 3.46 – Tela de últimas medições para cada sensor, Tela para selecionar data de visualização, Tela de gráfico e lista das medições de condutividade elétrica do solo (da esquerda para direita).

Capítulo 4

Resultados

Nessa seção será apresentado os principais resultados obtidos no processo de desenvolvimento do sistema de monitoramento das condições do solo e do ambiente, anteriormente descritos no Capítulo 3. Os resultados abaixo, regem o trabalho construído:

4.1 Placa de circuito impresso

A PCB foi um dos componentes de suma importância para o desenvolvimento do sistema, visto que, foi desenvolvida para integrar e conectar todos os módulos e sensores de forma organizada e eficiente. Conforme descrito na Seção 3.14 a mesma foi projetada pelo software EasyEDA e abaixo são demonstrados os resultados obtidos:

4.1.1 Prototipagem do layout das trilhas

Por meio da prototipadora de circuito impresso presente no laboratório da instituição fez-se possível a realização das trilhas das PCB's que seriam utilizadas, como demonstrado na Figura 4.1 a seguir:

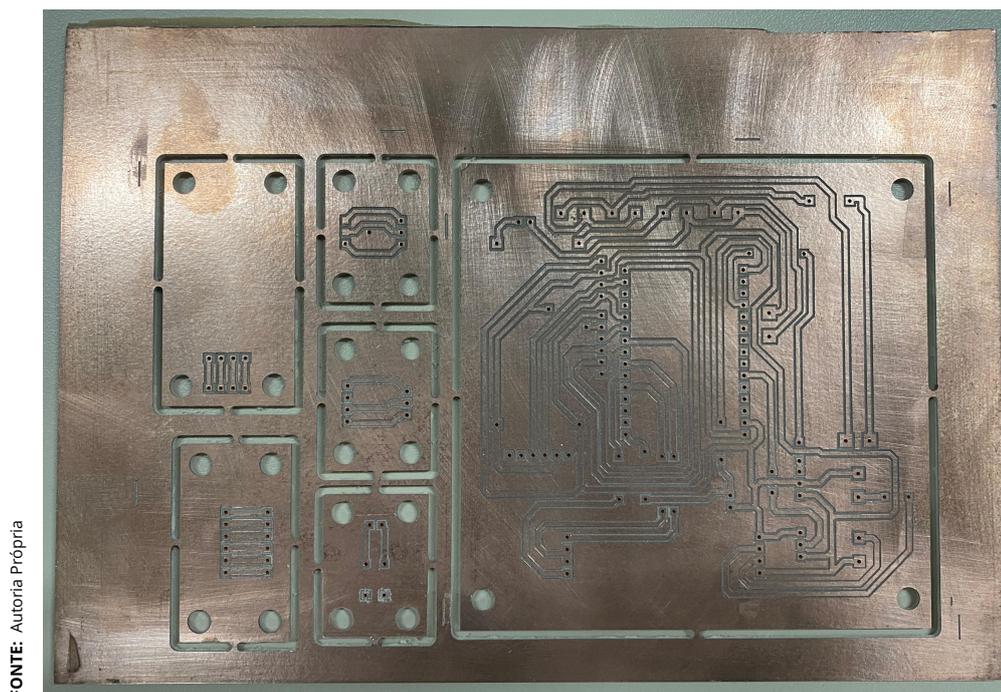


Figura 4.1 – Prototipagem do layout das trilhas.

Verificando a [Figura 4.1](#) é possível observar todas as PCB's utilizadas no sistema, bem como, as trilhas realizadas pela prototipadora, o que irá possibilitar a comunicação de todos os componentes.

Durante essa fase, surgiram algumas dificuldades, tais quais:

- ▶ Desbalanceamento da mesa da prototipadora: esse problema gerava alguns desalinhamentos sutis e profundidades diferentes no corte das trilhas, interferindo na precisão das trilhas, tornando-se necessário a realização de ajustes constantemente.
- ▶ Ausência de brocas específicas: no momento da confecção foi verificado que algumas não havia brocas com os diâmetros específicos para os furos dos componentes, bem como, para o desenho das trilhas. Assim foi necessário fazer uma adaptação das dimensões dos projetos e ajustes manuais no momento de realizar a perfuração.

4.1.2 Soldagem dos componentes

Após a finalização da usinagem da PCB, a seguinte etapa envolveu a soldagem de todos os componentes eletrônicos utilizados. Essa etapa pode ser observada na [Figura 4.2](#), [Figura 4.3](#) e [Figura 4.4](#).

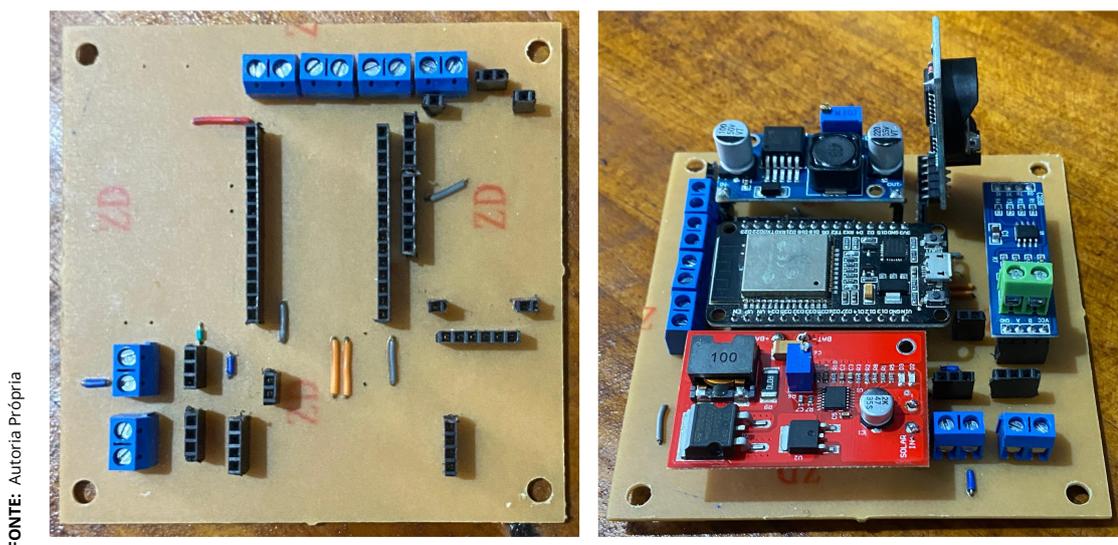


Figura 4.2 – PCB soldada, PCB montada (da esquerda para direita).

Na Figura 4.2 verifica-se a esquerda a PCB totalmente soldada com pinos fêmeas e bornes que serão usados para acoplar os módulos e sensores, a direita pode-se observar a PCB totalmente montada com todos os dispositivos conectados em seus devidos encaixes.

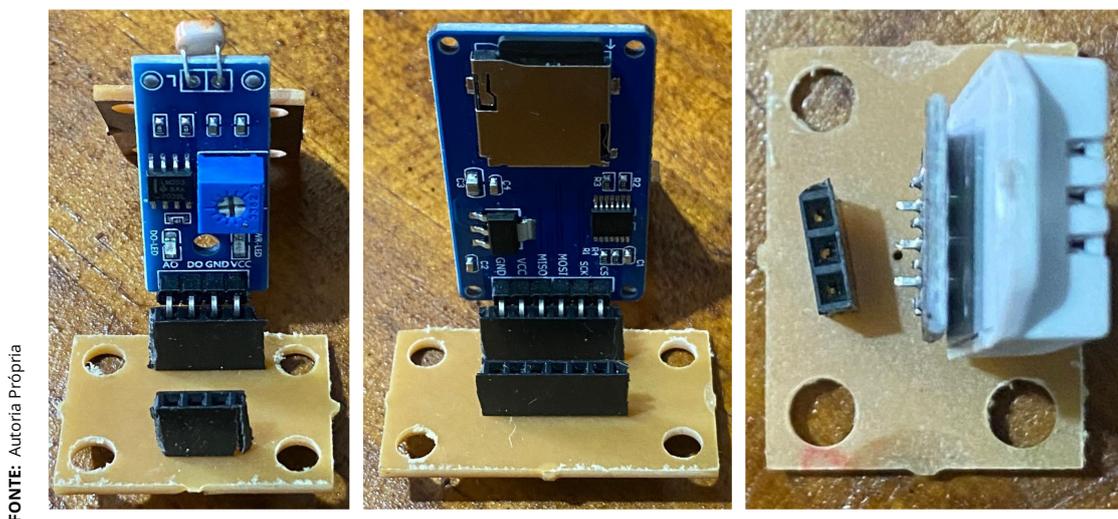


Figura 4.3 – PCB auxiliar sensor de luminosidade, PCB auxiliar do cartão microSD, PCB auxiliar do sensor DHT22 (da esquerda para direita).

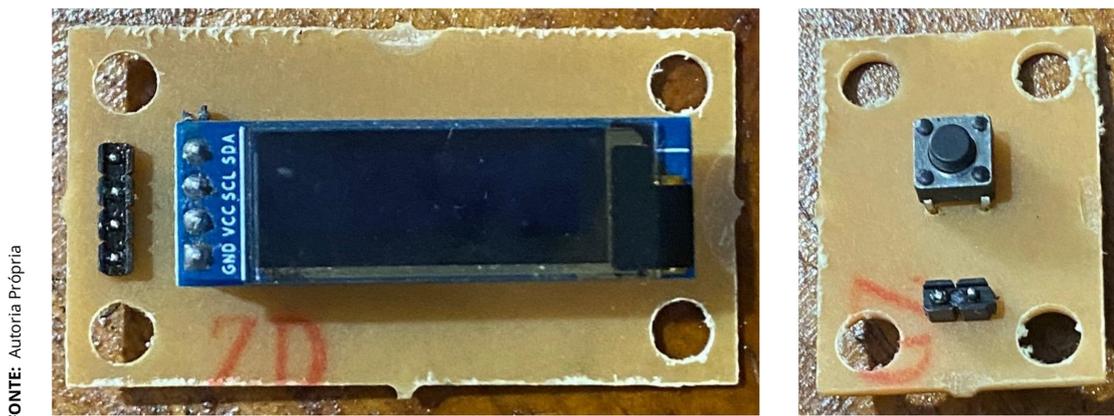


Figura 4.4 – PCB auxiliar do display, PCB auxiliar do sensor de luminosidade (da esquerda para direita).

Na [Figura 4.3](#) e [Figura 4.4](#) observa-se todas as PCB's auxiliares utilizadas no sistema, cada uma com seus respectivos sensores ou componentes, essas foram necessárias devido ao formato pensada a estrutura 3D do dispositivo, impossibilitando a confecção de apenas uma PCB para todo o sistema.

Durante essa fase, surgiram também algumas dificuldades, tais quais:

- ▶ Ferro de solda de má qualidade: dificultando a realização de soldas mais precisas e confiáveis, tornando necessário realizar testes de continuidade nas trilhas para verificar se não houve nenhum curto-circuito ou falhas nas conduções elétricas entre os componentes.
- ▶ Além disso a ausência de uma bancada adequada também comprometeu na manipulação e soldagem dos componentes.

4.2 Estrutura 3D

A estrutura em 3D foi confeccionada para proteger as PCB's do sistema, juntamente com os componentes utilizados. Como descrito na [Seção 3.15](#) essa foi projetada no software [Fusion 360](#) e fabricada por meio de impressão 3D. A [Figura 4.5](#), [Figura 4.6](#), [Figura 4.7](#) e [Figura 4.8](#) demonstram-se as estruturas finalizadas, com seu design robusto e funcional.

