



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

NADISON FRANCISCO DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE BAIXO CUSTO
PARA AGRICULTORES DO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

CARAÚBAS/RN

2021

NADISON FRANCISCO DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE BAIXO CUSTO
PARA AGRICULTORES DO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: D.Sc. Francisco de Assis Brito Filho

CARAÚBAS/RN

2021

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S586d Silva, Nadison Francisco.
Desenvolvimento de uma estação meteorológica de
baixo custo para agricultores do semiárido
Nordestino / Nadison Francisco Silva. - 2021.
60 f. : il.

Orientador: Francisco de Assis Brito Filho.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de --Selecione um
Curso ou Programa--, 2021.

1. Deficit Hídrico. 2. Escassez de chuvas. 3.
Internet das Coisas. 4. Agricultura Inteligente.
5. Monitoramento do Clima. I. Filho, Francisco de
Assis Brito, orient. II. Título.

NADISON FRANCISCO DA SILVA

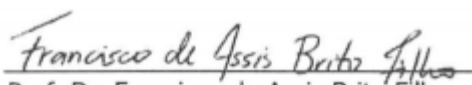
**DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE BAIXO CUSTO
PARA AGRICULTORES DO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

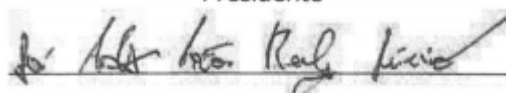
Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: D.Sc. Francisco de Assis Brito Filho

Defendida em:

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Francisco de Assis Brito Filho
Presidente


Prof. Me. José Ailton L. Barboza Junior
Membro

FRANCISCO AÉCIO DE LIMA
PEREIRA:03009562403

Assinado de forma digital por
FRANCISCO AÉCIO DE LIMA
PEREIRA:03009562403
Dados: 2021.06.06 22:55:27 -03'00'

Prof. Dr. Francisco Aécio de Lima Pereira
Membro


Profa. Dra. Edna Lucia da Rocha Linhares
Membro

CARAÚBAS/RN

2021

*A meu pai, Nailton Francisco
e a minha mãe, Dominga Sebastiana.
As duas pessoas que mais admiro, respeito e amo.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço as pessoas mais importantes da minha vida, meu pai Nailton Francisco e minha mãe Dominga Sebastiana, pelo amor e ensinamentos a mim dedicados.

Aos meus familiares pelos momentos de solidariedade durante as situações difíceis.

Aos meus amigos e meu irmão Nilson Francisco que me incentivou e me ajudou em vários momentos importantes.

Ao meu amigo Daniel Santos que me ajudou e contribuiu muito no desenvolvimento desse trabalho.

Aos meus companheiros do LIEB (Laboratório de Pesquisas em Instrumentação e Engenharia Biomédica) e LAMERF (Laboratório de Pesquisas em Microeletrônica e Radio-frequências) que considero minha segunda família.

Ao meu orientador, Brito Filho, por ter depositado confiança e pela oportunidade de realizar este trabalho.

RESUMO

O semiárido Nordestino brasileiro tem um deficit hídrico desafiador, para quem vive da agricultura e da criação de animais na região. Assim, este trabalho tem como objetivo desenvolver e validar uma estação meteorológica compacta de baixo custo, utilizando o conceito de internet das coisas (IoT), para agricultores e produtores rurais do semiárido Nordestino. De modo, a possibilitar o monitoramento das condições climáticas na lavoura, de qualquer lugar do mundo, a qualquer momento, a partir de qualquer dispositivo que se conecte a internet, descartando a necessidade de ir até o local para fazer a retirada de dados. Desta forma, auxiliar os produtores na tomada de decisão de qual cultura cultivar, quando adubar a terra, plantar, irrigar, aplicar defensivos e colher. Assim, contribuindo para o aumento da produtividade e minimização de perdas, melhorando a utilização dos recursos hídricos e energéticos. Já que, as variáveis atmosféricas medidas influenciam diretamente na produtividade da plantação. O protótipo da estação meteorológica foi calibrado e testado em campo, onde comprovou-se a sua precisão, bem como, o seu baixo custo e durabilidade.

Palavras-chave: Deficit Hídrico. Escassez de chuvas. Internet das Coisas. Monitoramento do Clima. Agricultura Inteligente.

ABSTRACT

The semi-arid northeast of Brazil has a challenging water deficit for those who live off agriculture and animal husbandry in the region. Thus, this work aims to develop and validate a compact, low-cost meteorological station, using the concept of the internet of things (IoT), for farmers and rural producers in the semiarid region of the Northeast. In order to make it possible to monitor the climate conditions in the crop, from anywhere in the world, at any time, from any device that connects to the Internet, eliminating the need to go to the location to collect data. In this way, assisting producers in making the decision on which crop to cultivate, when to fertilize the land, plant, irrigate, apply pesticides and harvest. Thus, contributing to increased productivity and minimization of losses, improving the use of water and energy resources. Since, the measured atmospheric variables directly influence the plantation productivity. The meteorological station prototype was calibrated and field tested, where its accuracy, as well as its low cost and durability were proven.

Keywords: Water Deficit. Shortage of rain. Internet of Things. Climate Monitoring. Smart Agriculture.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Partes e funcionamento do pluviômetro automático.	21
Figura 2 – Pluviômetro automático:	22
Figura 3 – ESP32 com antena externa.	25
Figura 4 – IDE Arduino.	27
Figura 5 – Sensor de temperatura e umidade DHT22.....	28
Figura 6 – Sensor de pressão barométrica absoluta BMP280.	29
Figura 7 – Sensor de luz ultravioleta (UV) ML8511.....	30
Figura 8 – Sensor de luminosidade TSL2561.	31
Figura 9 – Sensor óptico reflexivo TCRT5000.	32
Figura 10 – Sensor resistor variável conforme incidência de luz LDR.	33
Figura 11 – <i>Reed switch</i>	34
Figura 12 – Sensor de chuva.....	35
Figura 13 – Sensor de Unidade do Solo.	36
Figura 14 – O sensor de temperatura do solo DS18B20.	37
Figura 15 – Impressora 3D da Prusa.	39
Figura 16 – Temperaturas e precipitações médias em Caraúbas/RN durante o ano de 2019.	40
Figura 17 – Partes do equipamento:	41
Figura 18 – Sensor de velocidade e direção do vento.	42
Figura 19 – <i>Software</i> de fatiamento PrusaSlicer.	42
Figura 20 – Impressão 3D do equipamento.	43
Figura 21 – Projeto do circuito de aquisição e transmissão dos dados no KiCad:	43
Figura 22 – Circuito de aquisição e transmissão dos dados.	44
Figura 23 – Circuito de Alimentação.	44
Figura 24 – Montagem do equipamento:	45
Figura 25 – Montagem dos sensores:	45
Figura 26 – Montagem do sensor de velocidade e direção do vento.	46
Figura 27 – Montagem completa da estação meteorológica.	46
Figura 28 – Montagem completa da segunda estação meteorológica.	47
Figura 29 – Anemômetro digital da Minipa usado na calibragem do sensor de velocidade.	48
Figura 30 – Termômetro digital Penta III usado na calibragem dos sensores de temperatura.	48
Figura 31 – Fluxograma do programa.	49
Figura 32 – Plataforma Web.	50
Figura 33 – Detalhes do aplicativo para dispositivos moveis:	50
Figura 34 – Afastamento recomendado para instalação de uma estação meteorológica.....	51
Figura 35 – Instalação do equipamento em campo.	52
Figura 36 – Equipamento em ambiente controlado.	52

Figura 37 – Respostas da pesquisa.	56
Figura 38 – Envio de dados.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Grandezas lidas pelo equipamento.	51
Tabela 2 – Materiais utilizados na construção do protótipo.	54
Tabela 3 – Lista de materiais utilizados na construção do protótipo.	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/D	<i>Conversor Analógico-Digital</i>
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i>
CNC	<i>Comando Numérico Computadorizado</i>
D/A	<i>Conversor Digital-Analógico</i>
ECP	<i>Estação Climatológica Principal</i>
ECA	<i>Estação Climatológica Auxiliar</i>
EAG	<i>Estação Agroclimatológica</i>
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i>
GPU	<i>Unidade Central de Processamento.</i>
IBGE	<i>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística</i>
IDE	<i>Ambiente de Desenvolvimento Integrado</i>
IoT	<i>Internet das coisas</i>
LDR	<i>Sensor de Luminosidade Resistiva</i>
MQTT	<i>Message Queue Telemetry Transport</i>
PWM	<i>Modulação por Largura de Pulso</i>
RAM	<i>Memória de Acesso Randômico</i>
RN	<i>Rio Grande do Norte</i>
RTC	<i>Relógio de Tempo Real</i>
UFERSA	<i>Universidade Federal Rural do Semi-Árido</i>
ULP	<i>Ultra Low Power</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo geral	16
2.2	Objetivos específicos	16
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
3.1	Semiárido Nordeste Brasileiro	17
3.2	Internet das Coisas	18
3.3	Protocolo MQTT	18
3.4	Estação Meteorológica	19
3.4.1	Estações de superfície	20
3.4.2	Estação de ar superior	20
3.5	Pluviômetro	20
3.6	Variáveis meteorológicas	22
3.6.1	Temperatura	22
3.6.2	Umidade	22
3.6.3	Radiação	23
3.6.4	Insolação	23
3.6.5	Pressão atmosférica	23
3.6.6	Velocidade do vento	24
3.6.7	Direção do vento	24
3.6.8	Precipitação	24
3.7	ESP32	25
3.7.1	<i>Deep Sleep</i>	26
3.7.2	Armazenar dados na memória do ESP32	27
3.7.3	Programando o ESP32	27
3.8	Sensores	28
3.8.1	DHT22	28
3.8.2	BMP280	29
3.8.3	ML8511 UV	30
3.8.4	TSL2561	31
3.8.5	TCRT5000	32
3.8.6	LDR	33
3.8.7	<i>Reed Switch</i>	34
3.8.8	Sensor de Chuva	35
3.8.9	Sensor de Umidade do Solo	36
3.8.10	Sensor de Temperatura do Solo - DS18B20	36

3.9	Painel Solar	37
3.10	Baterias	38
3.11	Impressão 3D	38
3.12	KiCad	39
4	METODOLOGIA	40
4.1	Desenvolvimento da case do protótipo	41
4.2	Fabricação da case do protótipo	42
4.3	Desenvolvimento do circuito do protótipo	43
4.4	Fabricação do circuito do protótipo	44
4.5	Circuito de alimentação do protótipo	44
4.6	Montagem do protótipo	45
4.7	Calibração do protótipo	47
4.8	Plataforma Web e App.....	49
4.9	Instalação em campo	51
5	RESULTADOS	53
6	CONCLUSÕES.....	57
	REFERÊNCIAS.....	58

1 INTRODUÇÃO

O semiárido é uma região que se caracteriza por apresentar um volume de chuva média anual inferior a 800 mm, um índice de Aridez de Thornthwaite, que é a diferença entre a quantidade de chuva e a perda de água do sistema (evapotranspiração) inferior a 0,50 e um percentual diário de déficit hídrico superior a 60%, durante todos os dias do ano (IBGE, 2018). Logo, o semiárido Nordestino brasileiro tem um déficit hídrico desafiador, para quem vive da agricultura e da criação de animais na região. Esse problema tem sido combatido pelas famílias agricultoras e produtores rurais, através do armazenamento de água da chuva em tanques e/ou cisternas, perfuração de poços artesianos, dessalinizadores de água entre outros, que permite o acesso a água potável de qualidade, que serve tanto para o consumo humano e criação de animais, bem como, para uso na agricultura (ASA, 2019).

A Região Semiárida do Nordeste do Brasil apresenta como fator de destaque, o clima, responsável pela variação dos outros elementos que compõem a paisagem. Ao clima estão adaptados a vegetação e os processos de formação do relevo, com predomínio de um processo sobre outro e de acordo com a época do ano, período seco ou chuvoso; os solos são em geral, pouco desenvolvidos em função das condições de escassez das chuvas, tornando os processos químicos mitigados. Na Região Semiárida brasileira os rios são na maioria, intermitentes e condicionados ao período chuvoso, quando realmente se tornam rios superficiais, ao passo que no período seco parecem se extinguir e na realidade estão submersos nas aluviões dos vales, ou baixadas, compondo o lençol freático já com pouca reserva de água. O clima da região apresenta características específicas, que podem ser resumidas da seguinte forma: temperaturas altas, acima dos 20° C de médias anuais; precipitações escassas, entre 280 a 800 mm (Araújo, 2011).

Com a utilização de algumas técnicas e tecnologias o semiárido vem se transformando, fazendo com que a ocorrência de secas, não impacte tanto no agronegócio. Diante destas situações, é preciso investir cada vez mais em tecnologias baratas e eficientes, capazes de permitir o aumento da produtividade, utilizando cada vez menos recursos hídricos e energéticos, sendo possível ainda produzir mais nos mesmos espaços. Assim, garantindo a população dessa região o acesso não só a uma alimentação saudável, de qualidade e em quantidade suficiente, de modo, a se ter uma segurança alimentar e nutricional. Mas também, produzir e comercializar os produtos produzidos em suas propriedades (ASA, 2019).

Tecnologias e instrumentos para o monitoramento do microclima de uma região é de fundamental importância, uma vez, que é possível entender melhor as necessidades da lavoura a cada momento de desenvolvimento da plantação, de modo, a desenvolver uma agricultura bem mais inteligente, possibilitando gerenciar melhor os recursos hídricos e energéticos, aumentando a produtividade e minimizando perdas (ALVERENGA et al., 2016). Esse tipo de tecnologia é uma peça chave e tendência, não só para o desenvolvimento agrícola do semiárido Nordestino,

mas também para o restante do Brasil e mundo, já que as atividades agrícolas são extremamente dependentes do clima.

No mercado existem diversos tipos e modelos de estações meteorológicas, desde as convencionais as automáticas. No entanto, esse tipo de tecnologia apresenta um alto custo, sendo pouco utilizado por pequenos e médios agricultores. Uma alternativa para se ter equipamentos meteorológicos como uma estação meteorológica de baixo custo, é utilizar hardware mais barato e técnicas de fabricação mais simples.

Portanto, visando ajudar agricultores e produtores rurais do semiárido Nordeste, este projeto visa desenvolver uma estação meteorológica de baixo custo, utilizando o conceito de internet das coisas (IoT), que possibilite monitorar as condições climáticas na lavoura, de qualquer lugar do mundo, a qualquer momento, a partir de qualquer dispositivo que se conecte a internet, descartando a necessidade de ir até o local para fazer a retirada de dados.