FONTE: Autoria Própria

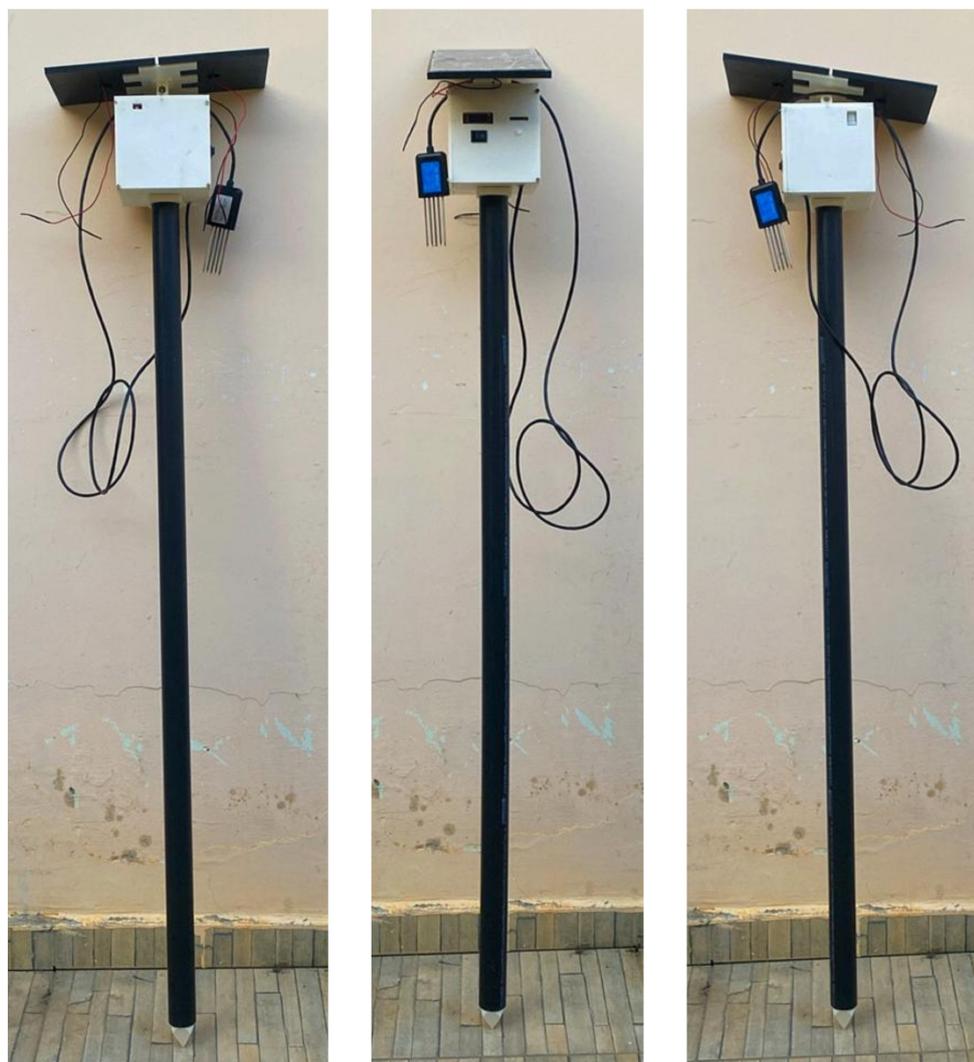
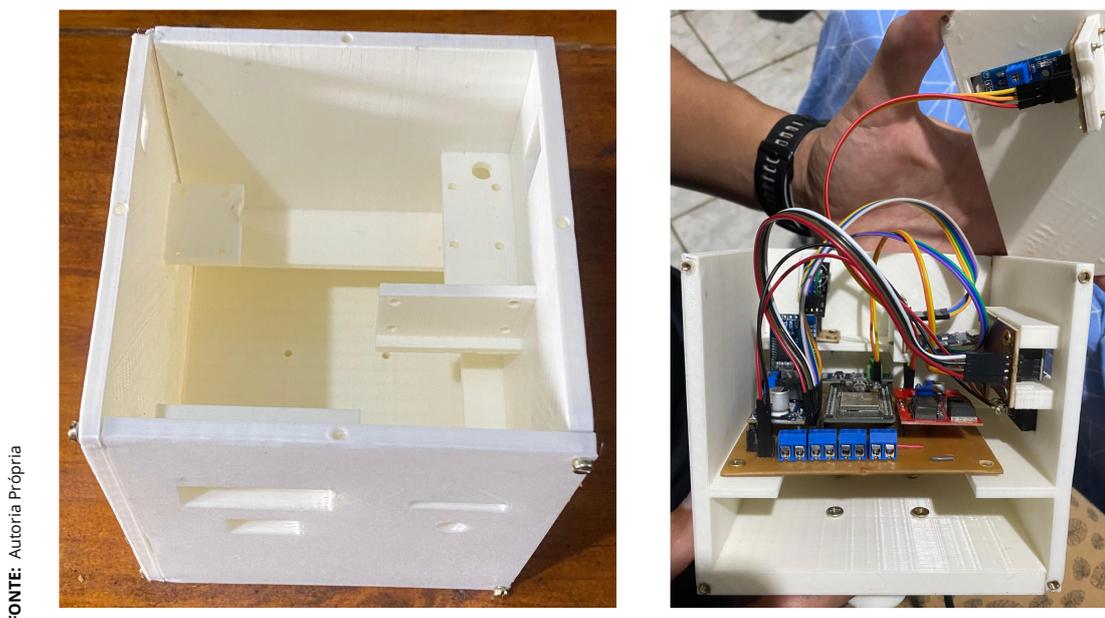


Figura 4.5 – Estrutura totalmente montada.

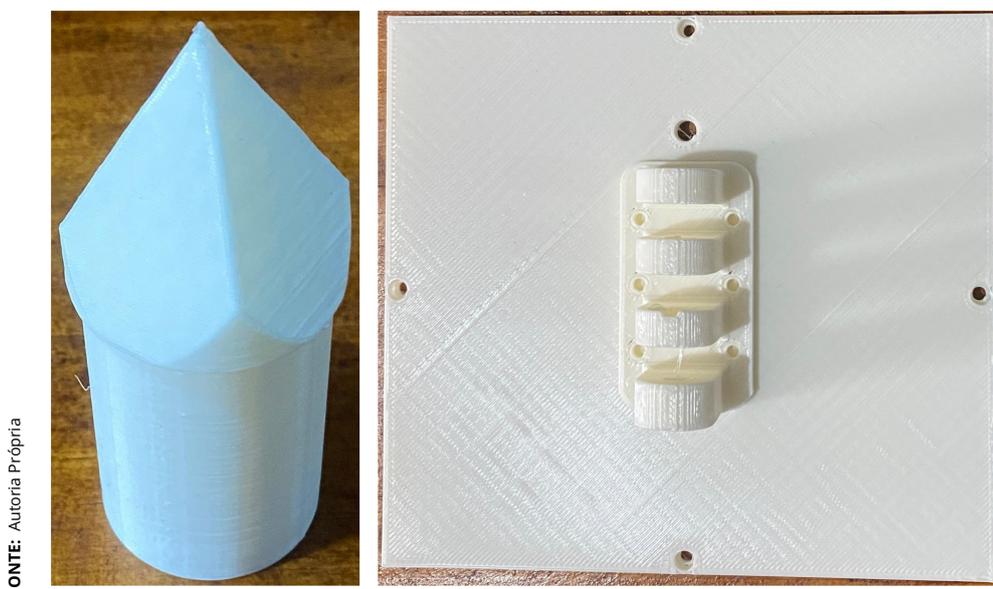
Na [Figura 4.5](#) é possível observar o sistema completamente montado e pronto para realizar o monitoramento dos parâmetros programado. Na parte superior temos as placas solares acopladas ao sistema que está dentro da estrutura em branco abaixo da mesma. O "corpo" é feito por meio de um eletroduto de 1 1/4" e na ponta inferior temos uma estrutura em formato de ponta para possibilitar a fixação da mesma no solo.



FONTE: Autoria Própria

Figura 4.6 – Estrutura pré-montada, Estrutura com as PCB's fixadas (da esquerda para direita).

Na [Figura 4.6](#) temos a representação vista de cima de estrutura na qual ficarão acoplados todas as PCB's necessárias para o sistema, bem como, temos a representação já das PCB's fixadas na estrutura. Na parte inferior que está vazia é o local onde ficarão acopladas as baterias que será umas das fontes de energia para o sistema.

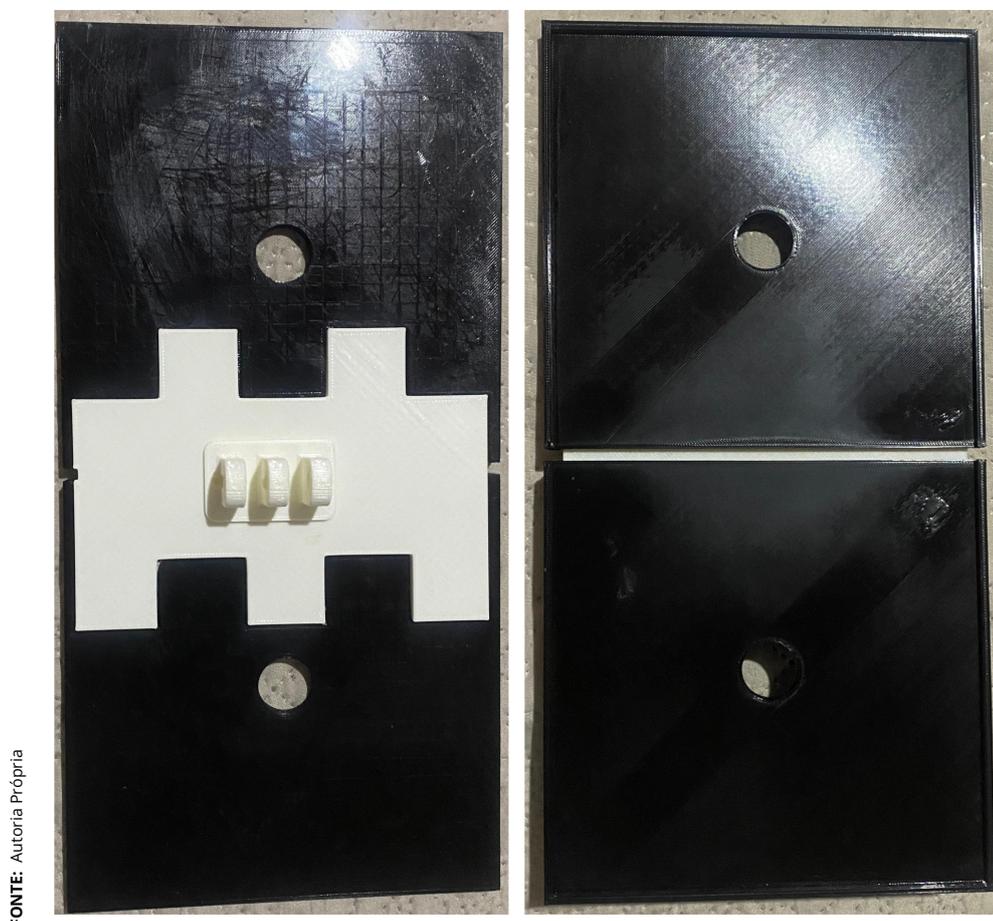


FONTE: Autoria Própria

Figura 4.7 – Estrutura para fixação no solo, Estrutura para angulação dos painéis solares (da esquerda para direita).