Desta forma, possibilitando auxiliar os produtores na tomada de decisão de qual agricultura cultivar, quando adubar a terra, plantar, irrigar, aplicar defensivos e colher. Assim, contribuindo para o aumento da produção e minimização de perdas, melhorando a utilização dos recursos energéticos e hídricos. Pois, as variáveis atmosféricas medidas influenciam diretamente na produtividade da lavoura. O equipamento pode ainda ser utilizado em centros urbanos, e auxiliar no controle do abastecimento de água doméstico e industrial, ajudar de forma preventiva fornecendo informações e avisando a população de inundações, enchentes de rios e córregos, deslizamentos de terra, diminuindo os danos às pessoas e prejuízos financeiros, pois permite acompanhar em tempo real diversas variáveis climáticas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- Desenvolver e validar uma estação meteorológica automática de baixo custo, para auxiliar agricultores rurais do semiárido Nordeste.

2.2 Objetivos específicos

- Desenvolver e validar uma estação meteorológica de baixo custo, economicamente viável, que possibilite o acesso remoto as informações coletadas pelo equipamento de qualquer lugar a qualquer hora, a partir de qualquer dispositivo que se conecte a internet, para produtores e agricultores rurais;
- Contribuir para o desenvolvimento de uma agricultura mais inteligente e eficiente;
- Contribuir para um semiárido Nordeste mais produtivo e próspero;
- Auxiliar os agricultores e produtores rurais no aumento da produção e minimização de perdas, através do monitoramento do microclima da lavoura;
- Contribuir para o desenvolvimento e crescimento da IoT;
- Desenvolver e aprimorar habilidades e competências para o planejamento e execução de projetos;
- Contribuir com a cultura da inovação voltada para a sustentabilidade.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Semiárido Nordestino Brasileiro

Segundo o IBGE (2018), o semiárido brasileiro ocupa cerca de 12% do território nacional, o que equivale a 1,03 milhões de km², e abrange todos os estados do Nordeste e parte do norte de Minas Gerais, sendo que dessa área, a Região Nordeste abrange a grande maioria em torno de 89,5%.

O semiárido Nordestino brasileiro é uma região que se caracteriza por apresentar um baixo volume de chuva concentrada em poucos meses do ano, e distribuída de forma irregular e um alto déficit hídrico, além disso, há ainda a ocorrência das secas - um fenômeno natural e cíclico da região (ASA, 2019).

A agricultura desempenha papel dominante no semiárido nordestino, tendo como principais culturas o feijão caupi, o milho e a mandioca. E, para um desenvolvimento favorável com uma boa produtividade essas culturas exigem um índice pluviométrico em fases diferentes do seu cultivo. No entanto, os produtores enfrentam questões ambientais, deficiência logística, atraso tecnológico, falta de assistência técnica, entre outros. Com isso, se tem uma baixa produtividade na maioria das cadeias produtivas da agricultura do semiárido Nordestino (CASTRO, 2012).

De acordo, com Cavalcanti, Resende e Brito (2003), pesquisadores da Embrapa semiárido, dizem que, a agricultura praticada pela maioria dos pequenos produtores do semiárido Nordestino brasileiro tem como característica um baixo nível tecnológico, onde as práticas agrícolas tradicionais são as predominantes nos sistemas de cultivos.

Outras limitações frequentes da agricultura Nordestina refere-se a aspectos tecnológicos e consequentemente acesso à informação. A tecnologia empregada na produção regional, é, em muitos casos, defasada com relação àquela empregada em atividades congêneres desenvolvidas no restante do país, ou, pelo menos, naqueles lugares com melhores índices de produtividade para essas mesmas atividades. Isso resulta em produções abaixo do potencial produtivo (CAVALCANTI; RESENDE; BRITO, 2003).

Assim, o semiárido Nordestino acaba ficando de fora de novas tendências e tecnologias, como o uso de sistemas de automação, drones, *big data*, robótica e internet das coisas (IoT), que permite melhorar a produtividade da lavoura e economizar recursos hídricos e energéticos (BORRELLI, 2017). Com a implantação de algumas tecnologias na lavoura como uma estação meteorológica, por exemplo, é possível entender melhor as necessidades da plantação, obtendo assim todos os benefícios anteriormente citados.

3.2 Internet das Coisas

A Internet das Coisas (do inglês, *Internet of Things*, IoT), é fruto do avanço tecnológico em várias áreas, como sistemas embarcados, microeletrônica, comunicação e sensoriamento. E, tem recebido bastante atenção tanto do setor acadêmico como da indústria, pelo seu potencial de aplicações nas mais diversas áreas da atividade humana, pois permite conectar aparelhos eletrônicos do dia a dia, como aparelhos/equipamentos eletrodomésticos, máquinas industriais e meios de transporte à web, cujo desenvolvimento depende da inovação técnica dinâmica em campos tão importantes, como os sensores *wireless* e a nanotecnologia (ALVERENGA et. al., 2016).

No entanto, uma grande parcela da população mundial ainda não tem acesso à uma internet de qualidade. A empresa americana SpaceX está trabalhando em um projeto chamado Starlink, para solucionar este problema. O Starlink é o nome de um programa em andamento que foi idealizado em 2015, pelo empresário visionário e multibilionário Elon Musk, que é administrado por sua empresa aeroespacial SpaceX (OLHAR DIGITAL, 2020). O programa tem por objetivo formar uma grande constelação de milhares de satélites artificiais (de pelo menos 12 mil unidades), a uma baixa órbita terrestre (a uma altitude entre 340 e 1.200 km), afim de formar a espinha dorsal de uma rede global de internet de banda larga (SPACEX, 2021).

Para o desenvolvimento do projeto são usados satélites de baixo custo e alto desempenho, além, de transceptores terrestres de clientes, para implementação do novo sistema de comunicação baseado na internet (OLHAR DIGITAL, 2020). Assim, a plataforma em desenvolvimento oferecerá uma cobertura global de internet para todo o mundo, especialmente para as regiões que possuem fraca conectividade por banda larga, como lugares mais remotos e grandes plantações entre outros. Ao contrário dos serviços tradicionais de internet, que cobrem apenas regiões específicas (STARLINK, 2021).

Desse modo, será cada vez mais atraente o desenvolvimento e aplicação de tecnologias no campo, com o conceito de IoT, como aparelhos e equipamentos que auxiliem não só os grandes produtores rurais, mais também os pequenos e médios agricultores, de modo, a contribuir para o aumento da eficiência das lavouras.

3.3 Protocolo MQTT

O protocolo de comunicação MQTT (do inglês *Message Queuing Telemetry Transport*), permite a troca de informações entre máquinas, sendo um dos principais protocolos implementados na IoT, é uma tendência de aplicação na indústria e até no dia a dia das pessoas. O protocolo MQTT foi desenvolvido pelos engenheiros Andy Stanford-Clark e Arlen Nipper em 1999, para conectar sistemas de telemetria de oleodutos por satélite, e hoje, possui incontáveis aplicações. O protocolo permite o envio de mensagens e comandos entre os dispositivos que falam MQTT por meio de TCP/IP. O MQTT aprova apenas de dados solicitados, melhorando a performance

com baixa largura de banda, não sobrecarregando o sistema de internet e dispositivo e, assim, melhora a comunicação entre vários dispositivos (FERNANDES, 2021).

O envio/publicação e o recebimento dos dados são feitos por meio de um servidor chamado de *Broker*. O cliente que exerce a função de Publicador ou *Publisher*, ou seja, aquele que transmite a mensagem (*Payload*), para o *Broker*, que ficará responsável por gerenciar e encaminhá-lo, assim que for solicitado por um cliente (*Client*). Assinantes ou *Subscriber* que já se inscreveram no tópico. Da mesma forma, quando um cliente deseja se tornar assinante de um determinado tópico, ele encaminha a mensagem de solicitação ao *Broker*, que estabelecerá essa conexão entre o cliente e o tópico (FERNANDES, 2021). Os elementos que forma o protocolo MQTT e mostrado a seguir:

- Publicador/ *Publisher*: Quem envia os dados para um tópico, emissor;
- Mensagem: Pacote de dados trocados entre Clientes e *Broker*;
- *Payload*: Conteúdo da mensagem enviada;
- *Broker*: Intermédio de comunicação entre Publicador e Subscrito, responsável por receber, enfileirar e enviar as mensagens;
- Tópico: Endereço para o qual os dados serão encaminhados;
- Subscrito/ *Subscriber*: Pessoa que está inscrita no tópico e recebe os dados, receptor;
- Cliente/*Client*: Elemento capaz de interagir com o *Broker*, seja para enviar, receber ou os dois;
- *Unsubscribe*: Deixar de assinar um tópico.

3.4 Estação Meteorológica

A meteorologia é a ciência que estuda os fenômenos atmosféricos, e está ligado ao estado físico, dinâmico e químico da atmosfera, as interações entre elas e a superfície terrestre subjacente. Logo, as estações meteorológicas são equipamentos compostos por diversos sensores, usados para obter, quantificar/medir e caracterizar o estado instantâneo da atmosfera (INMET, 2021).

As estações meteorológicas podem ser classificadas como: Estações de superfície e estações de ar superior. Podendo ainda serem estações manuais, quando os ensaios são realizados por seres humanos e automáticas, quando todos os dados são obtidos por equipamentos que não necessitem da intervenção humana. As estações meteorológicas automáticas podem inclusive transmitir e armazenar os dados automaticamente, agilizando e diminuindo a probabilidade de erros em todo o processo (SILVA; CHAVES; LIMA, 2009).

3.4.1 Estações de superfície

As estações meteorológicas de superfície são equipamentos que fica instalado em um local fixo no solo, para a avaliação de um ou de diversos elementos meteorológicos em um determinado momento da observação, e que podem ser classificadas, como:

- Estação Climatológica Principal (ECP):

Essas estações realizam observações climatológicas e sinóticas pelo menos três vezes ao dia, além de realizar leituras/registros contínuo de dados.

- Estação Climatológica Auxiliar (ECA):

Essas estações realizam observações, pelo menos uma vez ao dia, das temperaturas extremas e da precipitação, sendo possível ainda observar alguns elementos das estações principais.

- Estação Agroclimatológica (EAG):

São estações que fornece dados meteorológicos e biológicos com a finalidade de estabelecer relações entre o clima e a vida das plantas e dos animais.

3.4.2 Estação de ar superior

As estações de altitude superior são projetadas para processar observações de dados meteorológicos referente aos níveis, desde a superfície até a atmosfera terrestre. Essas observações juntamente com observação de estações de superfície fornecem uma imagem tridimensional da estrutura atmosférica. Esses dados atmosféricos em maiores altitudes são essenciais para a previsão do tempo, verificação das massas de ar, medição da poluição do ar, segurança e eficiência das operações de aeronaves (aviões, jatos, foguetes entre outros) e exploração espacial (SILVA; CHAVES; LIMA, 2009).

Esse tipo de estação envolve o lançamento de um balão de látex cheio de hélio ou hidrogênio, que é conectado a um transmissor de rádio composto por vários sensores. À medida que o balão sobe, o transmissor envia sinais dos sensores aerotransportados para a estação receptora em terra, que recebe os dados para serem tratados (SILVA; CHAVES; LIMA, 2009).

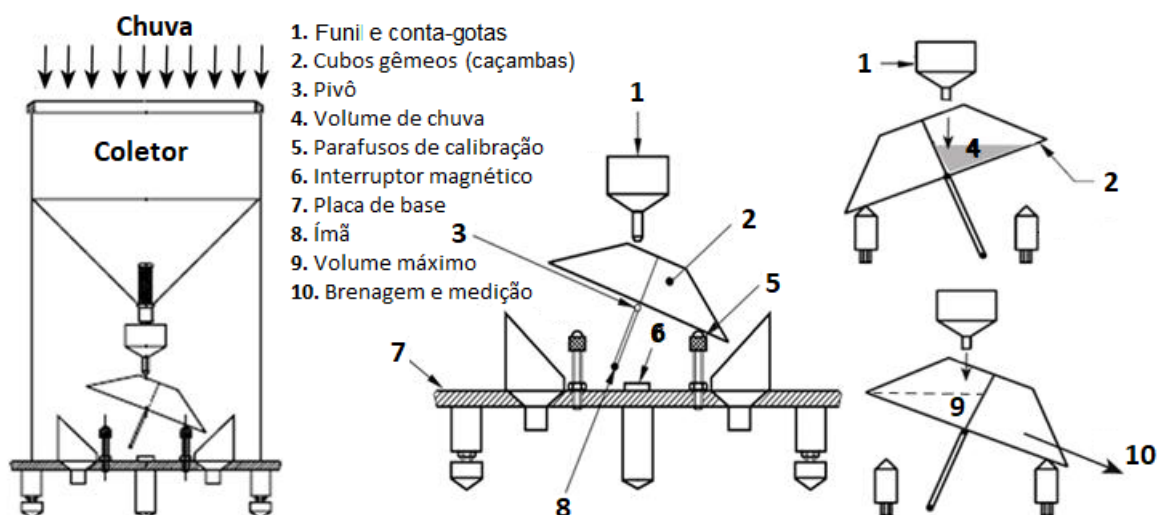
3.5 Pluviômetro

O pluviômetro é um instrumento meteorológico usado para recolher e medir, em milímetros lineares, a quantidade de líquidos ou sólidos (chuva, neve ou granizo) precipitados durante um determinado tempo e local.

Existem vários tipos e modelos de pluviômetros, como o pluviômetro de balança (*tipping bucket*), que se diferencia dos demais modelos, por apresentar um bom custo benefício, além

de descartar a necessidade de se ir até o local para realizar a coleta dos dados e esvaziar o reservatório/medidor, após uma precipitação (KÜCHLER et al., 2010). O equipamento é composto por uma série de partes fixas e móveis, como mostrado na figura 1.

Figura 1 – Partes e funcionamento do pluviômetro automático.



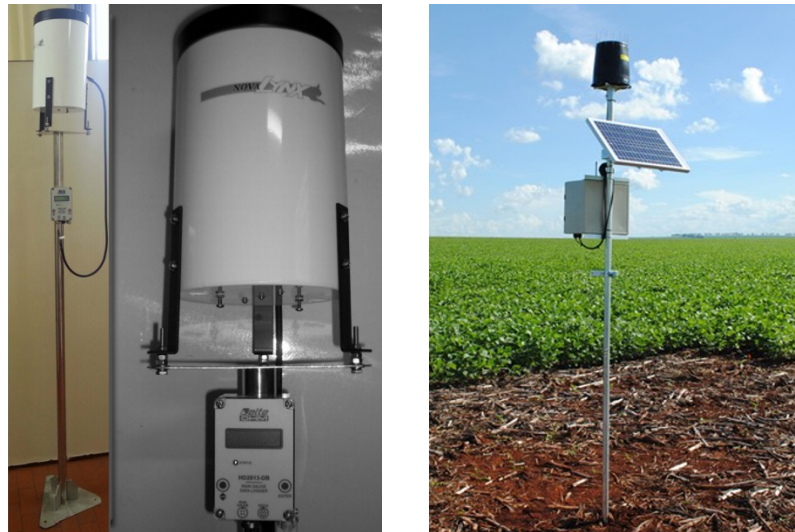
Fonte: Adaptado de Méndez et al. (2013).