Na [Figura 4.7](#) é possível observar a estrutura de fixação que irá no solo, como também, a tampa da estrutura demonstrada na [Figura 4.6](#), na tampa é possível

verificar o sistema para torna possível os ajustes de angulação dos painéis solares que estarão acoplados a estes.



FONTE: Autoria Própria

Figura 4.8 – Estrutura para fixação dos painéis solares.

Na [Figura 4.8](#) verificam-se as estruturas nas quais serão fixadas os painéis solares, a esquerda é mostrada a parte inferior que será acoplada a estrutura da [Figura 4.7](#) e a direita é demonstrada a parte superior onde os painéis solares ficarão fixados.

Durante essa fase, surgiram também algumas dificuldades, tais quais:

- 1) Integração de todos os componentes: a estrutura precisava integrar todos os componentes de forma organizada e segura, porém ocupando o menor espaço possível, sem afetar muito na proximidade dos componentes;
- 2) Resistência mecânica: a mesma precisava ser robusta de modo a suportar os esforços mecânicos, como vento ou chuva. Tornando necessário a escolha de materiais como PLA e ainda adicionando esforços a estru-

tura.

- 3) Impressão 3D: a impressão 3D apresentou desafios relacionados a precisão e acabamento das peças, visto que, a impresso por vezes desconfigurava por si só e assim foi necessário realizar inúmeros ajustes durante as impressões.

4.3 Medições realizadas pelo dispositivo

As medições feitas pelo sistema é a principal parte do projeto, as quais fornecem os dados precisos e confiáveis das condições do solo e do ambiente. De modo que, esses dados são de suma importância para avaliar as condições do local e aplicar a agricultura de precisão com uma maior credibilidade, possibilitando uma tomada de decisão mais rápida e um melhor manejo agrícola. A seguir nas Tabelas 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 são representados duas coletas de dados realizados em diferentes localidades.

As Tabelas 4.1 e 4.2 apresenta um resumo das medições realizadas durante um período de 48 horas, no IFBA - Campus Vitoria da Conquista, demonstrando assim a precisão e a confiabilidade do sistema.

Tabela 4.1 – Ensaio de medição entre os dias 04/02/2025 e 05/02/2025 dos parâmetros do solo.

Parâmetros do Solo				
04/02/2025				
Hora	Umidade (%)	Temperatura (°C)	pH	Condutividade Elétrica (µS/cm)
00:10	70,30	18,10	6,5	1007
06:10	75,00	16,80	6,4	1125
12:10	60,80	23,50	6,5	1516
18:10	65,50	21,70	6,6	1390
05/02/2025				
00:10	72,80	17,40	6,5	1025
06:10	77,30	15,80	6,4	1208
12:10	58,50	24,90	6,6	1470
18:10	67,20	21,60	6,5	1215

Tabela 4.2 – Ensaio de medição entre os dias 04/02/2025 e 05/02/2025 dos parâmetros do ambiente.

Parâmetros do Ambiente			
04/02/2025			
Hora	Umidade (%)	Temperatura (°C)	Luminosidade (%)
00:10	85,50	21,10	10
06:10	91,10	19,80	50
12:10	68,70	24,30	100
18:10	79,20	22,7	40
05/02/2025			
00:10	82,80	20,60	5
06:10	96,10	18,70	65
12:10	74,90	25,30	100
18:10	77,20	23,80	50

Já a [Tabela 4.3](#) e [Tabela 4.4](#) apresentam um resumo das medições realizadas durante um período de 48 horas em uma plantação em uma residência.

Tabela 4.3 – Ensaio de medição entre os dias 06/02/2025 e 07/02/2025 dos parâmetros do solo.

Parâmetros do Solo				
06/02/2025				
Hora	Umidade (%)	Temperatura (°C)	pH	Condutividade Elétrica (µS/cm)
00:10	35,30	20,10	7,0	1200
06:10	46,00	18,80	7,1	1250
12:10	24,80	24,50	7,2	1210
18:10	29,50	21,70	7,1	1190
07/02/2025				
00:10	32,80	21,40	7,0	1225
06:10	36,30	18,20	7,1	1300
12:10	18,50	23,90	7,2	1270
18:10	25,20	21,60	7,1	1215

Tabela 4.4 – Ensaio de medição entre os dias 06/02/2025 e 07/02/2025 dos parâmetros do ambiente.

Parâmetros do Ambiente			
06/02/2025			
Hora	Umidade (%)	Temperatura (°C)	Luminosidade (%)
00:10	81,50	22,10	10
06:10	92,00	20,30	70
12:10	75,70	26,30	100
18:10	80,20	23,70	40
07/02/2025			
00:10	78,80	22,30	5
06:10	93,10	20,10	65
12:10	64,90	25,60	100
18:10	75,20	23,80	50

Ao analisar as Tabelas 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 pode se verificar a disparidades entre os valores apresentados em localidades diferentes, isso ocorre devido às diferenças entre os dois ambientes. No primeiro caso, o solo tinha gramas por toda parte, sendo propício a:

- 1) Um local mais sombreado proporcionando uma menor temperatura;
- 2) Retenção maior de umidade;
- 3) Um solo ligeiramente ácido com valores entre 6,4 a 6,6;
- 4) Condutividade maior devido à retenção de umidade e consequentemente maior concentração de sais minerais.

Já no segundo caso, fez-se presente um solo mais seco, sem presença de muita plantação, com isso os resultados foram:

- 1) Um local menos sombreado logo atingindo temperaturas maiores que o solo de grama;
- 2) Umidade muito baixa devido à exposição direta ao sol;
- 3) Solo mais alcalino com valores em torno de 7,0 a 7,2 por conta da falta

de matéria orgânica;

- 4) Condutividade bem menor que o solo com grama pela falta de umidade e sais minerais.

Entretanto, ao observar os resultados obtidos é possível verificar que o sistema é capaz realizar as medições de forma consistente, visto que, para um mesmo solo e em horários diferentes, os dados não possuem muitas disparidades um dos outros, demonstrando a precisão e confiabilidade do sistema. Assim é possível a utilização do mesmo para aplicação de técnicas voltadas para a agricultura de precisão, haja visto que, torna-se capaz a análise ponto a ponto de um determinado solo.

Para essa etapa não houve dificuldades enfrentadas em relação à medição dos sensores, visto que, os mesmo já haviam sido previamente testados, cada um separadamente. A única dificuldade foi somente no momento de fixação da estrutura no solo, pois não havia ferramentas adequadas para a mesma.

4.4 Aplicativo móvel

O aplicativo móvel é a etapa final do sistema, possibilitando a visualização dos dados pelo usuário e assim permitindo a análise destes. Como informado na [Seção 3.16](#) o mesmo foi desenvolvido em [React Native](#), oferecendo uma interface e funcionalidades intuitivas. Na [Figura 4.9](#), [Figura 4.11](#) e [Figura 4.10](#) são demonstradas a visualização dos dados coletados nas medições anteriormente retratadas na [Tabela 4.1](#), [Tabela 4.2](#), [Tabela 4.3](#) e [Tabela 4.4](#).

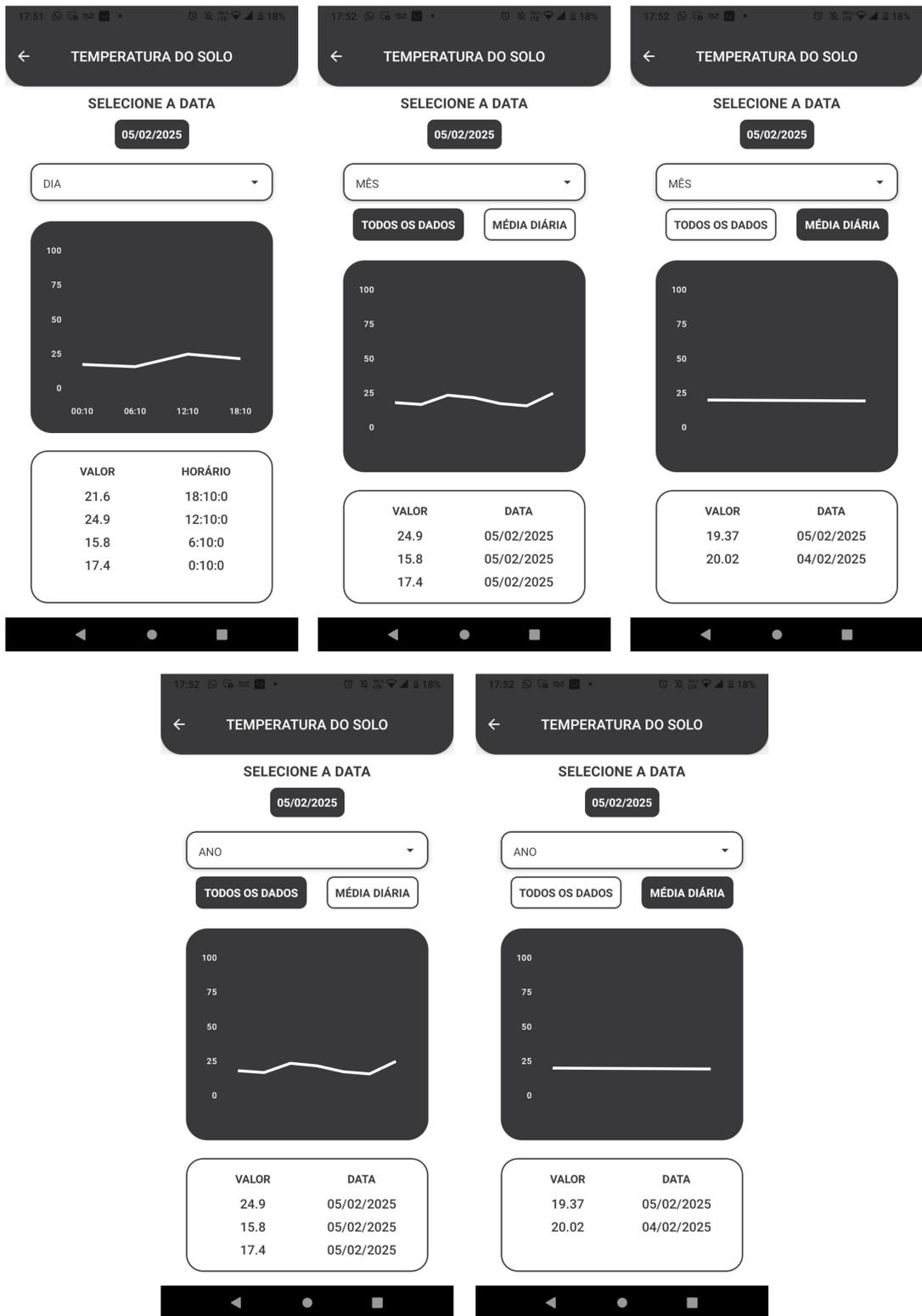
Observando a [Figura 4.9](#) pode-se observar uma captura de tela do aplicativo, na qual podemos verificar os últimos dados coletados de cada parâmetro disponibilizado pelo dispositivo, esses dados fazem referência ao dia 05/02/2025 e são demonstrados na [Tabela 4.1](#) e [Tabela 4.2](#).