Como ilustrado na figura 1, a água da chuva é coletada pela área de captação do coletor, que em seguida guia a água por um “conta-gotas” que controla o fluxo de água que cai em uma caçamba dividida em dois compartimentos, em um sistema de gangorra, onde cada vez que o nível é completado, a caçamba gira, descarrega a água, e é feita uma contagem por meio de um sensor eletrônico, que é acionado a cada movimento da balança gerando um pulso, que representa o volume de água precipitada que pode variar de 0,2 a 1,0 mm dependendo do modelo do pluviômetro (AGSOLVE, 2017). Como a área do coletor e o volume de chuva que faz a balança girar (normalmente 0,25 mm) são conhecidas, e uma vez que é registrada a contagem de giros, pode-se calcular o volume de água precipitado (FISCH; VENDRAME; HANAOKA, 2007).

O pluviômetro automático conta com um coletor para captação da chuva, uma base com o sistema basculante, uma haste de suporte com 1,5 m, um *datalogger* que coleta e armazena, os dados obtidos pelo sensor, bem como a visualização do volume de chuvas, passado e atual pelo *display* (figura 2a). Alguns modelos ainda contam com um painel solar para alimentação e um transmissor, que envia os dados diariamente para um servidor (figura 2b). Nestes casos, o pluviômetro tem um alto custo, sendo utilizado apenas por algumas instituições, como centros de pesquisa para o monitoramento climático e em grandes fazendas com uma grande extensão territorial.

Figura 2 – Pluviômetro automático:

- (a) Pluviômetro automático com *data logger* e *display*; (b) Pluviômetro automático com transmissor e painel solar.



Fonte: Alverenga (2016).

3.6 Variáveis meteorológicas

Na meteorologia existem várias variáveis físicas que influenciam diretamente no comportamento termodinâmico da atmosfera, como:

3.6.1 Temperatura

A temperatura é uma grandeza física que mede a energia cinética média cedida entre corpos em um sistema. O instrumento responsável por medir e quantificar a temperatura é chamado de termômetro. O termômetro utiliza as propriedades térmicas de diferentes substâncias e as indicam de modo diversos. O termômetro também se distingue conforme sua construção, aplicação, precisão entre outros. As unidades de medida da temperatura são dadas nas escalas de Kelvin (K), Fahrenheit (F) e Celsius (°C) padrão no Brasil. A temperatura em graus Celsius é baseada na temperatura de fusão da água a 0 °C e ebulição a 100 °C, no nível do mar (SILVA; CHAVES; LIMA, 2009).

3.6.2 Umidade

A umidade é a grandeza física que mede a quantidade de vapor de água na atmosfera. Fisicamente, a umidade do ar ou relativa é a razão da quantidade de vapor de água presente numa porção da atmosfera, sendo inversamente proporcional à temperatura do ar. O acompanhamento da quantidade de umidade existente é de grande importância meteorológica, devido às características termodinâmicas do vapor de água. Para a quantificação da umidade associadas ao vapor de água na superfície, são empregadas as seguintes unidades de medida:

- Tensão do vapor em hPa;
- Temperatura do ponto de orvalho em graus Celsius (°C);
- Umidade relativa em percentagem (%).

O instrumento responsável por quantificar a umidade do ar, é chamado de higrômetros. Seus equivalentes registradores são os higrógrafos e psicrômetros (SILVA; CHAVES; LIMA, 2009).

3.6.3 Radiação

O radiante ou radiação é a energia enviada pelo sol no espaço. Logo, a radiação solar é a energia proveniente do sol, que chega a terra em forma de ondas eletromagnéticas. Existem diversos instrumentos desenvolvidos para medir e quantificar a radiação solar, como o piranógrafo ou actinógrafo e o piranômetro.

A radiação é quantificada em calorias por centímetro quadrado de superfície por minuto ($cal.cm^{-2}.min^{-1}$) ou em ($watt.m^{-2}$) de superfície. Uma caloria é a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de um grama de água pura de 14,5 °C a 15,5 °C, onde, $1 cal.cm^{-2}.min^{-1} = 797,3 Wm^{-2}$ (SILVA; CHAVES; LIMA, 2009).

3.6.4 Insolação

A insolação quantifica o número de horas de brilho solar livre de quaisquer nuvens capazes de interrompê-lo. A sua observação é de extrema importância principalmente para à agricultura, contribuindo de forma significativa na previsão do tempo/clima.

O instrumento responsável por quantificar a insolação é o heliógrafo do tipo Stokes-Campbell. O equipamento é composto por uma esfera de vidro perfeita, suspensa em um sólido suporte semicircular, tendo por baixo uma armação metálica em forma de concha, em cuja face interna existem vãos formados por seis ranhuras independentes e concêntricas com a esfera. Os raios solares focalizados convergem, através do vidro, sobre uma tira de cartolina (heliograma), conforme a época do ano, de modo que os raios do sol vão queimando progressivamente a cartolina, desde que não haja nuvens capazes de interceptar os raios solares (SILVA; CHAVES; LIMA, 2009).

3.6.5 Pressão atmosférica

A atmosfera do planeta exerce uma pressão permanente sobre o solo devido ao peso dos gases que a compõem. A pressão atmosférica é quantificada pelo comprimento de uma coluna de mercúrio necessária para equilibrar a pressão atmosférica, em milímetro de mercúrio (mmHg), milibar (mB) ou hectopascal (hPa). A unidade de pressão, em termos de comprimento de coluna de mercúrio, sob gravidade normal e a 0 °C, a altura h vale 760 mm, de modo que

o valor 760 mmHg é adotado como uma referência padrão. Modernamente, foi adotada uma unidade internacional de pressão atmosférica, o hectopascal (hPa), para facilitar a representação sinóptica. A relação de equivalência com o milímetro de mercúrio é de $1 \text{ hPa} = 0,75 \text{ mmHg}$ (SILVA; CHAVES; LIMA, 2009).

Os instrumentos usados para a medição da pressão atmosférica são o barômetro de mercúrio, o barômetro aneróide e o barógrafo aneróide.

3.6.6 Velocidade do vento

O vento é o movimento horizontal do ar em relação à superfície terrestre, que é gerado pela ação de gradientes de pressão atmosférica, radiação solar, mas sofre influências modificadoras do movimento de rotação da terra, da força centrífuga ao seu movimento e do atrito com a superfície terrestre (SILVA; CHAVES; LIMA, 2009).

A velocidade e/ou sua intensidade pode ser medida em quilômetros por hora (km/h), em metros por segundo (m/s), e também em nós. O equipamento responsável por quantificar a intensidade do vento, é o anemômetro que se assemelha um cata-vento. Onde, a força do vento impulsiona as conchas do equipamento, fazendo com que o eixo gire, assim quanto mais voltas ele der, maior será a intensidade do vento.

3.6.7 Direção do vento

A direção do vento se define como sendo o sentido em que o vento flui. Sendo quantificada em graus, contados no sentido dos ponteiros do relógio a partir do Norte geográfico, e aplicando-se a teoria da rosa dos ventos.

A direção do vento é medida por um conjunto haste-aletas. Outro instrumento que também é usado para indicar a direção do vento e sua velocidade é a biruta, o mesmo é formado por uma manga que gira livremente no eixo e quando o vento fica mais forte, ele faz com que o eixo gire e a biruta fique mais em "pé". O equipamento não é só utilizado na meteorologia, mas também em aeromodelismo e aeroportos, orientando os pilotos na hora da decolagem e aterrissagem (SILVA; CHAVES; LIMA, 2009).

3.6.8 Precipitação

A precipitação é o processo pelo qual a água condensada na atmosfera atinge a superfície da terra sob a ação da gravidade. A precipitação pode ocorrer na forma de chuva, granizo ou neve. A precipitação pode ser dividida em: precipitação topográfica, precipitação convectiva ou precipitação frontal.

O equipamento responsável por quantificar a precipitação é o pluviômetro. Ele consiste em determinar a espessura da camada de água líquida que se deposita sobre a superfície horizontal.

Onde, a precipitação de 1 mm corresponde à altura de 1 L de água numa área de 1 m^2 (HAMES; CACILHAS; GONÇALVES, 2009).

3.7 ESP32

O módulo ESP32 é uma placa de desenvolvimento de baixo consumo e baixo custo, de uma série de chips (SoC), criado pela Espressif Systems, que possui uma interface USB-serial e regulador de tensão 3,3 V. O mesmo possui um diferencial em conter *Wi-Fi*, *Bluetooth*, *Bluetooth Low Energy* (BLE) genérico, que pode ser utilizado em várias aplicações, desde redes de sensores de baixa potência até as tarefas mais exigentes, como codificação de voz, *streaming* de música e decodificação de MP3 (ESPRESSIF, 2021). Existem inúmeros modelos e versões do módulo ESP32 no mercado, com diferentes configurações e destinadas as mais diversas aplicações, no entanto, para o desenvolvimento do presente trabalho foi usado a placa módulo ESP32-WROOM-32U, que possui uma antena externa, como mostrado na figura 3.

Figura 3 – ESP32 com antena externa.



Fonte: Autoria própria.

A integração do *Bluetooth* e *Wi-Fi* garante uma maior versabilidade do módulo, assim como, o uso do *Wi-Fi* é possível alcançar um grande espaço físico e realizar conexão direta com a internet através de um roteador *Wi-Fi*, enquanto com o *Bluetooth* é possível que o usuário se conecte convenientemente ao telefone e/ou transmita pacote de dados de baixa energia para sua detecção. A corrente de repouso do *chip* ESP32 é inferior a $5\text{ }\mu\text{A}$, tornando-o adequado para aplicações eletrônicas portáteis alimentado por bateria.

O módulo suporta uma taxa de dados de até 150 Mbps e 20 dBm de potência de saída na antena, para garantir um maior alcance físico. Como tal, o módulo oferece especificações líderes da indústria e o melhor desempenho para integração eletrônica, alcance, consumo de energia, e conectividade (ESPRESSIF, 2021). O *chip* ESP32 vem com 48 pinos com várias funções. Nem

todos os pinos estão expostos em todas as placas de desenvolvimento do ESP32, e existem alguns que não podem ser usados. O ESP32 integra um rico conjunto de periféricos, que incluem:

- 18 canais ADC;
- 3 interfaces SPI;
- 3 interfaces UART;
- 2 interfaces I2C;
- 16 canais de saída PWM;
- 2 canais DAC;
- 2 interfaces I2S;
- 10 GPIOs com detecção capacitiva.

3.7.1 *Deep Sleep*

O *deep Sleep* é um modo de economia de energia do ESP32, que permite às CPUs, a maior parte da RAM e todos os periféricos digitais com *clock* serem desligados. As únicas partes do chip que permanece ligadas é o controlador RTC, periféricos RTC (incluindo o coprocessador ULP) e memórias RTC. Dessa forma o módulo fica "adormecido", até ser "despertado" por meio de uma das cinco maneiras de despertar, como mostrado a seguir:

- *Timer*;
- External *wakeup* (ext0);
- External *wakeup* (ext1);
- ULP coprocessor *wakeup*;
- *Touchpad*.

O processador do módulo ESP32 não gasta muita energia, mas, o rádio, sim. A economia de energia é algo de extrema relevância, principalmente quando se trabalha com *endpoints*, que são os circuitos que ficam enviando informação periodicamente, e são alimentados por baterias e precisam durar até cinco anos. Alguns fabricantes prometem até dez anos de duração, isso é válido quando a bateria é de boa qualidade e o *endpoint* trabalha pouco. Logo, o *Deep Sleep* é uma ótima saída para economizar energia e prolongar a duração da bateria que alimenta o circuito que contém o ESP32.

3.7.2 Armazenar dados na memória do ESP32

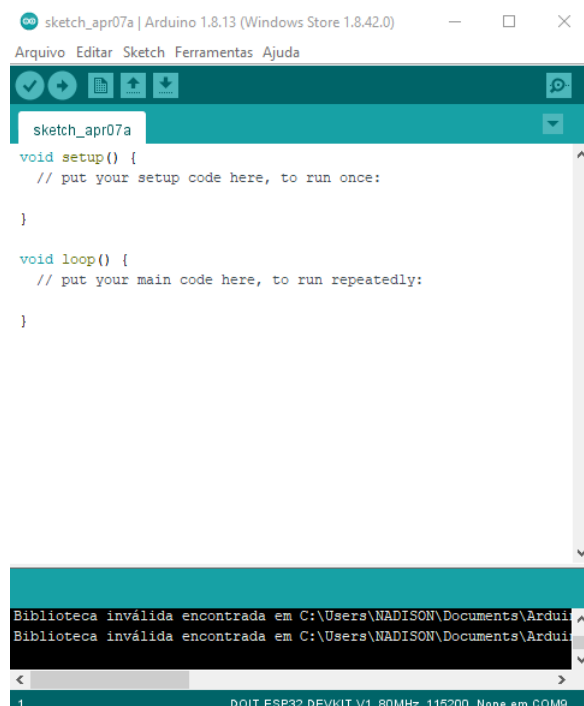
O módulo ESP32 conta com duas formas de armazenar dados na memória interna, dele o SPIFFS e a EEPROM, que permite a leitura dos dados escritos a qualquer momento e caso o sistema venha a reiniciar, uma queda de energia ou algo do tipo, as informações se manterão intactas. Além de significar um *hardware* a menos, e mais pinos livres, por não precisar usar um *SD Card*, por exemplo.

- O SPIFFS (do inglês, *SPI Flash File System*), ou seja, Sistemas de Arquivos, faz uso de uma parte da memória *Flash*, que fica livre para o próprio programa gravar e acessar arquivos.
- A EEPROM é um tipo de memória não volátil presente na maioria dos sistemas e micro-controladores, mas tem um limite relativamente pequeno de gravações, para guardar dados (em Bytes) que precisam ser armazenados e lidos após uma reinicialização, por exemplo.

3.7.3 Programando o ESP32

Para a programação do ESP32 é possível usar diversas linguagens, como Python, LUA, C/C++ entre outras. No entanto, o mais comum é usar a IDE Arduino, pela sua simplicidade e inúmeras bibliotecas. A IDE (do inglês, *Integrated Development Environment*, ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado) do arduino, como mostrado na figura 4, é uma plataforma de prototipagem eletrônica de *hardware* livre, com uma linguagem de programação padrão C/C++.

Figura 4 – IDE Arduino.



Fonte: Autoria própria.

Assim, com a IDE Arduino é possível usar as funções e bibliotecas já existentes e familiares do Arduino e executar diretamente no ESP32. Para isso basta instalar a biblioteca responsável por fazer a comunicação da IDE com o módulo. Desse modo, é possível desenvolver protótipos e ferramentas com o módulo de forma acessível e com um baixo custo.

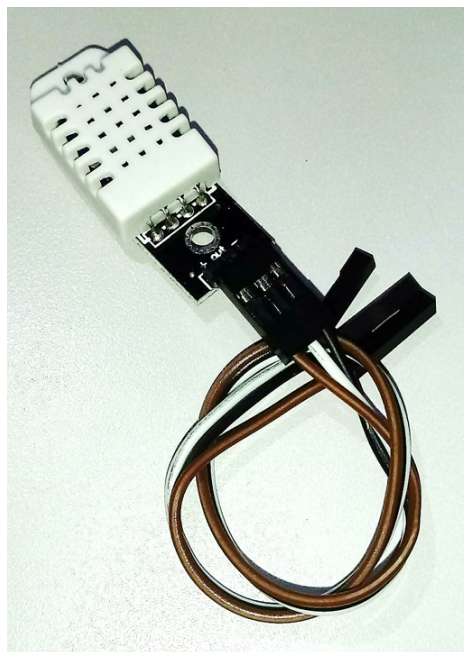
3.8 Sensores

Os sensores são dispositivos que quando expostos a um determinado estímulo físico ou químico, emitem um sinal que pode ser transformado em outra grandeza física para fins de medição e/ou monitoramento. Assim, os sensores convertem uma grandeza em outra, podendo relacioná-las. Abaixo são apresentados os sensores utilizados no equipamento desenvolvido neste trabalho.

3.8.1 DHT22

O DHT22 (AM2302) é um sensor de temperatura e umidade, que permite fazer leituras de temperaturas entre -40 a +80 °C e umidade entre 0 a 100%, sendo muito fácil de usar com Arduino, ESP32, Raspberry e outros microcontroladores. A figura 5 mostra o sensor DHT22.

Figura 5 – Sensor de temperatura e umidade DHT22.



Fonte: Autoria própria.

Ele utiliza técnica exclusiva de coleta de sinal digital, garantindo sua confiabilidade e estabilidade. Seus elementos de detecção são conectados com chip único de 8 bits. Cada sensor deste modelo é compensado por temperatura e calibrado em câmara de calibração precisa e o coeficiente de calibração é salvo na memória OTP do mesmo (AOSONG ELECTRONICS, 2021).

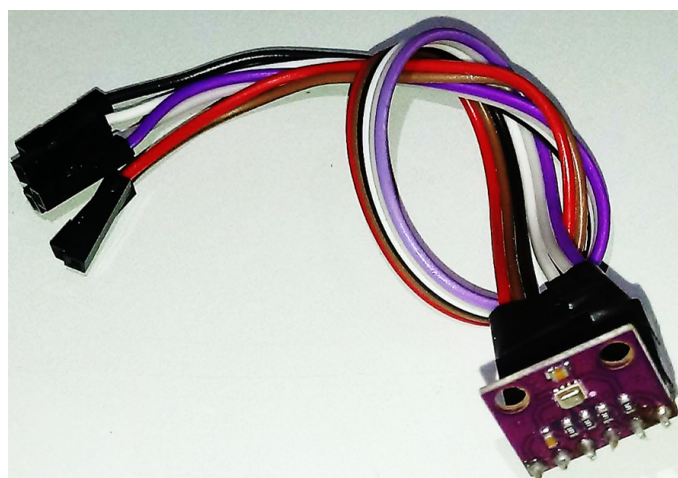
O sensor apresenta as seguintes especificações:

- Modelo: AM2302;
- Tensão de operação: 3-5 V (5,5 V máximo);
- Faixa de medição de umidade: 0 a 100% UR;
- Faixa de medição de temperatura: -40 °C a +80 °C;
- Corrente: 2,5 mA máxima durante uso, em *stand by* de 100 uA a 150 uA;
- Precisão de umidade de medição: $\pm 2,0\%$ UR;
- Precisão de medição de temperatura: $\pm 0,5$ °C;
- Tempo de resposta: 2 s.

3.8.2 BMP280

O BMP280 é um sensor de pressão barométrica absoluta. O sensor BMP280 é o sucessor do BMP180, com ganhos em termos de precisão e consumo de energia, além de ter um tamanho 63% menor, tornando-se especialmente viável para aplicações em dispositivos móveis e portáteis. Suas pequenas dimensões e seu baixo consumo de energia permitem a implementação em dispositivos alimentados por bateria, como telefones celulares, módulos GPS, relógios entre outros. O BMP280 é baseado na comprovada tecnologia de sensor de pressão piezo-resistiva da Bosch com alta precisão e linearidade, bem como, estabilidade de longo prazo e alta robustez EMC (BOSCH, 2020). A figura 6 mostra o sensor BMP280.

Figura 6 – Sensor de pressão barométrica absoluta BMP280.



Fonte: Autoria própria.

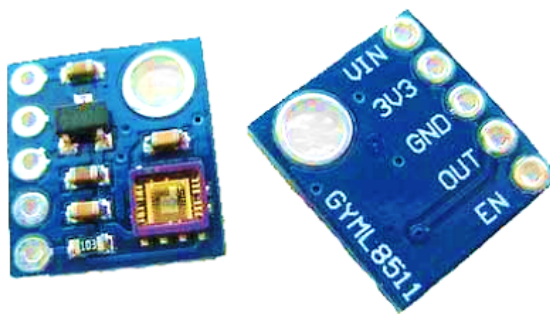
O sensor apresenta as seguintes especificações:

- Modelo: BMP280;
- Tensão de operação: 3,3 V;
- Consumo de corrente: 2.7 μ A;
- Interfaces: I2C e SPI;
- Faixa de medição pressão: 300–1100 hPa;
- Precisão: ± 0.12 hPa (equiv. ± 1 m);
- Faixa de temperatura: -40 à 85 °C;
- Precisão temperatura: ± 1.0 °C.

3.8.3 ML8511 UV

O ML8511 é um sensor de luz ultravioleta (UV), adequado para medir a intensidade de UV em ambientes internos ou externos. O ML8511 é equipado com um amplificador interno, que converte a fotocorrente em voltagem dependendo da intensidade de UV. Esse recurso exclusivo oferece uma interface fácil para circuitos externos, como ADC. No modo de desligamento, típico a corrente de espera é de 0,1 μ A, permitindo assim uma vida útil mais longa da bateria (LAPIS, 2013). A figura 7 mostra o sensor ML8511.

Figura 7 – Sensor de luz ultravioleta (UV) ML8511.



Fonte: Autoria própria.

O sensor apresenta as seguintes especificações:

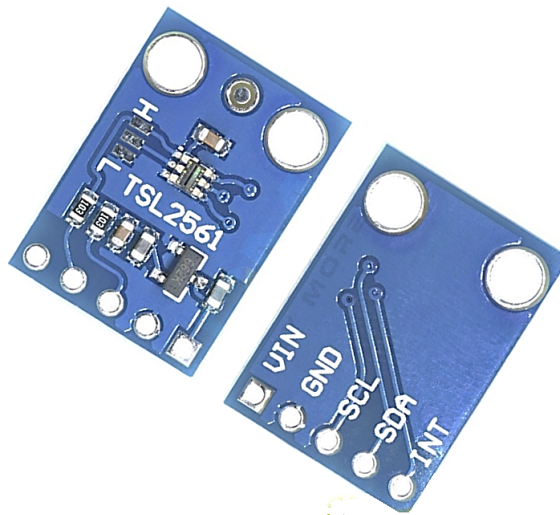
- Modelo: ML8511;
- Tensão de operação: 4,6 V;
- Corrente de saída: 5 mA;
- Corrente(modos ativo): 300 - 500 μ A;

- Corrente (modo repouso): 0,1 - 1 μ A;
- Potência dissipada: 30 mW;
- Raios de detecção: UVA e UVB;
- Temperatura de operação: -20 °C - 70 °C;
- Temperatura de armazenamento: -30 °C - 85 °C
- Comprimento máximo de onda de detecção: 365 nm;
- Tempo de saída: 1 ms.

3.8.4 TSL2561

O sensor de luminosidade TSL2561 é um sensor capaz de detectar a intensidade de luz ambiente com precisão e agilidade na comunicação com o microcontrolador. Ele é um sensor que transforma intensidade de luz em uma saída de sinal digital que pode ser lido por qualquer microcontrolador que trabalha com comunicação do tipo I2C, como o ATmega do Arduino, por exemplo. A figura 8 mostra o sensor TSL2561.

Figura 8 – Sensor de luminosidade TSL2561.



Fonte: Autoria própria.

O sensor de luminosidade TSL2561 combina um fotodiodo de banda larga (para luz visível) e um fotodiodo de resposta infravermelha (para luz não visível) em um único circuito integrado CMOS, capaz de fornecer uma resposta quase fotóptica em uma faixa de 16 bits. Possui dois conversores A/D integrados que convertem as correntes de fotodiodo em uma saída digital, que representa a irradiância medida em cada canal. Os dispositivos TSL2560 são projetados com a finalidade de prolongar a vida útil da bateria e fornecer uma visualização ideal em diversas condições de iluminação, no entanto, pode ser utilizado e outros processos que exigem análise de luminosidade (AMS, 2018).

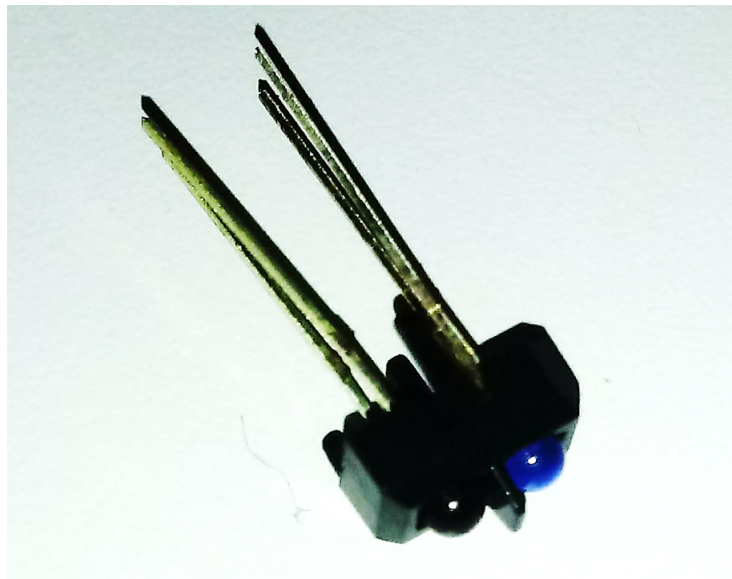
O sensor apresenta as seguintes especificações:

- Tensão de operação: 2,7-3,6 V;
- Temperatura: -30° à 70 °C;
- Corrente utilizada: 0,24 à 0,6 mA;
- Faixa de medição: 0,1-40.000 Lux;
- Interface: I2C;
- Endereço I2C: 0x39, 0x29, 0x49 (selecionáveis com *jumper*);
- Dimensões: 19 x 16 mm.

3.8.5 TCRT5000

O Sensor Óptico Reflexivo TCRT5000 é um componente eletrônico que funciona através de um sistema de reflexão infravermelho, onde, um LED emissor IR e um fototransistor IR ficam lado a lado, separados apenas por uma parede de plástico. Quando um objeto se aproxima do sensor, a luz infravermelha emitida pelo LED emissor é refletida para o fototransistor que é ativado. Vale ressaltar que o material do objeto influencia diretamente na detecção do sensor, pois quanto mais reflexivo for o material, maior o campo de atuação do sensor (VISHAY, 2017). A figura 9 mostra o sensor TCRT5000.

Figura 9 – Sensor óptico reflexivo TCRT5000.



Fonte: Autoria própria.

O Sensor Óptico Reflexivo TCRT5000 é aplicado com frequência em projetos que envolva detectar obstáculos. Em projetos de robótica, este sensor é aplicado em robôs (seguidores de linha ou sumô) e carrinhos.

O sensor apresenta as seguintes especificações:

- Descrição: TCRT5000;
- Fabricante: Vishay Semiconductors;
- Tensão reversa do led emissor: 5 V;
- Corrente direta do led emissor: 60 mA;
- Tensão máxima coletor emissor do transistor: 70 V;
- Corrente máxima de coletor: 100 mA;
- Temperatura de soldagem recomendada: 260 °C;
- Tamanho da onda de operação: 950 nm;
- Distância máxima de detecção: 25 mm;
- Dimensões: 10,2 x 5,8 x 7 mm.

3.8.6 LDR

O LDR (do inglês, *Light Dependent Resistor* ou em português Resistor Variável Conforme Incidência De Luz) é um tipo de resistor cuja resistência varia conforme a intensidade de radiação eletromagnética do espectro visível que incide sobre ele. Ou seja, ele é um transdutor de entrada (sensor) que converte a luz em valores de resistência. Ele pode ser feito de sulfeto de cádmio (CdS) ou seleneto de cádmio (CdSe) e sua resistência diminui quando a luz é muito alta, e quando a luz é baixa, a resistência no LDR aumenta (TOKEN, 2012). A figura 10 mostra o sensor LDR.

Figura 10 – Sensor resistor variável conforme incidência de luz LDR.



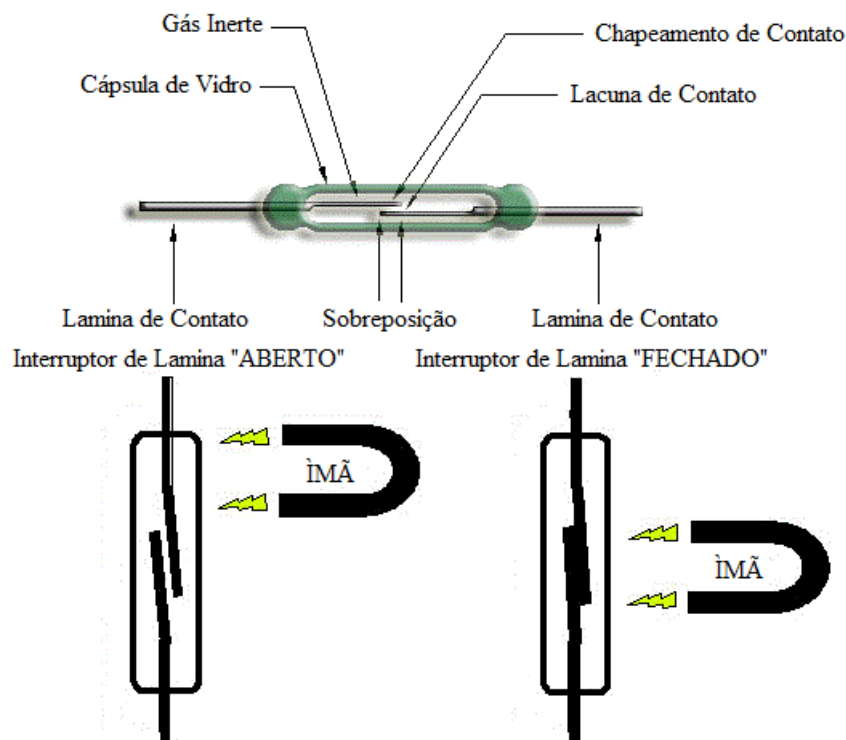
Fonte: TOKEN, 2012.

O LDR é muito frequentemente utilizado nas chamadas fotocélulas que controlam o acendimento de postes de iluminação e luzes de residências. É também bastante utilizado em sensores foto-elétricos (TOKEN, 2012).