Figura 4.9 – Tela do aplicativo mostrando todos os dados dos sensores.

Na [Figura 4.11](#) pode ser verificado os dados referentes a temperatura do solo, apresentados por meio de um gráfico e uma lista, os quais estão demonstrados na segunda coluna da [Tabela 4.1](#). A figura exibe os dados coletados de diferentes formas: na primeira captura de tela, são apresentados apenas os dados do dia 05/02/2025; na segunda e terceira capturas, são exibidos todos os registros de umidade do solo coletados nos últimos 30 dias, incluindo um gráfico e uma tabela com os valores individuais e um gráfico e uma tabela com a média de cada dia. Já na quarta e quinta capturas, são apresentados os dados dos últimos 365 dias, seguindo o mesmo formato, com todos os registros individuais e suas respectivas médias diárias, a partir da data selecionada.

4.4. APLICATIVO MÓVEL



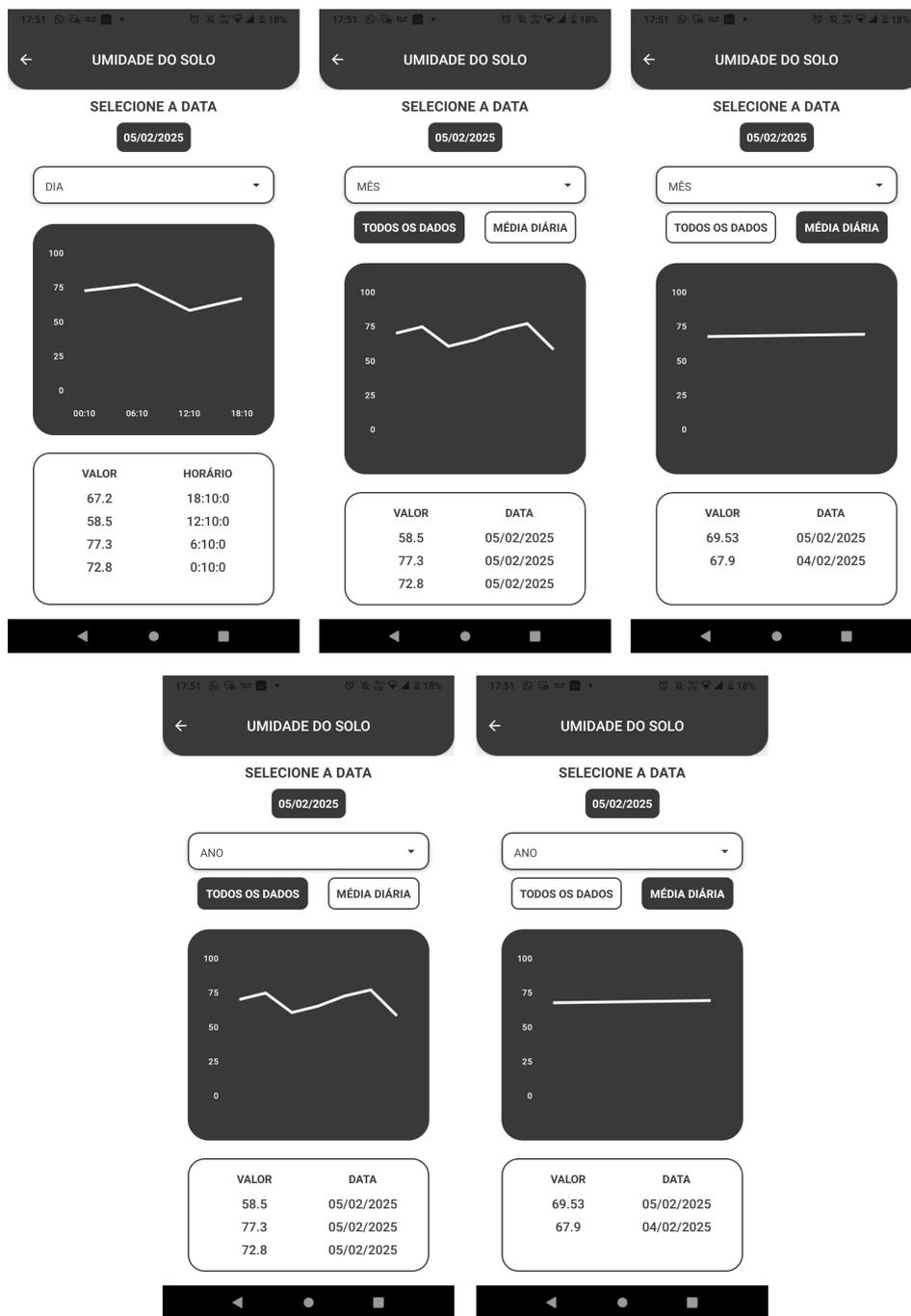
FONTE: Autoria Própria

Figura 4.10 – Telas do aplicativo mostrando os dados de temperatura do solo por dia, mês e ano.

Na [Figura 4.11](#), é possível visualizar o histórico dos dados de umidade do solo, apresentados por meio de um gráfico e uma lista. Esses dados correspondem à primeira coluna da [Tabela 4.1](#). A figura exhibe os dados coletados de diferentes

4.4. APLICATIVO MÓVEL

formas: na primeira captura de tela, são apresentados apenas os dados do dia 05/02/2025; na segunda e terceira capturas, são exibidos todos os registros de umidade do solo coletados nos últimos 30 dias, incluindo um gráfico e uma tabela com os valores individuais e um gráfico e uma tabela com a média de cada dia. Já na quarta e quinta capturas, são apresentados os dados dos últimos 365 dias, seguindo o mesmo formato, com todos os registros individuais e suas respectivas médias diárias, a partir da data selecionada.



FONTE: Autoria Própria

Figura 4.11 – Telas do aplicativo mostrando os dados de umidade do solo por dia, mês e ano.

Nessa etapa de criação do aplicativo as principais dificuldades trataram-se de:

- 1) Integração com [Firebase](#): a sincronização com [Firebase](#) para a coleta de dados em tempo real, fez com que fosse necessário a implementações de funções para verificação de possíveis erros nos dados e aplicação um tratamento para essas falhas;
- 2) Gráficos: por mais que existam inúmeras bibliotecas para criação de gráficos, muitas não continham todos os recursos que eram desejados, às vezes não era possível manipular os valores dos eixos x e y, ou mesmo, não eram possíveis modificar as características das linhas que representavam os dados no gráfico.

Entretanto, o mesmo atendeu plenamente a necessidade do projeto em si, sendo elas, a visualização dos dados em tempo real, a visualização de gráficos intuitivos para análise de dados, a possibilidade de filtragem por período garantindo uma observação ainda mais precisa e a facilidade no manejo do mesmo.

4.5 Custo do dispositivo

A viabilidade econômica de um projeto é um fator determinante para sua implementação e comercialização. No desenvolvimento deste sistema de monitoramento de condições do solo e do ambiente, foram considerados diversos componentes eletrônicos e estruturais para garantir um funcionamento eficiente, preciso e acessível. Dessa forma, foi realizada uma análise detalhada dos custos individuais de cada equipamento utilizado na construção do protótipo.

A [Tabela 4.5](#) apresenta os custos estimados dos principais componentes empregados no sistema, incluindo sensores, microcontrolador, módulos de armazenamento, fonte de alimentação e estrutura física.

Tabela 4.5 – Valor em R\$ por equipamento

LISTA DE VALORES POR EQUIPAMENTOS	
EQUIPAMENTO	CUSTO (R\$)
ESP32	22,38
SENSOR THCPH-S	168,00
MÓDULO SENSOR DHT 22	34,99
MÓDULO SENSOR LDR	5,99
MÓDULO CARTÃO MICROSD	9,99
MÓDULO RTC	35,00
MÓDULO MAX 485	4,99
PLACA DE FENOLITE 15X15CM	8,99
REGULADOR DE TENSÃO DC	11,99
CONTROLADOR DE CARGA	64,89
02 PAINÉIS SOLARES	120,00
CHAVE GANGORRA	5,99
PUSH BUTTON	3,99
ESTRUTURA 3D (MODELAGEM)	60,00
ESTRUTURA 3D (FILAMENTO)	80,00
02 BATERIAS LI-ON	74,57
CONECTORES MACHO	17,99
CONECTORES FÊMEA	11,99
RESISTOR 10K OHM	2,99
BATERIA LITIO 3V (RTC)	3,99
06 BORNES DE 02 PINOS	13,98
DISPLAY OLED	6,19
ELETRODUTO 1"	18,00
TOTAL	786,89

O investimento total necessário para a construção de uma unidade funcional do dispositivo foi de R\$ 786,89. Esse valor representa o custo direto dos materiais utilizados e pode variar conforme fornecedores, impostos e aquisições em larga

escala.

A estimativa de custo é fundamental para definir o preço final do produto, possibilitando que produtores agrícolas avaliem o retorno sobre o investimento ao adquirirem a solução. Além disso, permite a análise de estratégias para otimização dos gastos, seja por meio da escolha de componentes mais acessíveis ou pela produção em maior escala, reduzindo custos unitários. Esse estudo de viabilidade torna-se essencial para garantir que o dispositivo seja economicamente competitivo e acessível ao público-alvo, principalmente pequenos e médios agricultores interessados na adoção de tecnologias voltadas para a agricultura de precisão.

4.6 Aplicação do dispositivo

Durante o desenvolvimento do protótipo, verificou-se uma limitação relacionada a profundidade para realização das medições no solo devido ao sensor utilizado. Essa característica impõe restrições quanto às culturas agrícolas que podem se beneficiar da tecnologia proposta, visto que, que algumas culturas possuem sistemas radiculares mais profundos, exigindo medições a maiores profundidades para um monitoramento eficaz das condições do solo.

Diante desse cenário, a aplicação do dispositivo é mais eficiente em culturas onde as raízes se desenvolvem predominantemente na camada superficial do solo. Algumas das principais culturas que possuem essas características são:

- ▶ Batata;
- ▶ Feijão;
- ▶ Algodão.

A batata, por exemplo, apresenta um sistema radicular relativamente raso, com raízes que se concentram entre 40 e 60 cm de profundidade (VOLPE, 2021). Isso permite que a tecnologia proposta monitore com precisão a umidade, a temperatura e a condutividade elétrica do solo, fatores essenciais para o bom desenvolvimento da cultura. Da mesma forma, o feijão tem raízes que se desenvolvem majoritariamente nos primeiros 20 cm do solo, tornando-se uma cultura adequada para ser acompanhada pelo dispositivo (CÉZARO, 2018). Já o algodão, embora possa desenvolver raízes mais profundas em condições ideais, tem a maior concentração de suas raízes entre 3 e 15 cm de profundidade, possibilitando um moni-

toramento eficiente dos parâmetros do solo nessa faixa (MAGALHÃES et al., 1962).

Com base nessas características, o dispositivo pode ser direcionado a pequenos e médios produtores que cultivam essas e outras culturas de raízes superficiais.

Capítulo 5

Considerações finais

A agricultura de precisão, conforme mencionado na [Seção 2.3](#), é uma implementação tecnológica que busca otimizar o manejo de uma agricultura através da coleta e análise dos parâmetros do ambiente, possibilitando a tomada de decisões mais informadas, precisas e, conseqüentemente, eficientes. É notório que esse tipo de aplicação se mostra essencial para aumentar a produtividade de uma cultura, bem como reduzir custos e minimizar os impactos ambientais, ainda mais quando se fala de um cenário onde se faz presente a crescente demanda por alimentos e os recursos naturais bastante limitados.