3.8.7 Reed Switch

O sensor *reed switch* ou interruptores de lâminas, é um componente de grande utilidade, que pode ser usado como interruptor e sensor magnético em várias aplicações. O sensor magnético *reed switch*, foi amplamente aplicados no desenvolvimento de sensores e controladores em dispositivos elétricos automotivos, relés de junco e outros instrumentos de vários tipos (OKI, 2010). A figura 11 mostra as partes que compõem o sensor, bem como, o seu funcionamento.

Figura 11 – Reed switch.



Fonte: Ardubotics (2015).

Segundo OKI (2010), o *reed switch* apresenta características muito importantes, como:

- Ser hermeticamente selado dentro de um tubo de vidro, com gás inerte, de modo, que os contatos não sofram com a influência do ambiente atmosférico externo;
- Resposta rápida, por causa da pequena massa de peças móveis;
- Por ter partes operacionais e peças elétricas dispostas coaxial mente, são adequadas para aplicações de alta frequência;
- Compacto e leve;
- Resistência à corrosão e a resistência ao desgaste dos contatos, garantindo uma operação estável de comutação e longa vida útil;
- Com um ímã permanente instalado, é facilmente utilizado como interruptor de proximidade.

3.8.8 Sensor de Chuva

O sensor de chuva é usado para monitorar uma variedade de condições climáticas como gotas de chuva ou neve. Quando o clima está seco a saída do sensor fica em estado alto e quando há uma gota de chuva em estado baixo. A figura 12 mostra o sensor de chuva.

Figura 12 – Sensor de chuva.



Fonte: Autoria própria.

O sensor apresenta as seguintes especificações:

- Modelo: 9SS18;
- Tensão de Operação: 3,3-5 V;
- Corrente de Saída: 100 mA;
- Sensibilidade ajustável via potenciômetro;
- Saída Digital e Analógica;
- Fácil instalação;
- Led indicador para tensão;
- Led indicador para saída digital;
- Comparador LM393;
- Dimensões Sensor de Chuva: 41 x 55 mm;
- Dimensões Placa de Controle: 31 x 14 mm;
- Comprimento Cabo: 20 cm.

3.8.9 Sensor de Umidade do Solo

Com o sensor capacitivo de umidade do solo é possível verificar a umidade do solo, de modo a verificar se o solo precisa de água ou não. Este sensor é diferente dos outros sensores de umidade do solo, que geralmente são resistivos. A grande vantagem é que ele evita a corrosão, o que aumenta significativamente a vida útil do sensor (DFROBOT, 2017). A figura 13 mostra o sensor de Umidade do Solo.

Figura 13 – Sensor de Umidade do Solo.



Fonte: Autoria própria.

O sensor apresenta as seguintes especificações:

- Modelo: SEN0193;
- Tensão de Operação: 3,3 a 5 V;
- Saída Analógica: 0 a 3 V;
- Dimensões: 22 x 102 x 7 mm;
- Comprimento Cabo: 20 cm.

3.8.10 Sensor de Temperatura do Solo - DS18B20

O sensor de Temperatura do Solo ou DS18B20 é um tipo de sensor que fornece leituras de temperatura de 9 a 12 bits. Esses valores mostram a temperatura de um determinado dispositivo ou ambiente. A comunicação deste sensor pode ser feita através de um protocolo de barramento de um fio que usa uma linha de dados para se comunicar com um microprocessador interno.

Além disso, este sensor obtém a fonte de alimentação diretamente da linha de dados, de modo que a necessidade de uma fonte de alimentação externa pode ser eliminada. As aplicações do sensor de temperatura DS18B20 incluem sistemas industriais, produtos de consumo, sistemas

que são sensíveis termicamente, controles termostáticos e termômetros (MAXIM, 2021). A figura 14 mostra o O sensor de temperatura do solo DS18B20.

Figura 14 – O sensor de temperatura do solo DS18B20.



Fonte: Autoria própria.

O sensor apresenta as seguintes especificações:

- Tensão de alimentação: 3 a 5.5 V;
- Faixa de leitura: -10 a $+85$ °C;
- Precisão: ± 0.5 °C;
- Resolução: 9 a 12 bit;
- Tempo de consulta: 750 ms;
- Tubo de aço inoxidável de 6 x 35 mm.

3.9 Paineis Solar

Painéis solares ou módulos fotovoltaicos são dispositivos composto por células fotovoltaica de silício cristalizado, utilizados para converter a radiação solar (luz do sol) em energia elétrica. As células dos painéis solares quando exposta a incidência direta da radiação solar, criam um diferencial de potencial elétrico entre elas que faz fluir uma corrente elétrica no material semi condutor (BLUESOL, 2020).

Atualmente, existem diversos painéis solares para várias aplicações e com diferentes características que variam de tamanho, potência, preço entre outros. Os minis paineis fotovoltaico são painéis com dimensões reduzida e um preço acessível, que pode ser ligado em série ou em paralelo com outros painéis para gerar uma tensão ou corrente maior, sendo ideal para projetos eletrônicos, robôs solares, carregar pequenas baterias DC e etc.

3.10 Baterias

Uma bateria, também chamada de acumulador elétrico, é um dispositivo capaz de armazenar a energia elétrica na forma química, e disponibilizar depois na forma de energia elétrica novamente, com uma determinada eficiência.

A primeira bateria da história foi desenvolvida pelo químico e físico Alessandro Volta, em 1800, na Itália. A bateria consistia em uma pilha de zinco e cobre (ou prata) separado por um tecido (ou cartão). Atualmente existem vários tipos de bateria, com diferentes tipos de composição química e tecnologia. Por exemplo, a bateria de lítio, que se tornou uma tendência no mercado nos últimos doze anos. Por ser mais barata de se fabricar e ter uma maior eficiência que outras baterias com composição química diferente (EEMB, 2010).

3.11 Impressão 3D

Os estudos com impressoras 3D começaram em 1970, dando início a indústria de impressão no final dos anos 80. No entanto, as impressoras tinham um elevado custo. A diferença entre os métodos utilizado hoje, para o que existia na época, é o fato de imprimirem camadas por camadas, se tornando uma produção aditiva, ao contrário do método que existia, que era subtrativo, ou seja, retirava o material dando forma ao modelo final desejado (KIETZMANN et al., 2015).

O surgimento do comando numérico computadorizado (CNC) veio com o intuito de automatizar diversos modos de fabricação, reduzindo os custos elevados com mão de obra e o tempo que se perdia no processo. O método CNC controla máquinas utilizando programas computacionais, sem ser necessário um operador constante.

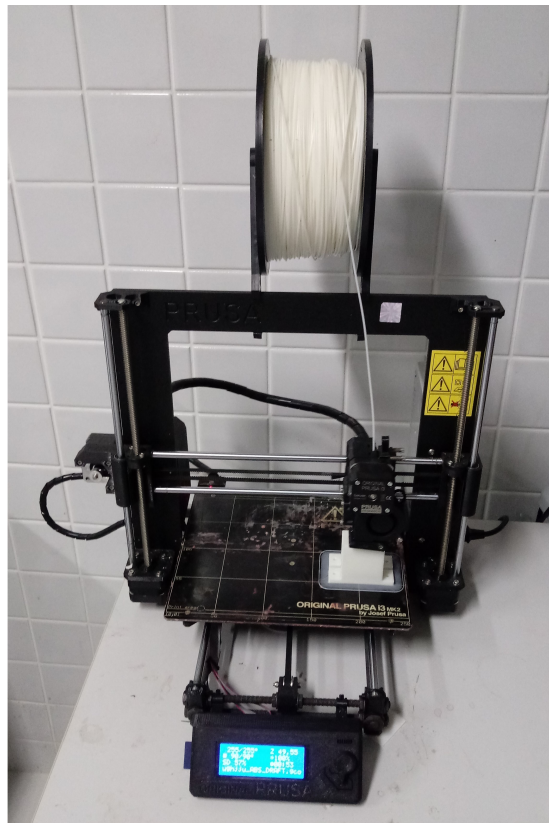
A impressão 3D se desenvolveu mais rápido após o pesquisador britânico Adrian Bowyer criar o sistema RepRap, sendo este o primeiro protótipo que auto replica, possibilitando a impressão de inúmeros componentes para fabricação de novas impressoras 3D ou melhoria das que já estavam prontas.

Em 2004 foi publicado online o primeiro documento que falava sobre projeto RepRap pelo engenheiro mecânico Adrian Bowyer e a primeira impressora 3D produzida utilizando este método foi montada em 2007, difundindo conhecimentos para outras pessoas interessadas montarem sua própria impressora 3D, com custo bem mais baixo do que as impressoras eram comercializadas na época (JONES et al., 2011).

Existem vários modelos de impressoras 3D, de modelos mais simples, aos intermediários e mais completos, de diversos tamanhos, que utilizam diferentes tipos de materiais na impressão de objetos. Seus valores variam, algumas com preços mais elevados e outras mais acessíveis.

A figura 15 mostra a impressoras 3D da Prusa disponível Laboratório de Pesquisa em Microeletrônica e Radiofrequência (LAMERF).

Figura 15 – Impressora 3D da Prusa.



Fonte: Autoria própria.

3.12 KiCad

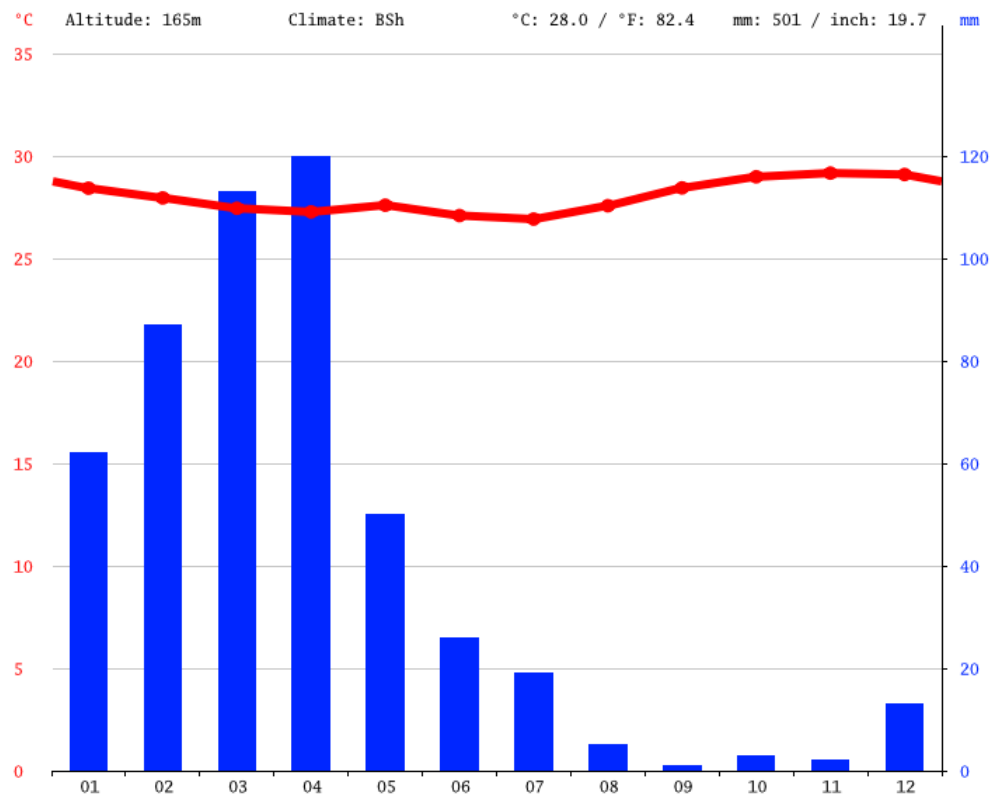
KiCad é um programa de computador que utiliza um sistema *open source* para projetar diferentes tipos e estilos de circuitos, com o objetivo de facilitar a aquisição de layouts e sua conversão em placas de circuito impresso (conhecidas como PCB's). Possui ferramentas para preparação de estruturas de materiais, como embalagens, arte e visualização 3D de PCB's e seus componentes (WIKIWAND, 2012).

A organização principal do software está dividida em 5 partes: gerenciamento de projetos, Eeschema, Cvpcb, Pcbnew e Gerbview. A gestão de projetos faz parte do Kicad, que contará com todas as ferramentas e acessórios para realizar as atividades do projeto de forma a promover a sua utilização. Eeschema é a parte que permite editar o layout do PCB. Cvpcb selecionará os componentes usados diretamente no PCB. O Pcbnew irá gerar um layout de PCB que suporta visualização 3D, ou seja, o usuário terá uma visualização real do circuito. Gerbview é um visualizador de documentos Gerber, que é um mapa fotográfico do circuito (KICAD, 2014).

4 METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido nas instalações da Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA), Campus Caraúbas que fica situado na RN 233, KM 01, Sítio Nova Esperança II, Caraúbas/RN, Brasil. A cidade de Caraúbas no estado do Rio Grande do Norte, localizado na Mesorregião do Oeste Potiguar, apresenta um índice de Desenvolvimento Humano - IDH médio de 0,638 (PNUD, 2010). Geograficamente, apresenta uma área de 1.132,86 km, com densidade 18,89 hab./km e uma população estimada de 20.707 habitantes (IBGE, 2017). O município apresenta um clima tropical, com uma temperatura média de 26.9 °C e uma pluviosidade média anual de 734 mm. O gráfico da figura 16 mostra a variação média da temperatura e pluviosidade ao longo do ano 2019 no município de Caraúbas/RN.

Figura 16 – Temperaturas e precipitações médias em Caraúbas/RN durante o ano de 2019.



Fonte: Climate-data (2019).