Nesse cenário, o monitoramento de parâmetros como umidade e temperatura do solo e do ambiente, condutividade elétrica do solo, pH do solo e luminosidade é fundamental para garantir o desenvolvimento saudável de uma plantação. Tais parâmetros fornecem informações valiosas de como se encontram as condições do solo e do ambiente do local onde será realizado o manejo da cultura, permitindo ajustes na irrigação, adubação, entre outras práticas agrícolas que contribuem para a aplicação da agricultura de precisão.

Como mencionado na [Seção 1.4](#), o objetivo do trabalho foi desenvolver um sistema integrado para realizar o monitoramento de condições do solo e do ambiente, composto por um dispositivo físico e uma aplicação móvel. Para tal foram usadas metodologias e ferramentas (mencionadas na [Capítulo 3](#)) que proporcionaram a construção do protótipo de forma concisa e organizada. No entanto, o mesmo não foi isento de dificuldades e desafios. No momento de conexão de alguns sensores, devido ao não conhecimento apurado sobre o microcontrolador utilizado, fizeram-se presentes alguns erros e uso de portas GPIO's que não possuíam a função para determinado controle. Já no momento da fabricação da PCB, surgiram alguns impasses, os quais exigiram ajustes e improvisações. Por sua vez,

na etapa de criação dos modelos 3D das estruturas, algumas dificuldades surgiram no momento de organizar todos os componentes da melhor forma e ocupando o menor espaço possível, sendo por vezes necessário realizar ajustes e remodelações. Por fim, na implementação do aplicativo, os desafios surgiram no momento de consolidar bibliotecas válidas para a implementação, a exemplo das bibliotecas para criação de gráficos, muitas das quais não atendiam os requisitos desejados do projeto, havendo restrições quanto à sua edição, sendo necessário um maior crivo no processo de seleção.

Apesar dos desafios enfrentados, os resultados obtidos foram satisfatórios e proveitosos, atingindo as expectativas do projeto, como verificados na Seção [Capítulo 4](#). A PCB foi realizada e finalizada com eficácia, acomodando todos os componentes necessários. A estrutura 3D mostrou-se robusta e funcional, garantindo a proteção e organização de todos os componentes. Já as medições capturadas pelo dispositivo demonstram consistência e precisão, fornecendo dados válidos para análise e tomada de decisões sobre as condições ambientais. Quanto ao aplicativo móvel, o mesmo oferece uma interface intuitiva e de fácil acesso para o usuário analisar os dados em tempo real, e da forma que melhor lhe convier.

Ademais, o dispositivo desenvolvido e construído nesse trabalho mostrou-se uma solução completa e eficiente para o monitoramento de parâmetros do solo e do ambiente, contribuindo para a agricultura de precisão e sendo acessível a pequenos e médios produtores. A superação dos problemas reflete na obtenção dos resultados, comprovando o potencial e a viabilidade do sistema para aplicações práticas em campo. No futuro, o dispositivo é passível de aprimoramentos, com a integração de novos sensores, otimização do consumo de energia e incremento de funções na aplicação móvel. Portanto, este trabalho, além de cumprir com os objetivos iniciais, também possibilitou caminhos para novas pesquisas e desenvolvimentos voltados para a área de monitoramento ambiental vinculado à agricultura de precisão.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Este trabalho centrou-se em elaborar um protótipo de medição de parâmetros do solo e do ambiente voltados para a aplicação da agricultura de precisão. Os resultados obtidos foram satisfatórios, entretanto, sugere-se para estudos futuros a:

- ▶ Expansão do Conjunto de Sensores: incluir sensores para medir outros parâmetros como, nitrogênio, fósforo e potássio do solo;
- ▶ Integração de novos sistemas ao projeto: desenvolver um sistema de irrigação automatizado com base nos dados coletados pelo dispositivo.
- ▶ Melhorias na comunicação: ao invés de utilizar comunicação Wi-Fi mudar para comunicação LoRa permitindo o alcance a longas distâncias.
- ▶ Melhorias no sistema: ao invés de usar módulos, utilizar o próprio sensor ou o chip no caso do ESP32, barateando mais o custo e diminuindo o equipamento.
- ▶ Melhorias na autonomia energética: usar baterias com maior capacidade energética, bem como, painéis solares mais potentes, aumentando assim a autonomia do mesmo.
- ▶ Aprimoramento do aplicativo móvel: implementar mais algumas funções, como a geração de relatórios ou notificações de alerta quando detectar condições críticas no local.
- ▶ Melhorias na base de dados: implementar etapas de verificação para os dados enviados e, especialmente, para aqueles não transmitidos quando o equipamento esteve desconectado da internet por um período.
- ▶ Equipamento escalonável: permitindo que múltiplos dispositivos do mesmo modelo se interconectem quando um produtor utilizar vários equipamentos em uma mesma plantação.

REFERÊNCIAS

180 Sustentável Engenharia. Como saber o quanto de luz sua planta precisa. <<https://180engenharia.com.br/blog/como-saber-o-quanto-de-luz-a-sua-planta-precisa/>> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. 2020. (Citado na página 21.)

AGRICOLA, A. C. Importância do ph do solo: como medir e ajustar. <<https://acientistaagricola.pt/importancia-do-ph-do-solo-como-medir-e-ajustar/>> [Acessado em 05 de Fevereiro de 2025]. 2024. (Citado na página 18.)

ALBUQUERQUE, R. S. d. Sistema de irrigação inteligente para agricultura familiar baseado em iot. 2019. (Citado 3 vezes nas páginas ix, 22, and 23.)

ALBUQUERQUE, T. C. S.; EVANGELISTA, T. C.; NETO, A. A. R. de A. Níveis de sombreamento no crescimento de mudas de castanheira do brasil. *Revista Agro@mbiente On-line*, v. 9, n. 4, p. 440–445, 2015. (Citado na página 20.)

ALVES, M. P. Desenvolvimento de plataforma web para monitoramento de dados para agricultura de precisão. 2023. (Citado 3 vezes nas páginas ix, 26, and 27.)

ALVES, P. Ldr – o que é e como funciona! <<https://www.manualdaeletronica.com.br/ldr-o-que-e-como-funciona/#bio>> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. Não Informado. (Citado na página 34.)

APAGRI. Influência das condições climáticas na produção agrícola – parte i. <<https://apagri.com.br/condicoes-climaticas-parte-1/>> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. 2017. (Citado na página 19.)

ARDUINO E CIA. Como usar módulo cartão micro sd arduino. <<https://www.arduinoecia.com.br/como-usar-modulo-cartao-micro-sd-arduino/>> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. 2020. (Citado na página 48.)

BOLFE, E. et al. Desafios, tendências e oportunidades em agricultura digital no brasil. In: MASSRUHÁ, SMFS; LEITE, MA de A.; OLIVEIRA, SR de M.; MEIRA, CAA . . . , 2020. (Citado 2 vezes nas páginas 12 and 16.)

BORTOLOTO, V. A. et al. Geração de energia solar on grid e off grid. In: *VI JORNACITEC-Jornada Científica e Tecnológica*. [S.l.: s.n.], 2017. (Citado na página 66.)

BUSKE, T. C. et al. Comportamento da umidade do solo determinada por métodos expeditos. Universidade Federal de Santa Maria, 2013. (Citado na página 17.)

CAMBRIDGE, C. U. P. Aplicação móvel (mobile application). <<https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/mobile-application>> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. 2018. (Citado na página 79.)

Casa da Robotica. Regulador de tensão step down - buck conversor dc dc lm2596 3a. <<https://www.casadarobotica.com/fonte-e-conversores/conversores-dc-dc/step-down/regulador-de-tensao-step-down-buck-conversor-dc-dc-lm2596-3a>> [Acessado em 05 de Fevereiro de 2025]. 2022. (Citado 2 vezes nas páginas 70 and 71.)

CÉZARO, E. E. d. *Caracterização do sistema radicular de cultivares de feijão*. Dissertação (B.S. thesis) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018. (Citado na página 102.)

CHRISTENSEN, D. C.; FONSECA, Z. P. d. Sistema de monitoramento agrícola utilizando lora 433-mhz, iot e aplicativo móvel. In: SBC. *Anais do XIV Congresso Brasileiro de Agroinformática*. [S.l.], 2023. p. 80–87. (Citado 3 vezes nas páginas ix, 23, and 24.)

COMWINTOP. Rs485 4-20ma soil temperature humidity moisture conductivity ec ph sensor. <<https://store.comwintop.com/products/rs485-4-20ma-soil-temperature-humidity-moisture-conductivity-ec-ph-sensor?variant=42250573611235>> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. Não Informado. (Citado 2 vezes nas páginas 41 and 42.)

CUNHA, A. O. React native: o que é e tudo sobre o framework. <<https://www.alura.com.br/artigos/react-native?srsId=AfmBOopMuMv9XuEtQvkz7LEVQvcBRYl6R0ODy3bTB7LzJU2dCy5Svs31>> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. 2023. (Citado na página 80.)

DARE AGRO. Saiba a importância da condutividade elétrica (ec) na produção agrícola. <<https://dareagro.blogspot.com/2024/12/saiba-importancia-da-condutividade.html>> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. 2024. (Citado na página 19.)

DIAS, B. G. L. et al. Monitoramento de sensores de umidade do solo com internet das coisas (iot) aplicado na agricultura de precisão. *11o Seminário Mauá de Iniciação Científica, São Caetano do Sul, SP, Brasil*, 2019. (Citado 3 vezes nas páginas ix, 21, and 22.)

E-DISCIPLINAS, U. Lpv5733 - tópicos especiais em agroecologia (2017). <<https://edisciplinas.usp.br/enrol/index.php?id=49848>> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. 2017. (Citado 2 vezes nas páginas 8 and 9.)

EASYEDA. Easyeda. <<https://easyeda.com/>> [Acessado em 05 de Fevereiro de 2025]. 2013. (Citado na página 72.)

ELETROGATE. Rtc – real time clock ds1302, 1307 e 3231. <<https://blog.eletrogate.com/rtc-real-time-clock-ds1302-1307-e-3231/>> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. 2022. (Citado na página 46.)

ELETROGATE. Display oled 0.91. <<https://www.cernecomponenteeletronico.com.br/display-oled-091-i2c-128x32-escrita-azul/p>> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. Não informado. (Citado na página 51.)

ELETROGATE. Módulo sensor de luminosidade luz ldr - 3 pinos. <<https://www.eletrogate.com/modulo-sensor-de-luminosidade-ldr>> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. Não Informado. (Citado na página 35.)

ELETROGATE. Módulo sensor temperatura e umidade dht22. <<https://www.eletrogate.com/modulo-sensor-temperatura-e-umidade-dht22>> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. Não informado. (Citado na página 37.)

ELETROGATE. Módulo sensor temperatura e umidade dht22. <<https://www.eletrogate.com/modulo-sensor-temperatura-e-umidade-dht22>> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. Não Informado. (Citado na página 38.)

ELETRONICA DA CHINA. Mppt painel solar controlador cn3722 3s lithium li-ion 18650 bateria módulo controlador carga 12v. [Acessado em 05 de Fevereiro de 2025]. 2015. Disponível em: <<https://eletronicadachina.com.br/produto/mppt-painel-solar-controlador-cn3722-3s-lithium-li-ion-18650-bateria-modulo-controlador-carga-12v>>. (Citado 2 vezes nas páginas 68 and 69.)

EMBRAPA. Trajetória da agricultura brasileira. <<https://www.embrapa.br/visao/trajetoria-da-agricultura-brasileira>> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. 2017. (Citado 6 vezes nas páginas ix, 4, 5, 10, 11, and 12.)

EMBRAPA. Valor da produção agropecuária é atualizado para r1, 142trilhoesteano.<> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. 2017. (Citado 2 vezes nas páginas 5 and 12.)

EMBRAPA. Pimenta. <<https://www.embrapa.br/hortalicas/pimenta/>> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. 2021. (Citado na página 19.)

EMBRAPA. Temperatura. <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/pre-producao/caracteristicas-da-especie-e-relacoes-com-o-ambiente/exigencias-climaticas/temperatura?utm>> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. 2021. (Citado na página 19.)

EMBRAPA. Agricultura de precisão. <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/producao/avanco-tecnologico/agricultura-de-precisao>> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. 2022. (Citado 3 vezes nas páginas 2, 14, and 15.)

ENERGÊS. Do início ao fim sistema solar fotovoltaico off-grid. <<https://energes.com.br/do-inicio-ao-fim-sistema-solar-fotovoltaico-off-grid/>> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. 2020. (Citado na página 66.)

EOS DATA ANALYTICS. Umidade do solo: Nível Ótimo e controle de déficit. <<https://eos.com/pt/blog/umidade-do-solo/>> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. 2024. (Citado 2 vezes nas páginas 5 and 17.)

FELDENS, F. Homem a agricultura a historia. *1ª edição. Lajeado/RS. Editora*, 2018. (Citado 3 vezes nas páginas 1, 9, and 10.)

FERREIRA, C. M. et al. An evaluation of cross-platform frameworks for multimedia mobile applications development. *IEEE Latin America Transactions*, IEEE, v. 16, n. 4, p. 1206–1212, 2018. (Citado na página 79.)

FILHO, H. M. de S. et al. Agricultura familiar e tecnologia no brasil: características, desafios e obstáculos. In: *XLII Congresso Da Sociedade Brasileira De Economia E Sociologia Rural*. [S.l.: s.n.], 2004. <https://www.researchgate.net/publication/266244829_Agricultura_Familiar_e_Tecnologia_no_Brasil_caracteristicas_desafios_e_obstaculos> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. (Citado na página 13.)

Flor de Camomyla. O que é umidade relativa? <<https://blog.flordecamomyla.com.br/glossario/o-que-e-umidade-relativa-e-sua-importancia-para-plantas/>> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. 2024. (Citado na página 20.)

Fusion 360. Fusion 360. <<https://www.autodesk.com/in/products/fusion-360/free-trial>> [Acessado em 05 de Fevereiro de 2025]. 2013. (Citado na página 76.)

GEBBERS, R.; ADAMCHUK, V. I. Precision agriculture and food security. *Science*, American Association for the Advancement of Science, v. 327, n. 5967, p. 828–831, 2010. (Citado na página 14.)

Geo Inova. Entendendo a agricultura: uma visão abrangente. <<https://geoinova.com.br/entendendo-a-agricultura-uma-visao-abrangente/>> [Acessado em 05 de Fevereiro de 2025]. 2013. (Citado 2 vezes nas páginas 7 and 17.)

Geo Inova. O impacto da umidade na qualidade da produção agrícola. <<https://geoinova.com.br/o-impacto-da-umidade-na-qualidade-da-producao-agricola/>> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. 2024. (Citado na página 20.)

IBGE. Agricultura familiar. <https://www.ibge.gov.br/apps/atlasrural/pdfs/11_00_Texto.pdf> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. 2017. (Citado na página 13.)

INAMASU, R. et al. *Agricultura de Precisão para a sustentabilidade de sistemas produtivos do agronegócio brasileiro*. 2012. 2015. (Citado na página 14.)

JACKSON, M. Aluminum bonding in soils: A unifying principle in soil science. *Soil Science Society of America Journal*, Wiley Online Library, v. 27, n. 1, p. 1–10, 1963. (Citado na página 17.)

KAISER, D. et al. Temperatura do solo afetada por diferentes estados de compactação. *REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA*, v. 14, 2001. (Citado na página 16.)

MAGALHÃES, A. et al. Desenvolvimento do sistema radicular do algodoeiro na camada arável do solo. *Bragantia*, SciELO Brasil, v. 21, p. 21–30, 1962. (Citado na página 103.)

Manual & Engine. Esp32 devkit v1 manual. <<https://bindendwaxwiring.z14.web.core.windows.net/esp32-devkit-v1-manual.html>> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. 2022. (Citado na página 33.)

MAPA. Ministério da agricultura e pecuária. Valor da produção agropecuária é atualizado para 1,142 trilhão este ano. <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/valor-da-producao-agropecuaria-e-atualizado-para-r-1-142-trilhao-e-ste-ano>> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. 2023. (Citado na página 1.)

MAPA. Ministério da agricultura e pecuária. Crescimento da economia brasileira é impulsionado pela alta de 15% da agropecuaria em 2023. <<https://11nk.dev/XsH9o>> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. 2024. (Citado na página 4.)

MAZOYER, M.; ROUDART, L. *Histórias das agriculturas no mundo. Do neolítico à crise contemporânea*. [S.l.]: Universidad Estatal Paulista (UNESP), 2010. (Citado 3 vezes nas páginas 7, 8, and 9.)

Mercado Livre. Bateria para caixa de som 7,4v 2000mah li-ion recarregável. <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2202054107-bateria-para-caixa-de-som-74v-2000mah-li-ion-recarregavel-_JM?matt_tool=14213447&matt_word=&matt_source=bing&matt_campaign=MLB_ML_BING_AO_CE-ALL-ALL_X_PLA_ALLB_TXS_ALL&matt_campaign_id=382858295&matt_ad_group=CE&matt_match_type=e&matt_network=o&matt_device=c&matt_keyword=default&msclkid=21b8c0aedbc315ca9bcda70d126ceca4&utm_source=bing&utm_medium=cpc&utm_campaign=MLB_ML_BING_AO_CE-ALL-ALL_X_PLA_ALLB_TXS_ALL&utm_term=4581596253419739&utm_content=CE> [Acessado em 05 de Fevereiro de 2025]. 2022. (Citado na página 69.)

PROJETO, P. de. Solucoes reutilizaveis de software orientado a objetos. *Gamma, Erich/Helm, Richard/Johnson, Ralph/Vislides, John*, 2007. (Citado na página 79.)

RABELLO, L. M.; BERNARDI, A. d. C.; INAMASU, R. Y. Condutividade elétrica aparente do solo. *Agricultura de Precisão-Resultados de um Novo Olhar*. Brasília, DF: Embrapa,

p. 48–57, 2014. (Citado na página 19.)

RIBEIRO, A. L. S. O que é firebase? para que serve, principais característica e um guia dessa ferramenta google. <https://www.alura.com.br/artigos/firebase?srltid=AfmBOoqdeo4_D0z-mgKISuA09rhdMz2-gdlqwa5Hjk-QKp7TWfAYw2ty> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. 2023. (Citado na página 56.)

RISSER, G. et al. Effet de la temperature des racines sur la croissance de jeunes plants de diverses varietes de melon (cucumis melo l.). *Inist-CNRS*, 1978. (Citado na página 16.)

ROBÓTICA, C. da. Mini painel / placa / célula de energia solar fotovoltaica 12v 0,250ma 3w. <<https://www.casadarobotica.com/ver-mais/mini-painel-placa-celula-de-energia-solar-fotovoltaica-12v-0-250ma-3w>> [Acessado em 05 de Fevereiro de 2025]. 2022. (Citado na página 70.)

RODRÍGUEZ, A. Qual umidade as plantas domésticas precisam? <<https://be.green/pt/blog/qual-umidade-plantas-domesticas-precisam?srltid=AfmBOopHFr4y56UjoVhMxrh3rH7ixW5uYcujl8eWZSJ6YTrKcwZc9hpx&utm>> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. 2024. (Citado na página 20.)

ROGÉRIO, T. O que é condutividade elétrica do solo? <<https://www.bienaldaagricultura.com.br/glossario/o-que-e-condutividade-eletrica-do-solo/>> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. 2024. (Citado na página 19.)

ROGÉRIO, T. O que é umidade? <<https://www.bienaldaagricultura.com.br/glossario/o-que-e-umidade-na-agricultura-entenda-aqui/>> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. 2024. (Citado na página 20.)

RONTEK. Módulo ldr (resistor dependente da luz). <<https://www.sta-eletronica.com.br/artigos/arduinos/modulo-ldr-resistor-dependente-da-luz>> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. Não Informado. (Citado na página 34.)

SCHUH, G. E. *O desenvolvimento da agricultura no Brasil*. [S.l.]: Embrapa Roraima (CPAF-RR), 1997. (Citado na página 10.)

SENADO NOTÍCIAS. Aprovada inclusão da agricultura familiar em fundo garantidor; texto vai a sanção. [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. 2024. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2024/10/30/aprovada-inclusao-da-agricultura-familiar-em-fundo-garantidor-texto-vai-a-sancao>>. (Citado na página 6.)

SILVA, L. *Estágio de desenvolvimento e exigências da cultura da soja*. [S.l.]: UNIVAG, 2002. (Citado na página 16.)

SIQUEIRA, O. de; SALLES, L.; FERNANDES, J. Efeitos potenciais de mudanças climáticas na agricultura brasileira e estratégias adaptativas para algumas culturas. In: *Memórias do Workshop de Mudanças Climáticas Globais ea Agropecuária Brasileira, 1–17 de Junho 1999, Campinas, SPO, Brasil*. [S.l.: s.n.], 1999. p. 18–19. (Citado na página 19.)

SOLUSOLO. A importância do ph do solo para a produção agrícola. [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. 2024. Disponível em: <<https://solusolo.com.br/a-importancia-do-ph-do-solo-para-a-producao-agricola/>>. (Citado 2 vezes nas páginas 5 and 18.)

TAIZ, L. et al. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. [S.l.]: Artmed Editora, 2017. (Citado na página 20.)

VAINER, C. Pesquisador. <<https://www.embrapa.br/equipe/-/empregado/294869/celso-vainer-manzatto>> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. 1995. (Citado na página 14.)

VASCONCELOS, R. d. S. D. et al. Projeto de sistema de monitoramento e controle para irrigação. Universidade Federal de Campina Grande, 2024. (Citado 3 vezes nas páginas ix, 28, and 29.)

VELOSO, E. M. C. Agricultura de precisão: sistema para monitoramento remoto de lavouras. 2023. (Citado 2 vezes nas páginas ix and 25.)

VISION, V. Placa esp32: Descubra o que é, para que serve e muito mais! <<https://victorvision.com.br/blog/placa-esp32/>> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. 2023. (Citado na página 32.)

VOLPE, C. A. A grometeorologia. <https://www.fcav.unesp.br/Home/estacao_agro/20080728_100725.HTM> [Acessado em 5 de Março de 2025]. 2021. (Citado na página 102.)

WANDERLEY, M. d. N. B.; TEDESCO, J. C. Agricultura familiar: realidades e perspectivas. *EDIUPF, Passos Fundo, n*, 1999. (Citado na página 13.)