A metodologia de pesquisa utilizada neste trabalho teve caráter exploratório e consistiu no:

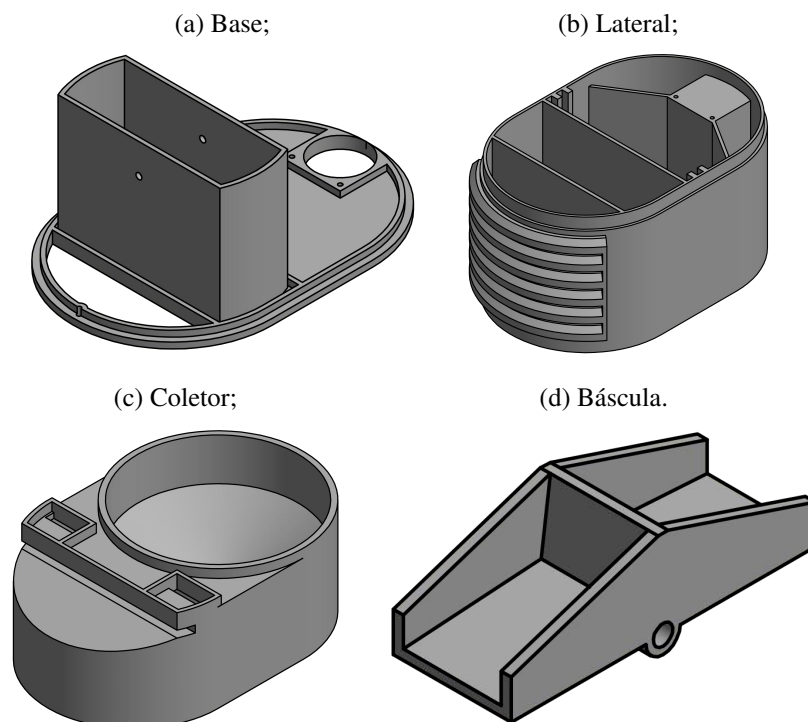
- Levantamento bibliográfico na área de internet das coisas (IoT), impressão 3D, agricultura inteligente, semiárido Nordeste, estação meteorológica entre outros;

- Projeto e fabricação das partes que compõem o equipamento (base, lateral, coletor, sensores e circuito) e montagem do instrumento;
- Desenvolvimento do circuito de aquisição e transferência de dados pela internet;
- Desenvolvimento da plataforma Web e App;
- Desenvolvimento da lógica e código para gravação no ESP32, para que o mesmo pudesse realizar as leituras dos vários sensores e transmitir os dados para uma plataforma online, que permite o acesso aos dados por um App;
- Calibração dos sensores e validação do equipamento, através de testes experimentais, em campo.

4.1 Desenvolvimento da case do protótipo

Para o desenvolvimento do protótipo de estação meteorológica, primeiramente foi projetado a case (caixa abrigo) para o circuito e alguns sensores, formado pela base, lateral, coletor e bascula para o pluviômetro, como mostrado na figura 17.

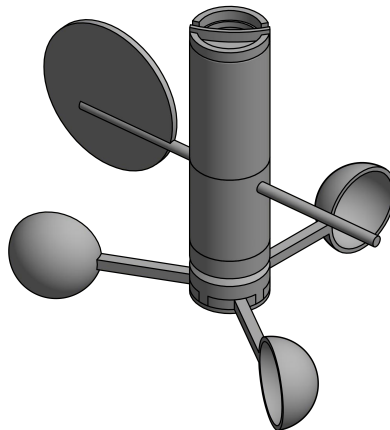
Figura 17 – Partes do equipamento:



Fonte: Autoria própria.

Além disso, foi projetado também o sensor de velocidade e direção do vento, mostrado na figura 18. Para isso, foi usado o *software* Inventor da Autodesk para fazer o projeto 3D e gerar os arquivos .STL, para a fabricação dos mesmos usando uma impressora 3D.

Figura 18 – Sensor de velocidade e direção do vento.

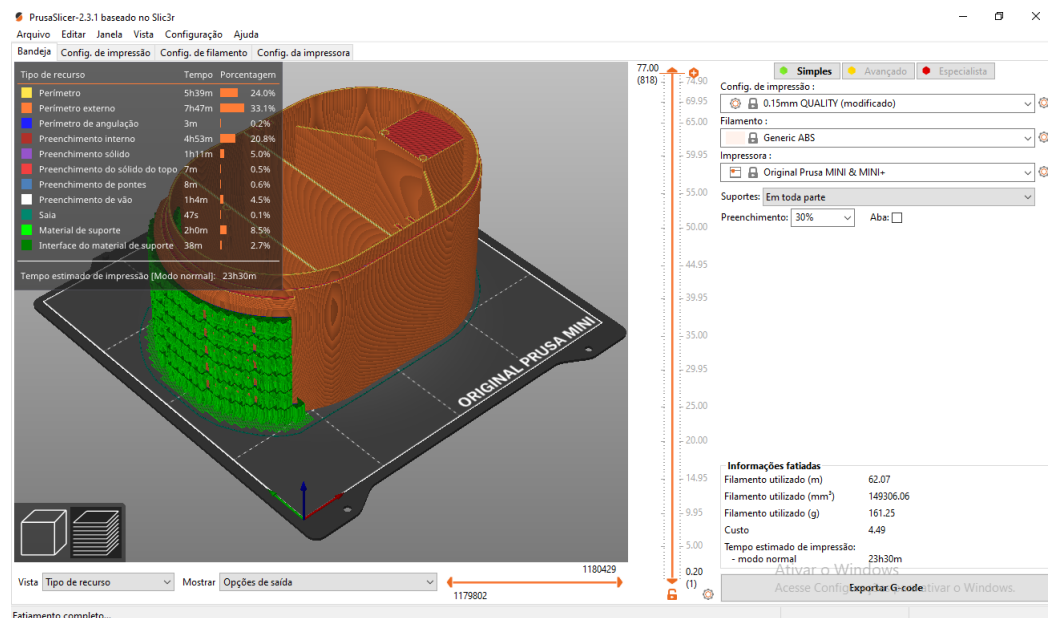


Fonte: Autoria própria.

4.2 Fabricação da case do protótipo

Depois de desenhado as peças que compõem o equipamento, as mesmas foram preparadas para fabricação usando o *software* fatiador PrusaSlicer da impressora Prusa, como mostrado na figura 19.

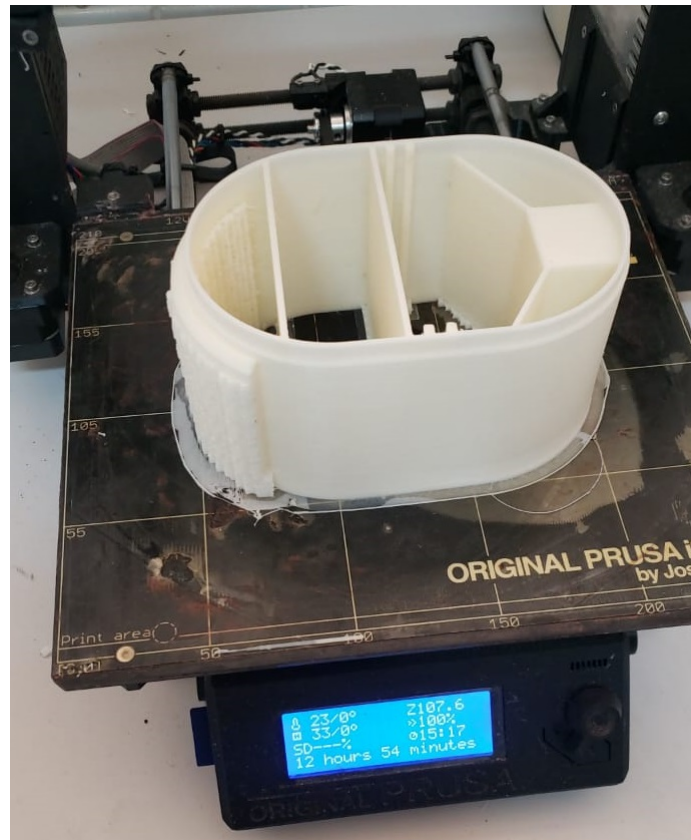
Figura 19 – *Software* de fatiamento PrusaSlicer.



Fonte: Autoria própria.

Então, foi realizado a fabricação das peças que compõem o equipamento usando a impressora 3D da Prusa, disponível no LAMERF (Laboratório de Pesquisa em Microeletrônica e Radiofrequência), como mostrado na figura 20.

Figura 20 – Impressão 3D do equipamento.



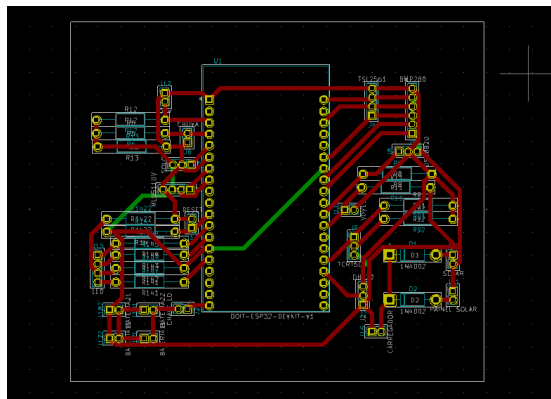
Fonte: Autoria própria.

4.3 Desenvolvimento do circuito do protótipo

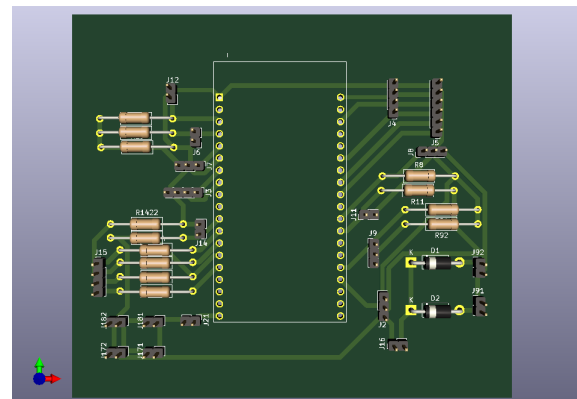
Para o desenvolvimento do esquemático do circuito de aquisição e transmissão dos dados foi utilizado o *software* KiCad, sendo projetado o circuito mostrado na figura 21.

Figura 21 – Projeto do circuito de aquisição e transmissão dos dados no KiCad:

(a) layout;



(b) Visão 3D da placa.

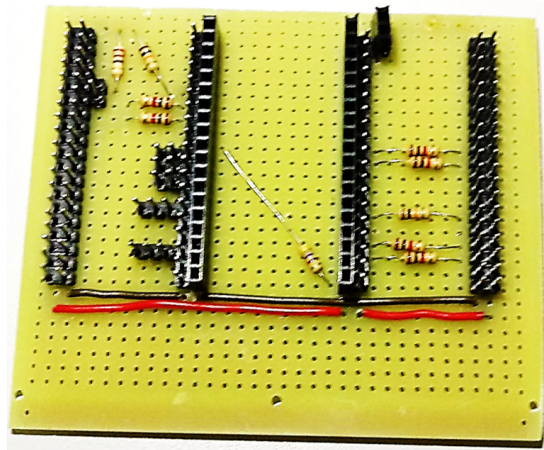


Fonte: Autoria própria.

4.4 Fabricação do circuito do protótipo

O circuito foi fabricado usando uma placa de fenolite universal padrão perfurada e ilhada, como mostrado na figura 22. Pois não foi possível fabricar a PCB do circuito com métodos mais profissionais.

Figura 22 – Circuito de aquisição e transmissão dos dados.

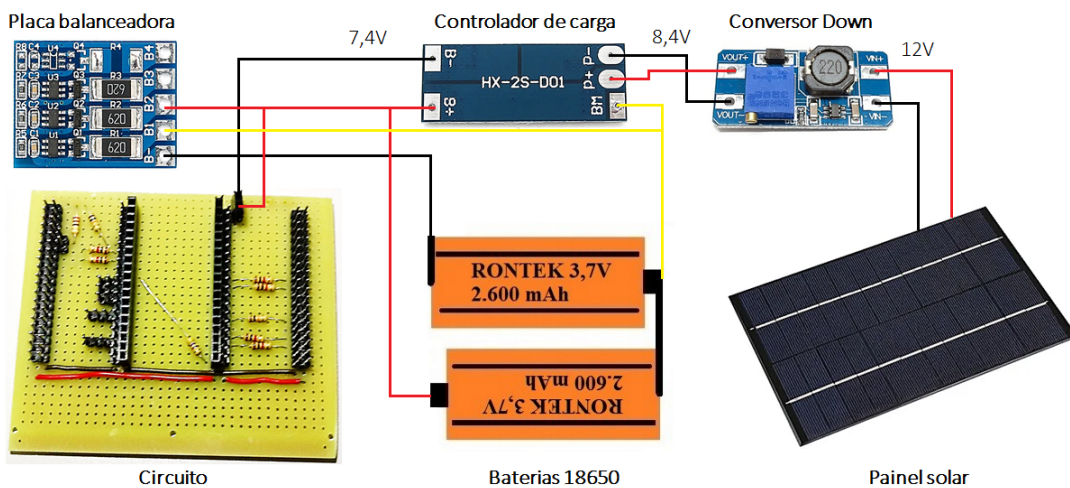


Fonte: Autoria própria.

4.5 Circuito de alimentação do protótipo

O circuito de alimentação do equipamento, mostrado na figura 23, foi montado usando um painel solar de 12 V, para garantir que o instrumento seja autônomo; um conversor *buck*, para manter a tensão que chega no controlador de carga igual a 8,4 V; duas baterias Íon-Lítio de 2600 mAh e 3,7 V; e uma placa balanceadora para controlar a descarga das baterias que são ligadas ao circuito de aquisição e transmissão dos dados.

Figura 23 – Circuito de Alimentação.

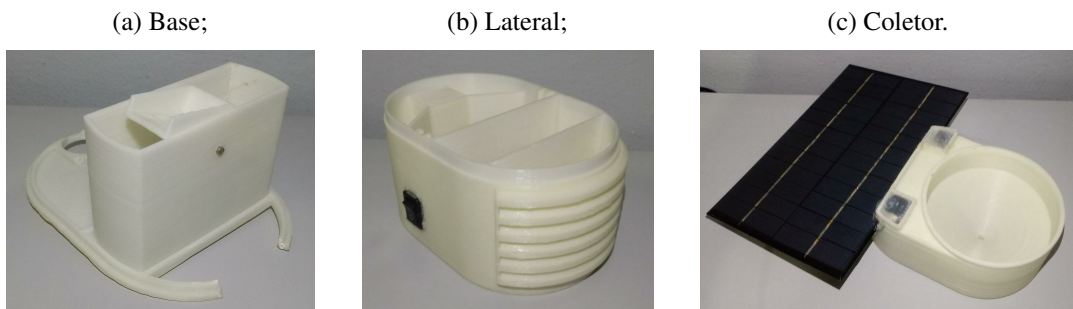


Fonte: Autoria própria.

4.6 Montagem do protótipo

Após, a fabricação do circuito e peças que compõem a estação, as mesmas foram preparadas para a montagem, retirando as rebarbas e suportes da impressão. Em seguida iniciou-se a montagem do equipamento, como mostrado nas figuras 24a, 24b e 24c. Para isso primeiramente foi colocado a chave liga/desliga a chave *reset*, o sensor e a bascula na base, na peça lateral foi colocado a antena e a chave para ligar e desligar a estação, já no coletor foi colocado os sensores de luminosidade e radiação UV, além do painel solar.

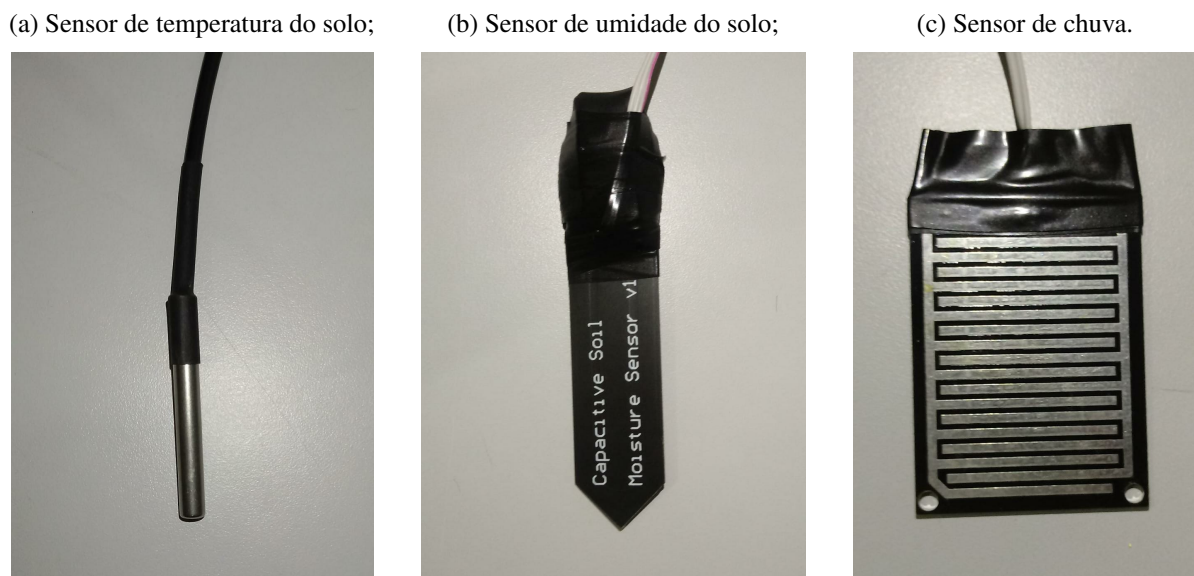
Figura 24 – Montagem do equipamento:



Fonte: Autoria própria.

Depois, foram preparados, montados e ligados ao equipamento os sensores de temperatura e umidade do solo e o sensor de chuva, como mostrado na figura 25.

Figura 25 – Montagem dos sensores:



Fonte: Autoria própria.

Em seguida, foi montado o sensor de velocidade e direção do vento, como mostrado na figura 26.

Figura 26 – Montagem do sensor de velocidade e direção do vento.



Fonte: Autoria própria.

Então foi realizado a montagem completa da estação meteorológica, como mostrado na figura 27.

Figura 27 – Montagem completa da estação meteorológica.



Fonte: Autoria própria.

Afim de validar o processo de fabricação da estação e ter mais um equipamento para realizar testes, foi fabricado mais uma estação, como mostrado na figura 28.

Figura 28 – Montagem completa da segunda estação meteorológica.



Fonte: Autoria própria.

4.7 Calibração do protótipo

A calibração dos sensores foi realizada em ambiente controlado usando instrumentos de referência, e teve a finalidade de estabelecer uma correspondência entre as leituras do aparelho e as grandezas físicas por ele medida. Para isso utilizou-se de instrumentos de precisão, no qual suas grandezas já era conhecidas e assim realizou-se os ajustes no equipamento para que o mesmo tivesse a mesma representação física.

Assim, para calibrar o pluviômetro, foi realizado primeiramente o ajuste da balança para que a mesma girasse para ambos os lados com o mesmo volume de água. Em seguida, foi colocado na balança gradativamente um volume conhecido de água ($0,5 \text{ L} = 500 \text{ ml} = 500000 \text{ mm}^3$), e contabilizado o número de vezes que a mesma girou (216 vezes). Depois foi calculado o volume da balança, como mostrado na equação 4.1:

$$V_{\text{balança}} = \frac{V_{\text{conhecido}}}{\text{Giros}_{\text{balança}}} = \frac{500000 \text{ mm}^3}{216} = 2314,81481481 \text{ mm}^3 \quad (4.1)$$

Em seguida, foi verificado quantos mililitros (mm) esse volume da balança representava. Como conhecíamos o diâmetro do coletor ($9,4 \text{ cm} = 94 \text{ mm}$), foi possível calcular a área de coleta, obtendo-se $6939,77 \text{ mm}^2$. Depois, aplicou-se os valores de volume da balança e área de coleta do pluviômetro na equação 4.2.

$$V_{\text{precipitado}} = \frac{V_{\text{balança}}}{\text{Área}_{\text{coletor}}} = \frac{2314,81481481 \text{ mm}^3}{6939,77 \text{ mm}^2} = 0,33 \text{ mm} \quad (4.2)$$

Assim, foi possível determinar que a cada movimento da balança, o sistema deveria registrar (somar) mais 0,33 mm ao volume total de chuva precipitado.

A calibração do sensor de velocidade do vento, foi realizado utilizando um anemômetro digital da Minipa, como ilustrado na figura 29, e feitos os devidos ajustes.

Figura 29 – Anemômetro digital da Minipa usado na calibragem do sensor de velocidade.



Fonte: Autoria própria.

Os sensores de temperatura do ar (DHT22) e temperatura do solo (DS18B20) foram calibrados utilizando um termômetro digital Penta III da Full Gauge, como mostrado na figura 30.

Figura 30 – Termômetro digital Penta III usado na calibragem dos sensores de temperatura.



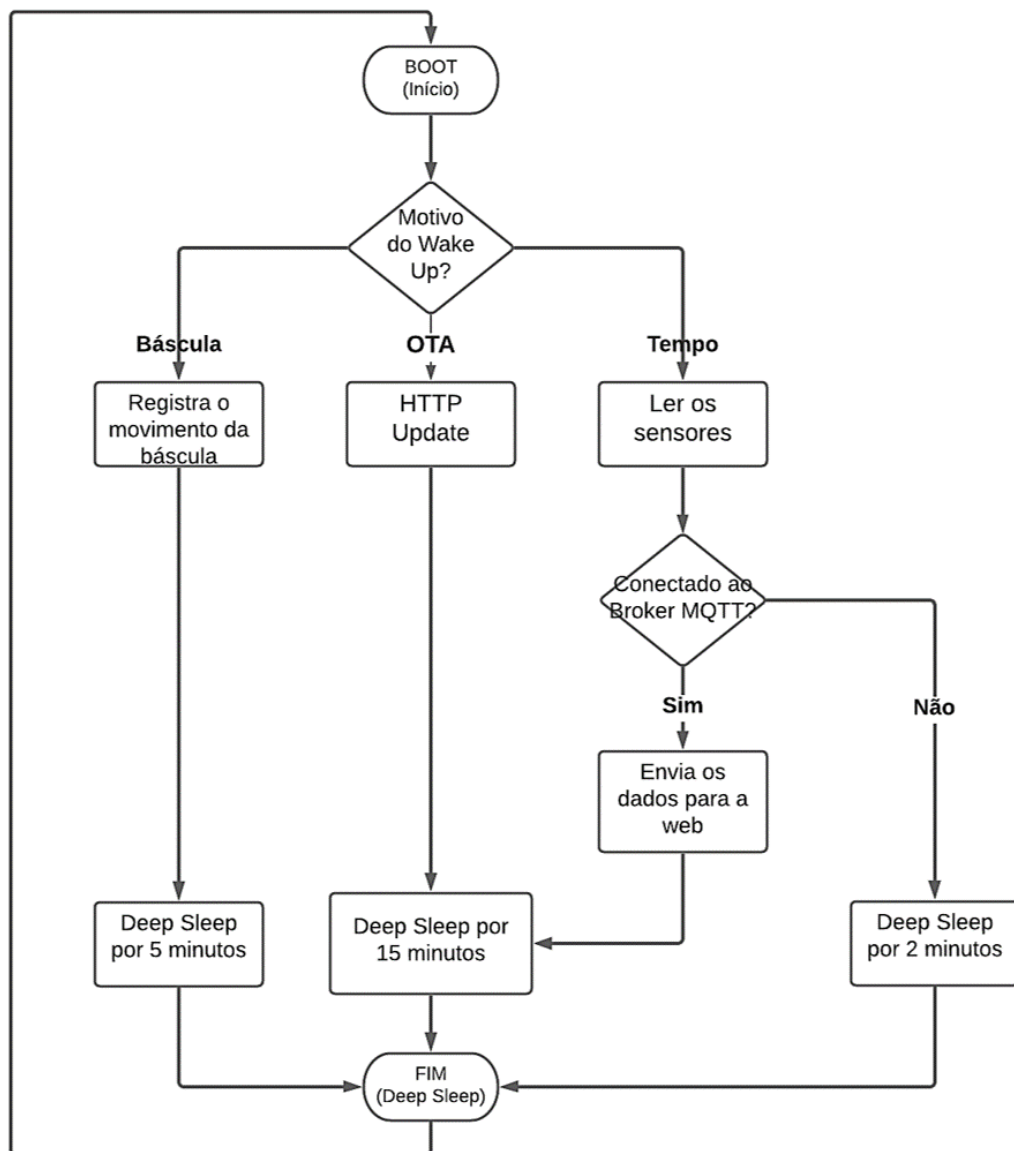
Fonte: Autoria própria.

Os demais sensores foram calibrados com base em testes práticos de funcionamento.

4.8 Plataforma Web e App

Antes de desenvolver a plataforma Web e APP, foi criado o código para a leitura, aquisição e transmissão dos dados, para plataforma web, utilizando a IDE Arduino. O código-fonte para programar o ESP32 foi desenvolvido para que o mesmo possa fazer a aquisição e transmissão dos dados lidos pelos sensores presentes na estação meteorológica automática. O fluxograma do programa desenvolvido é apresentado na figura 31.

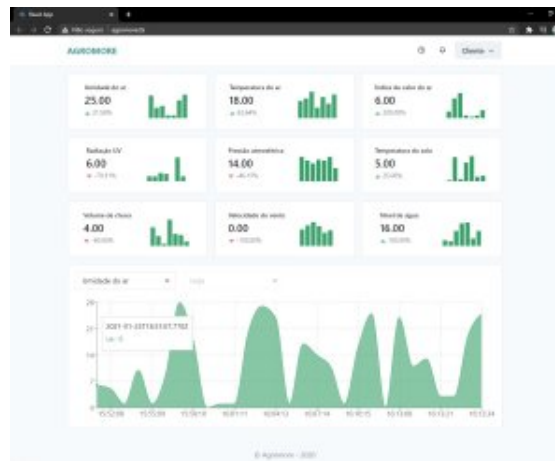
Figura 31 – Fluxograma do programa.



Fonte: Autoria própria.

Em seguida, foi desenvolvido a plataforma web, mostrado na figura 32, para receber, armazenar e permitir acesso aos dados.

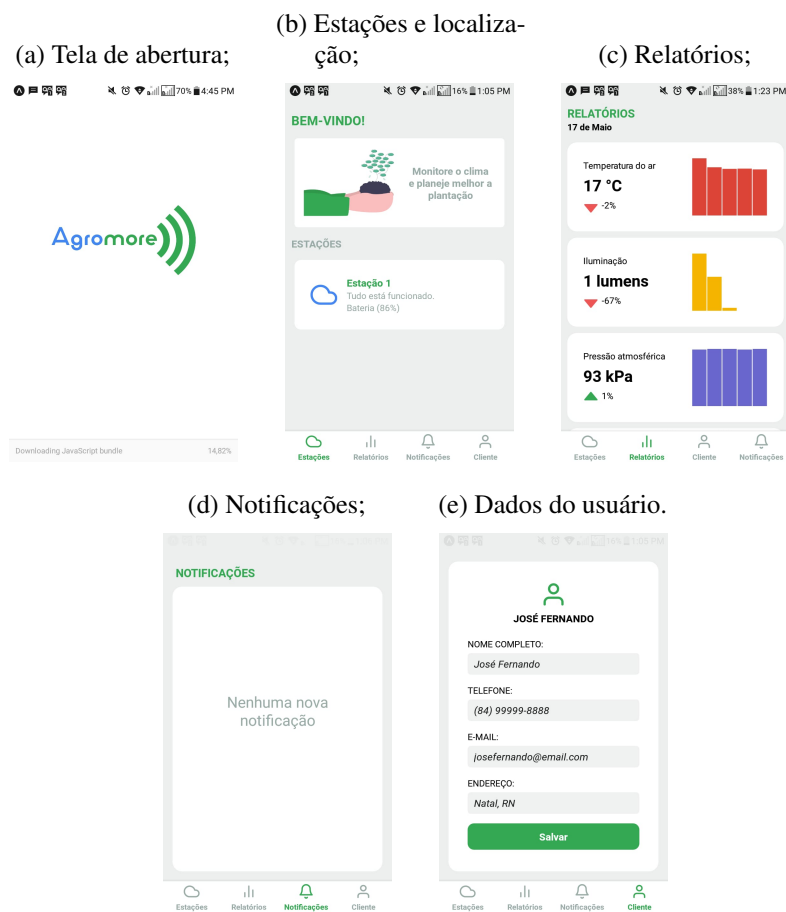
Figura 32 – Plataforma Web.



Fonte: Autoria própria.

Depois foi desenvolvido o App, mostrado na figura 33.

Figura 33 – Detalhes do aplicativo para dispositivos moveis:

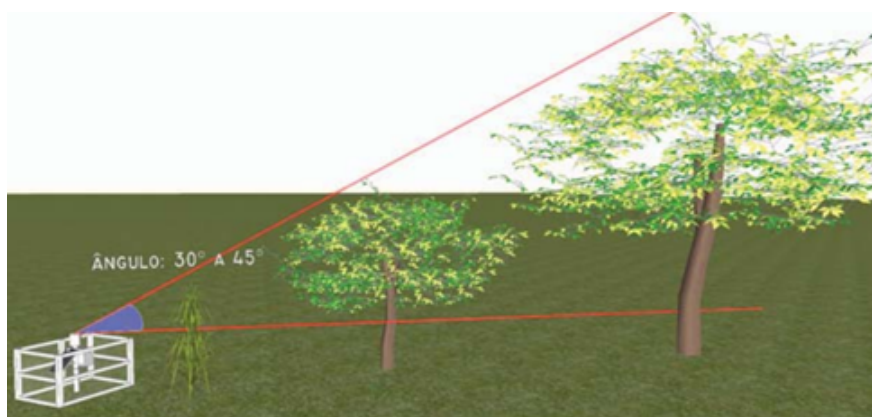


Fonte: Autoria própria.

4.9 Instalação em campo

O protótipo da estação meteorológica automática, foi colocado em campo, seguindo as normas, descritas por Blainski, Garbossa e Antunes (2012), da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina Florianópolis – EPAGRI, e do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN (2017). As normas especificam o local para instalação como um local sem movimentação de pessoas ou animais, a uma distância maior que 15 m de árvores e edifícios, e a uma altura mínima de 1,5 m do chão, como ilustrado na figura 34.

Figura 34 – Afastamento recomendado para instalação de uma estação meteorológica.



Fonte: Blainski, Garbossa e Antunes (2012).

O instrumento conta com sensores, que verifica várias grandezas, como mostrado na tabela 1.

Tabela 1 – Grandezas lidas pelo equipamento.