WASSERMAN, A. I. Software engineering issues for mobile application development. *Proceedings of the FSE/SDP workshop on Future of software engineering research*, p. 397–400, 2010. (Citado na página 79.)

World History. The fertile crescent and rise of agriculture. <<https://www.worldhistory.org/uploads/images/12521.png?v=1736520668-0>> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. 2020. (Citado na página 8.)

YAMASAKI, G. Sol pleno, meia-sombra, sombra? entenda a diferença para as plantas. <https://www.cultivando.com.br/sol-pleno-meia-sombra-sombra-entenda-a-diferenca-para-as-plantas/#google_vignette> [Acessado em 01 de Fevereiro de 2025]. 2007. (Citado na página 21.)

ZAINAL, M. S. et al. Fertigation of plant with iot based system for management and monitoring. *Progress in Engineering Application and Technology*, v. 5, n. 1, p. 245–251, 2024. (Citado 3 vezes nas páginas ix, 27, and 28.)

APÊNDICE A

Apêndice

A.1 Códigos referente ao módulo LDR

Código A.1 – *Configurando porta GPIO34*

```
1  
2 #define PINO_LDR 34
```

Código A.2 – *Função para leitura do valor bruto do LDR*

```
1  
2 arrayluminosidade[currentStep] = analogRead(34);
```

Código A.3 – *Função para aplicar normalização nos valores brutos lidos do LDR*

```
1  
2 medialuminosidade = (((arrayluminosidade[0] +  
3   arrayluminosidade[1] + arrayluminosidade[2])  
4   / 3) / 4095) * 100;
```

A.2 Códigos referente ao módulo DHT22

Código A.4 – *Importando a biblioteca do modulo DHT22*

```
1
2 #include <DHT.h>
3
4 #define DHTPIN 27
5 #define DHTTYPE DHT22
6
7 DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
```

Código A.5 – Função para inicializar o módulo DHT22

```
1
2 void InicializarDHT22(){
3     dht.begin();
4 }
```

Código A.6 – Função para ler os valores de umidade e temperatura do ar

```
1
2 arrayumidadear[currentStep] = dht.readHumidity();
3 arraytemperaturaar[currentStep] = dht.readTemperature();
```

A.3 Códigos referente ao sensor THCPH-S

Código A.7 – Importando a biblioteca ModbusMaster

```
1
2 #include <ModbusMaster.h>
3
4 ModbusMaster node;
```

Código A.8 – Criando variáveis para armazenamento dos parâmetros do solo

```
1
2 float umidadesolo = 0.0;
3 float temperaturasolo = 0.0;
4 float condutividadesolo = 0.0;
```

```
5 float phsolo = 0.0;
```

Código A.9 – Configurando porta serial 02

```
1  
2 Serial2.begin(4800, SERIAL_8N1, 16, 17);  
3   pinMode(MAX485_DE_RE, OUTPUT);  
4   digitalWrite(MAX485_DE_RE, LOW);  
5 node.begin(1, Serial2);
```

Código A.10 – Função para controlar o estado do módulo MAX485

```
1  
2 void preTransmission() {  
3   digitalWrite(MAX485_DE_RE, HIGH); // Modo transmissão  
4 }  
5  
6 void postTransmission() {  
7   digitalWrite(MAX485_DE_RE, LOW); // Modo recepção  
8 }
```

Código A.11 – Função para ler os registros Modbus

```
1  
2 result = node.readInputRegisters(0x0000, 4);
```

Código A.12 – Função para extrair os registros Modbus

```
1  
2 umidadesolo = node.getResponseBuffer(0x00) * 0.1;  
3 temperaturasolo = node.getResponseBuffer(0x01) * 0.1;  
4 condutividadesolo = node.getResponseBuffer(0x02);  
5 phsolo = node.getResponseBuffer(0x03) * 0.1;
```

Código A.13 – Verificando os dados do medidos do sensor THCPH-S

```
1
```

```
2 if (result == node.ku8MBSuccess) {
3 } else {
4   Serial.println("Falha na leitura dos registros Modbus");
5 }
```

A.4 Códigos referente ao módulo RTC

Código A.14 – Importando a biblioteca do RTC e criando o objeto rtc

```
1
2 #include <RTClib.h>
3
4 RTC_DS3231 rtc;
```

Código A.15 – Inicializando RTC e configurando a data e a hora

```
1
2 Wire.begin(21, 22);
3
4 if (!rtc.begin()) {
5   Serial.println("Não foi possível encontrar
6   o módulo RTC");
7   while (1);
8 }
9
10 if (rtc.lostPower()) {
11   Serial.println("O RTC perdeu energia, ajustando
12   o relógio!");
13   rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
14 }
```

Código A.16 – Modelo para obter data e hora

```
1
2 DateTime now = rtc.now();
3
```

```
4 int ano = now.year();
5 int mes = now.month();
6 int dia = now.day();
7 int hora = now.hour();
8 int minuto = now.minute();
9 int segundo = now.second();
```

A.5 Códigos referente ao módulo de cartão MicroSD

Código A.17 – Importando a biblioteca do módulo de cartão MicroSD

```
1
2 #include <SPI.h>
```

Código A.18 – Definindo porta GPIO que será o Chip Select (CS)

```
1
2 #define SD_CS 5
```

Código A.19 – Inicializando o módulo de cartão MicroSD

```
1
2 if (!SD.begin(SD_CS)) {
3     Serial.println("Falha ao inicializar o cartão SD!");
4     return;
5 }
6     Serial.println("Cartão SD inicializado com sucesso.");
```

Código A.20 – Armazenando dados no cartão MicroSD

```
1
2 File arquivo = SD.open("/BACKUP.txt", FILE_APPEND);
```

A.6 Códigos referente ao Display OLED

Código A.21 – Importando biblioteca do Display OLED

```
1
2 #include <Adafruit_SSD1306.h>
```

Código A.22 – Definindo constantes para configurar o Display OLED

```
1
2 #define LARGURA_DISPLAY 128
3 #define ALTURA_DISPLAY 32
4 #define RESETAR_DISPLAY -1
```

Código A.23 – Criando o objeto e configurando o Display OLED

```
1
2 Adafruit_SSD1306 display(LARGURA_DISPLAY ,
3 ALTURA_DISPLAY , &Wire , RESETAR_DISPLAY);
```

Código A.24 – Código para inicializar o Display OLED

```
1
2 if (!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC , 0x3C)) {
3     Serial.println(F("Falha ao inicializar o DISPLAY!"));
4     while (true);
5 }
```

Código A.25 – Código para inicializar o Display OLED

```
1
2 display.clearDisplay();
3 display.setTextSize(1);
4 display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
5 display.setCursor(0, 16);
6 display.println(F("DISPLAY INICIALIZADO"));
```

A.7 Códigos referente a conexão com o Wi-Fi

Código A.26 – Importando a biblioteca do Wi-Fi

```
1  
2 #include <Preferences.h>
```

Código A.27 – Criando objeto preferences

```
1  
2 Preferences preferences;
```

Código A.28 – Importando biblioteca do servidor HTTP

```
1  
2 #include <WebServer.h>
```

Código A.29 – Criando objeto server

```
1  
2 WebServer server(80);
```

Código A.30 – Criando variáveis para salvar as credenciais do Wi-Fi

```
1  
2 String ssid = "";  
3 String password = "";
```

Código A.31 – Carregando credenciais do Wi-Fi

```
1  
2 preferences.begin("wifi-cred", true);  
3 ssid = preferences.getString("ssid", "");  
4 password = preferences.getString("password", "");  
5 preferences.end();
```

Código A.32 – Criando o Access Point

```
1
2 void setupAP() {
3   WiFi.softAP("ESP32_AP", "12345678");
4   Serial.println("Access Point iniciado");
5   Serial.print("IP do AP: ");
6   Serial.println(WiFi.softAPIP());
7 }
```

Código A.33 – Criando a página Web

```
1
2 server.on("/", handleRoot);
3 server.on("/submit", HTTP_POST, handleSubmit);
4 server.on("/connected", handleConnected);
5 server.begin();
```

Código A.34 – Função handleRoot

```
1
2 void handleRoot() {
3   String html = "<!DOCTYPE html>";
4   html += "<html lang='pt-BR'>";
5   html += "<head>";
6   html += "<meta charset='UTF-8'>";
7   html += "<meta name='viewport' content='width=device-width,
8   initial-scale=1.0'>";
9   html += "<title>Formulário de Rede Wi-Fi</title>";
10  html += "<style>";
11  html += "body { display: flex; justify-content: center;
12  align-items: flex-start; flex-direction: column; margin:
13  0; font-family: 'Roboto', sans-serif; font-weight: 600;
14  background-color: #ffffff; overflow: hidden; }";
15  html += ".top-container { margin-top: 0; width: 100\%;
16  height: 100px; background-color: #383739; display: flex;
17  justify-content: center; align-items: center;
18  border-bottom-left-radius: 30px;
19  border-bottom-right-radius: 30px;}";
```

```
20  html += ".top-title { color: #FFFFFF; font-size:
21  24px; font-weight: bold; line-height: 16px; }";
22  html += ".container { width: 100\%; max-width:
23  300px; margin: 0 auto; text-align: center;
24  padding-top: 80px; }";
25  html += ".title { font-size: 20px; color: #383739;
26  margin-bottom: 10px; line-height: 23px; width:
27  250px; margin-left: auto; margin-right: auto; }";
28  html += ".example { font-size: 14px; color: #000;
29  margin-top: -10px; margin-bottom: 60px; }";
30  html += ".observação { font-size: 14px; color:
31  #000; margin-top: 10px; margin-bottom: 60px; }";
32  html += ".custom-input { background-color: #383739;
33  margin-left: -8px; border-radius: 8px; width: 291px;
34  height: 48px; border: none; font-size: 16px;
35  margin-bottom: 20px; opacity: 0.3; padding-left: 15px; }";
36  html += ".connect-button { background-color: #383739;
37  margin-top: 50px; margin-left: -2px; border-radius: 8px;
38  width: 304px; height: 48px; border: none; color: #FFFFFF;
39  font-size: 16px; cursor: pointer; align-items: center; }";
40  html += "</style>";
41  html += "</head>";
42  html += "<body>";
43  html += "<div class='top-container'>";
44  html += "<div class='top-title '>4 PASSO</div>";
45  html += "</div>";
46  html += "<div class='container'>";
47  html += "<form action='/submit' method='POST'>";
48  // Adicionando o formulário e especificando a rota de envio
49  html += "<div class='title '>DIGITE O NOME DA
50  SUA REDE WI-FI</div>";
51  html += "<input type='text' name='ssid'
52  class='custom-input' placeholder='Digite o nome...'>";
53  html += "<div class='example '>EXEMPLO: ESP-32</div>";
54  html += "<div class='title '>DIGITE A SENHA DA
55  SUA REDE WI-FI</div>";
56  html += "<input type='password' name='password'
57  class='custom-input' placeholder='Digite a senha...'>";
58  html += "<button type='submit'
```

```
59   class='connect-button'>CONECTAR</button>";
60   html += "<div class='observação'>
61   OBS: AGUARDE 10 SEGUNDOS, SE A PÁGINA NÃO CARREGAR
62   OS DADOS ESTÃO INCORRETOS</div>";
63   html += "</form>";
64   html += "</div>";
65   html += "</body>";
66   html += "</html>";
67
68   server.send(200, "text/html", html);
69 }
```

Código A.35 – Função *handleSubmit*

```
1
2 void handleSubmit() {
3   if (server.hasArg("ssid") && server.hasArg("password")) {
4     ssid = server.arg("ssid");
5     password = server.arg("password");
6
7     SalvarCredenciaisWiFi(ssid, password);
8
9     WiFi.begin(ssid.c_str(), password.c_str());
10    Serial.println("Tentando conectar ao roteador...");
11
12    int timeout = 10000; // 10 segundos
13    unsigned long startTime = millis();
14
15    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED && millis()
16    - startTime < timeout) {
17      delay(500); // Verifica a conexão periodicamente
18      Serial.print(".");
19    }
20
21    if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
22      Serial.println("\nConexão estabelecida!");
23      isConnected = true;
24    }
```

```
25     // Redireciona para a página de sucesso
26     server.setHeader("Location", "/connected", true);
27     server.send(302, "text/plain", "Conectado com
28     sucesso.");
29
30     } else {
31         Serial.println("\nFalha na conexão.");
32         isConnected = false;
33
34         // Retorna à página inicial com a mensagem de erro
35         handleRoot();
36     }
37
38     ESP.restart();
39
40     } else {
41         // Caso os argumentos não sejam fornecidos
42         server.send(400, "text/html", "Argumentos inválidos.
43         Por favor, tente novamente.");
44     }
45 }
```

Código A.36 – Função *handleConnected*

```
1
2 void handleConnected() {
3
4     String html = "<!DOCTYPE html>";
5     html += "<html lang='pt-BR'>";
6     html += "<head>";
7     html += "<meta charset='UTF-8'>";
8     html += "<meta name='viewport' content='width=device-width,
9     initial-scale=1.0'>";
10    html += "<title>Formulário de Rede Wi-Fi</title>";
11    html += "<style>";
12    html += "body { display: flex; justify-content: center;
13    align-items: flex-start; flex-direction: column;
14    margin: 0; font-family: 'Roboto', sans-serif;
```

```
15 font-weight: 600; background-color: #ffffff; overflow:
16 hidden; }";
17 html += ".top-container { margin-top: 0;
18 width: 100\%; height: 100px; background-color: #383739;
19 display: flex; justify-content: center;
20 align-items: center;
21 border-bottom-left-radius: 30px;
22 border-bottom-right-radius: 30px;}";
23 html += ".top-title { color: #FFFFFF; font-size: 24px;
24 font-weight: bold; line-height: 16px; }";
25 html += ".container { width: 100\%; max-width: 300px;
26 margin: 0 auto; text-align: center; padding-top: 80px; }";
27 html += ".title 01 { font-size: 20px; color: #383739;
28 margin-top: 40px; line-height: 23px; width: 250px;
29 margin-left: auto; margin-right: auto; }";
30 html += ".title 02 { font-size: 20px; color: #383739;
31 margin-top: 20px; line-height: 23px; width: 250px;
32 margin-left: auto; margin-right: auto; }";
33 html += ".title 03 { font-size: 20px; color: #383739;
34 margin-top: 50px; line-height: 23px; width: 250px;
35 margin-left: auto; margin-right: auto; }";
36 html += ".title 04 { font-size: 20px; color: #383739;
37 margin-top: 20px; line-height: 23px; width: 280px;
38 margin-left: auto; margin-right: auto; }";
39 html += ".title 05 { font-size: 20px; color: #383739;
40 margin-top: 00px; line-height: 23px; width: 250px;
41 margin-left: auto; margin-right: auto; }";
42 html += ".title 06 { font-size: 20px; color: #383739;
43 margin-top: 50px; line-height: 23px; width: 250px;
44 margin-left: auto; margin-right: auto; }";
45 html += ".title 07 { font-size: 20px; color: #383739;
46 margin-top: 20px; line-height: 23px; width: 250px;
47 margin-left: auto; margin-right: auto; }";
48 html += "</style>";
49 html += "</head>";
50 html += "<body>";
51 html += "<div class='top-container'>";
52 html += "<div class='top-title '>5 PASSO</div>";
53 html += "</div>";
```

```
54  html += "<div class='container'>";
55  html += "<div class=' title 01'>1</div>";
56  html += "<div class=' title 02'>RETORNE
57  PARA SUA REDE WI-FI</div>";
58  html += "<div class=' title 03'>2</div>";
59  html += "<div class=' title 04'>CLIQUE NO ICONE
60  NO CANTO SUPERIOR
61  DIREITO PARA RETORNAR AO </div>";
62  html += "<div class=' title 05'>MENU INICIAL</div>";
63  html += "<div class=' title 06'>3</div>";
64  html += "<div class=' title 07'>CLIQUE NO BOTÃO
65  DA ESTRUTURA PARA
66  REINICIAR O SISTEMA</div>";
67  html += "</div>";
68  html += "</body>";
69  html += "</html>";
70
71  server.send(200, "text/html", html);
72 }
```

A.8 Códigos referente ao Firebase

Código A.37 – Importando a biblioteca do Firebase

```
1
2 #include <IOXhop_FirebaseESP32.h>
```

Código A.38 – Importando a biblioteca ArduinoJson

```
1
2 #include <ArduinoJson.h>
```

Código A.39 – Criando constantes para definir as credências do banco de dados

```
1
2 #define FIREBASE_HOST "https://multisensorespfc -
```

```
3 default-rtdb.firebaseio.com/"
4 #define FIREBASE_AUTH "*****"
5 *****"
```

Código A.40 – Código para inicializar o Firebase

```
1
2 Firebase.begin(FIREBASE_HOST , FIREBASE_AUTH);
```

Código A.41 – Código para enviar e ler dados do Firebase

```
1
2 Firebase.pushFloat("/umidadesolo/valor",
3 mediaumidadesolo);
4 Firebase.getFloat("/umidadesolo/valor");
```

A.9 Códigos referentes a lógica principal

Código A.42 – Criando variáveis para a lógica principal

```
1
2 int estado = 0;
3
4 unsigned long tempoAnteriorDisplay = 0;
5 unsigned long tempoAnteriorSensores = 0;
6 const long intervaloDisplay = 3000;
7 const long intervaloSensores = 60000;
8
9 int currentStep = 0;
10
11 float arrayumidadesolo [3];
12 float arrayumidadear [3];
13 float arraytemperaturasolo [3];
14 float arraytemperaturaar [3];
15 float arraycondutividadesolo [3];
16 float arrayphsolo [3];
```

```
17 float arrayluminosidade [3];
18
19 float mediaumidadesolo = 0.0;
20 float mediaumidadear = 0.0;
21 float mediateperaturasolo = 0.0;
22 float mediateperaturaar = 0.0;
23 float mediacondutividadesolo = 0.0;
24 float mediaphsolo = 0.0;
25 float medialuminosidade = 0.0;
26
27 float umidadesolodisplay = 0.0;
28 float umidadesolodisplay = 0.0;
29 float umidadeardisplay = 0.0;
30 float temperaturasolodisplay = 0.0;
31 float temperaturaardisplay = 0.0;
32 float condutividadesolodisplay = 0.0;
33 float phsolodisplay = 0.0;
34 float luminosidadedisplay = 0.0;
```

Código A.43 – Verificando se o Wi-Fi está conectado

```
1
2 if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
3     // Realiza as operações
4 }
```

Código A.44 – Criando variáveis para contar o tempo de atualização do display e da leitura dos sensores

```
1
2     unsigned long tempoAtualDisplay = millis();
3     unsigned long tempoAtualSensores = millis();
```

Código A.45 – Verificando a data e a hora do módulo RTC

```
1
2 DateTime now = rtc.now();
```

Código A.46 – Código para verificar se está no horário de realizar as medições

```
1
2 if ((now.hour() == 0 || now.hour() == 6 ||
3 now.hour() == 12 || now.hour() == 18) && now.minute()
4 \% 5 == 0 && now.minute() / 5 == currentStep) {
5
6 }
```

Código A.47 – Código para realizar as medições

```
1
2 SensorSolo();
3 arrayumidadesolo[currentStep] = umidadesolo;
4 arrayumidadear[currentStep] = dht.readHumidity();
5 arraytemperaturasolo[currentStep] = temperaturasolo;
6 arraytemperaturaar[currentStep] = dht.readTemperature();
7 arraycondutividadesolo[currentStep] = condutividadesolo;
8 arrayphsolo[currentStep] = phsolo;
9 arrayluminosidade[currentStep] = analogRead(34);
```

Código A.48 – Código para calcular a média das medições

```
1
2 mediaumidadesolo = (arrayumidadesolo[0] +
3 arrayumidadesolo[1] + arrayumidadesolo[2]) / 3
4
5 mediaumidadear = (arrayumidadear[0] + arrayumidadear[1]
6 + arrayumidadear[2]) / 3;
7
8 mediatemperasolo = (arraytemperaturasolo[0] +
9 arraytemperaturasolo[1] + arraytemperaturasolo[2]) / 3;
10
11 mediatemperaar = (arraytemperaturaar[0] +
12 arraytemperaturaar[1] + arraytemperaturaar[2]) / 3;
13
14 mediacondutividadesolo = (arraycondutividadesolo[0] +
15 arraycondutividadesolo[1] + arraycondutividadesolo[2]) / 3;
16
```

```
17 mediaphsolo = (arrayphsolo[0] + arrayphsolo[1] +
18 arrayphsolo[2]) / 3;
19
20 medialuminosidade = (((arrayluminosidade[0] +
21 arrayluminosidade[1] + arrayluminosidade[2]) / 3)
22 / 4095) * 100;
```

Código A.49 – Código para salvar dados no cartão MicroSD mostrar no display e enviar para o Firebase

```
1
2 Firebase.pushFloat("/umidadesolo/valor", mediaumidadesolo);
3 Firebase.pushString("/umidadesolo/datahora",
4 DataHoraUmidadeSolo);
5
6 Firebase.pushFloat("/umidadear/valor", mediaumidadear);
7 Firebase.pushString("/umidadear/datahora",
8 DataHoraUmidadeAr);
9
10 Firebase.pushFloat("/temperaturasolo/valor",
11 mediateperaturasolo);
12 Firebase.pushString("/temperaturasolo/datahora",
13 DataHoraTemperaturaSolo);
14
15 Firebase.pushFloat("/temperaturaar/valor",
16 mediateperaturaar);
17 Firebase.pushString("/temperaturaar/datahora",
18 DataHoraTemperaturaAr);
19
20 Firebase.pushFloat("/condutividadesolo/valor",
21 mediacondutividadesolo);
22 Firebase.pushString("/condutividadesolo/datahora",
23 DataHoraCondutividadeSolo);
24
25 Firebase.pushFloat("/phsolo/valor", mediaphsolo);
26 Firebase.pushString("/phsolo/datahora",
27 DataHoraPhSolo);
28
29 Firebase.pushFloat("/luminosidade/valor",
```

```
30 medialuminosidade);
31 Firebase.pushString("/luminosidade/datahora",
32 DataHoraLuminosidade);
33
34 SalvarNoSD(dataHora, mediaumidadesolo, mediaumidadear,
35 mediatemperaturasolo, mediatemperaturaar,
36 mediacondutividadesolo, mediaphsolo, medialuminosidade);
37
38 ExibirNoDisplay(now, mediaumidadesolo, mediaumidadear,
39 mediatemperaturasolo, mediatemperaturaar,
40 mediacondutividadesolo, mediaphsolo, medialuminosidade);
```