Grandeza	Unidade
Pluviosidade	mm
Temperatura do ar	°C
Umidade do ar	%
Índice de calor do ar	°C
Radiação solar UV	mW/cm ²
Luz ambiente;	lux
Pressão atmosférica	atm
Altitude	m
Direção do vento	°
Velocidade do vento	Km/h
Umidade superficial da folha	%
Temperatura do solo	°C
Umidade do solo	%
Nível de bateria	%

Fonte: Autoria própria.

Das duas estações meteorológicas confeccionada, uma ficou em campo para testes práticos e verificara a durabilidade da mesma, como mostrado na figura 35.

Figura 35 – Instalação do equipamento em campo.



Fonte: Autoria própria.

Já a outra estação ficou em um ambiente controlado para testes de conexão e melhorias, como mostrado na figura 36.

Figura 36 – Equipamento em ambiente controlado.



Fonte: Autoria própria.

5 RESULTADOS

A construção da estação meteorológica de baixo custo se baseou no pluviômetro automático de baixo custo utilizando material reutilizável para a internet das coisas de Silva (2018), e em modelos de estações meteorológicas existentes no mercado. As estações meteorológicas existentes no mercado apresentam um alto custo de aquisição e manutenção, além de terem uma grande estrutura física, e em sua grande maioria não se tem conexão com a internet ou necessita-se de um cabo de rede para tal, o que torna de certo modo inacessível para os pequenos e médios agricultores.

Sendo assim, o presente trabalho buscou conciliar o baixo custo com uma boa eficiência, para desenvolver um equipamento bem mais acessível, com capacidade de obter informações de diversos parâmetros climáticos e transmitir os mesmos para internet, possibilitando acessar os dados de qualquer lugar, a qualquer hora, a partir de qualquer dispositivo que se conecte a internet.

A tabela 2 apresenta todo o material utilizado na construção do equipamento, bem como, o preço por unidade, quantidade utilizada de cada item e o valor total gasto para a construção do instrumento.

Tabela 2 – Materiais utilizados na construção do protótipo.

DESCRIÇÃO DO PRODUTO	VLR. UNID.	QTD.	VLR. TOTAL
ESP32-WROOM-32U com antena	65	1	65
Sensor de Chuva	12	1	12
Sensor Umidade do solo	12	1	12
DHT22	35	1	35
BMP280	32	1	32
Sensor de luz TSL2561	38	1	38
Sensor ultravioleta ML8511	35	1	35
Sensor de temperatura DS18B20 com cabo de silicone	20	1	20
Reed switch plástico NA 2x14 mm	1	8	8
Sensor Óptico TCRT5000	1	1	1
Placa Padrão Tipo Ilha 10x10 cm	12	1	12
Ímã De Neodímio Bloco 20 mm x 10 mm x 2 mm	3	2	6
Painel Solar 12 V	65	1	65
Filamento Impres. 3D ABS Premium 1,75 mm - 1 Kg Branco	70	0,42	29,4
Rolamento 6000 zz	10	2	20
Placa Balanceadora 3s	10	1	10
Step down LM2596	12	1	12
Bateria Li-Ion 18650 3,7V 2600mAh	40	2	80
Suporte para 1 bateria Li-Ion 18650	6,3	2	12,6
Placa de proteção de carga para bateria 18650-2s-8A-8,4V	19,8	1	19,8
Barra de finos - 1x40x11,2 180G 2,54 mm - pretos	1,5	4	6
Barra MODUL FEMEA PCI 1x40 180 G	2	2	4
Borne KF-301 KRE2 Azul 180 MINI	0,9	2	1,8
Chave KCD1-101 Preto	1,4	1	1,4
Chave gangorra	1,5	1	1,5
Jumper Femea-Femea 40 vias	10	1	10
Jumper Macho-Femea 40 vias	10	1	10
Jumper Macho-Macho 40 vias	10	1	10
Resistores 10 k	0,1	3	0,3
Resistores 1 k	0,1	10	1
Resistores 220 k	0,1	1	0,1
Resistores 47 k	0,1	1	0,1
Resistores 100	0,1	4	0,4
Parafuso	0,3	4	1,2
Haste 2m	10	1	10
LED	0,9	1	0,9
LDR	0,45	1	0,45
Outros	16,05	1	16,05
TOTAL			600

Fonte: Autoria própria.

O valor de comercialização do equipamento pronto não deve ultrapassar R\$ 1000 reais. Logo, com o valor de R\$ 600 reais de matéria prima gasto o equipamento torna-se pouco viável economicamente, uma vez, que tem-se que pagar a mão de obra para a impressão 3D e montagem do mesmo.

No entanto, é importante levar em conta que os valores apresentados na tabela 2, sofreu o efeito da Covid-19 no mercado, além de ser o valor para uma única estação apenas, ou seja,

se formos adquirir material para montar 10, 20 ou 30 unidades do equipamento, por exemplo, conseguiremos um valor bem mais em conta. Outra opção é comprar a matéria prima direto do exterior, como mostrado na tabela 3. Assim, o equipamento torna-se viável economicamente.

Tabela 3 – Lista de materiais utilizados na construção do protótipo.

DESCRIÇÃO DO PRODUTO	VLR. UNID.	QTD.	VLR. TOTAL
ESP32-WROOM-32U com antena	35,6	1	35,6
Sensor de Chuva	3	1	3
Sensor Umidade do solo	5,42	1	5,42
DHT22	18,39	1	18,39
BMP280	4,6	1	4,6
Sensor de luz TSL2561	21,89	1	21,89
Sensor ultravioleta ML8511	25,05	1	25,05
Sensor de temperatura DS18B20 com cabo de silicone	9,14	1	9,14
Reed switch plástico NA 2x14 mm	1	8	8
Sensor Óptico TCRT5000	1	1	1
Fabricação do circuito	2	1	2
Ímã De Neodímio Bloco 20 mm x 10 mm x 2 mm	1	2	2
Painel Solar 12 V	43,9	1	43,9
Filamento Impres. 3D ABS Premium 1,75 mm - 1 Kg Branco	70	0,42	29,4
Rolamento 6000 zz	5,42	2	10,84
Placa Balanceadora 3 s	7,05	1	7,05
Step down LM2596	2,29	1	2,29
Bateria Li-Ion 18650 3,7 V 2600 mAh	19	2	38
Suporte para 1 bateria Li-Ion 18650	3,1	2	6,2
Placa de proteção de carga para bateria 18650-2s-8A-8,4V	6,15	1	6,15
Barra de finos - 1x40x11,2 180G 2,54 mm - pretos	1,5	4	6
Barra MODUL FEMEA PCI 1x40 180 G	2	2	4
Borne KF-301 KRE2 Azul 180 MINI	0,9	2	1,8
Chave KCD1-101 Preto	1,4	1	1,4
Chave gangorra	1,5	1	1,5
Jumper Femea-Femea 40 vias	5	1	5
Jumper Macho-Femea 40 vias	5	1	5
Jumper Macho-Macho 40 vias	5	1	5
Resistores 10 k	0,1	3	0,3
Resistores 1 k	0,1	10	1
Resistores 220 k	0,1	1	0,1
Resistores 47 k	0,1	1	0,1
Resistores 100	0,1	4	0,4
Parafuso	0,3	4	1,2
Haste 2 m	10	1	10
LED	0,78	1	0,78
LDR	0,45	1	0,45
Frete	30	1	30
Outros	16,05	1	16,05
TOTAL			370

Fonte: Autoria própria.

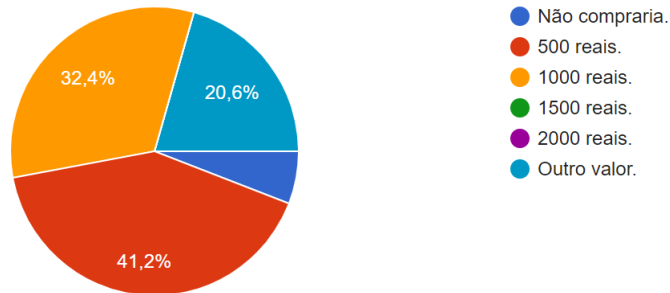
Assim, com base na tabela 3, e as observações feitas anteriormente é possível afirmar que o equipamento é economicamente viável e acessível para os pequenos e médios agricultores, como mostrado no gráfico da figura 37, de um questionário que foi aplicado e respondido por

produtores e profissionais do setor, o que valida alguns objetivos específicos deste trabalho.

Figura 37 – Respostas da pesquisa.

17. Quanto você estaria disposto a pagar para ter o esse equipamento?

34 respostas



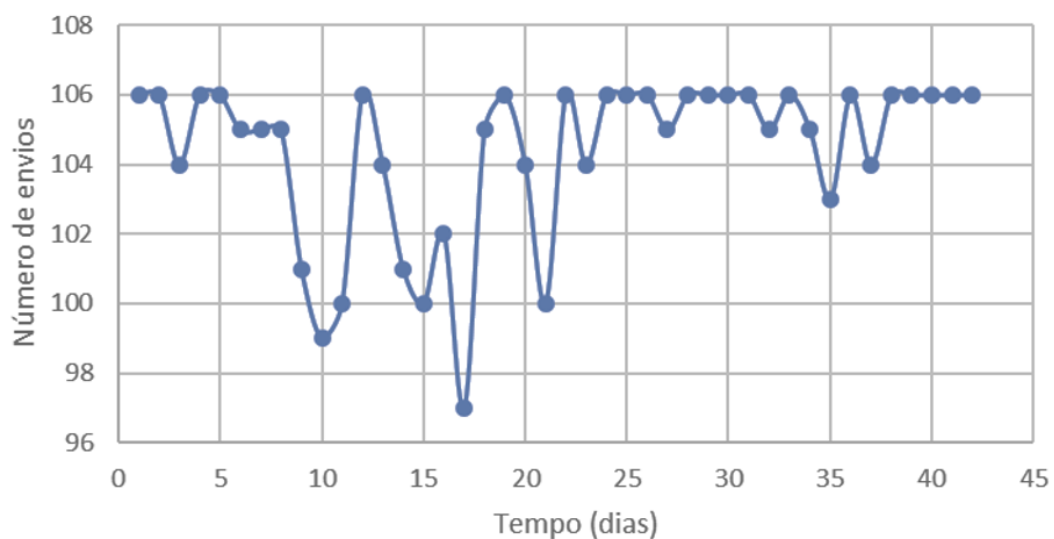
Fonte: Autoria própria.

Logo, é possível observar que 32,4% dos entrevistados estaria disposto a pagar até R\$ 1000,00 no equipamento.

Para avaliar o equipamento, foram realizados testes supervisionado em campo, durante 43 dias, afim de avaliar a atuação do instrumento em condições normais de uso, e verificar tanto o comportamento dos materiais, quanto o erro associado ao mesmo, bem como, a capacidade do sistema de se reconectar a rede de tempo em tempos, para enviar os dados. Foi verificado também a duração de bateria e a capacidade do mesmo de se recarregar pelo painel solar.

O gráficos da figura 38 mostra o número de envio realizado pelo equipamento durante o período de 43 dias, onde, a média de envio foi de 104,4 diários, o esperado era de 106, um erro de 1,5%.

Figura 38 – Envio de dados.



Fonte: Autoria própria.

6 CONCLUSÕES

A partir dos estudos e levantamentos bibliográficos realizados, foi possível:

- Desenvolver um estação meteorológica compacta de baixo custo e economicamente viável para agricultores rurais do semiárido Nordeste;
- A estação meteorológica aqui apresentada permitiu integrar o conceito de internet das coisas (IoT), possibilitando o monitoramento remoto da lavoura de qualquer lugar a qualquer hora, a partir de qualquer dispositivo que se conecte a internet, possibilitando ter a plantação na palma da mão;
- De modo, a contribuir para o aumento da produção, minimização de perdas, economia de recursos hídricos e energéticos e para auxiliar na tomada de decisão de qual agricultura cultivar, quando plantar, adubar a terra irrigar, aplicar defensivos e colher.
- O equipamento desenvolvido apresentou bons resultados tanto no quesito de hardware, quando do software, pois conseguiu enviar os dados para a plataforma durante todo o período de testes em campo.

REFERÊNCIAS

AGSOLVE. **Dicas e Soluções: operando pluviômetros**. Indaiatuba/SP, 2017. Disponível em: <<https://www.agsolve.com.br/dicas-e-solucoes/5336/operando-pluviometros>>. Acesso em: 10 fev. 2021.

ALVERENGA, Antonio Mello et al. **Vanguarda tecnológica invade as lavouras**. Revista A Lavoura. Rio de Janeiro/RJ, v.709, n.118, p. 12-19, p. 38-51, Jul. de 2015. Disponível em: <https://issuu.com/sociedadecnacionaldeagricultura/docs/a_lavoura_709>. Acesso em: 25 jan. 2021.

AMS. **TSL2561 Light-to-Digital Converter**. Áustria, 2018. Disponível em: <https://ams.com/documents/20143/36005/TSL2561_DS0001103-00.pdf/18a41097-2035-4333-c70e-bfa544c0a98b>. Acessado em: 6 de mar. de 2021.

AOSONG. **Digital-output relative humidity e temperature sensor/module DHT22 (DHT22 also named as AM2302)**. China, 2021. Disponível em: <<http://j5d2v7d7.stackpathcdn.com/wp-content/uploads/2021/01/DHT22.pdf>>. Acessado em: 6 de mar. de 2021.

ARAÚJO, Sérgio M. S. **A REGIÃO SEMIÁRIDA DO NORDESTE DO BRASIL: Questões Ambientais e Possibilidades de uso Sustentável dos Recursos**. Rios Eletrônica - Revista Científica da FASETE. 2011. Disponível em: <https://www.unirios.edu.br/revistarios/media/revistas/2011/5/a_regiao_semiarida_do_nordeste_do_brasil.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2021.

ASABRASIL. **Semiárido - É no semiárido que a vida pulsa!**. 2019. Disponível em: <<http://www.asabrasil.org.br/semiarido>>. Acessado em: 6 de mar. de 2021.

BLUESOL, Energia solar. **Painel Solar (Placa Solar): A Verdade Sobre o Preço e Como Funciona**. 2020. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/painel-solar-preco-e-como-funciona/>>. Acessado em 6 de mar. de 2021.

BOSCH. **BMP280 Digital Pressure Sensor**. Alemanha, 2020. Disponível em: <<https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bmp280-ds001.pdf>>. Acessado em: 6 de mar. de 2021.

BORRELLI, I. **Agrotechs como as startups estão revolucionando o agronegócio**. São Paulo: startse, 2017. pp.3-9. Disponível em: <https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms/files/13739/1503324784eBook_Agro.pdf>. Acesso em: 1 de mar. de 2021.

CASTRO, César N. **A agricultura no nordeste brasileiro: oportunidades e limitações ao desenvolvimento**. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em:

< <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1011/1/TD1786.pdf> > . Acessado em: 6 de mar. de 2021.

CAVALCANTI, N. Brito; RESENDE, G. M.; BRITO, L. T. L. **Tecnologias de convivência com a seca e os pequenos agricultores do semi-árido nordestino**. Petrolina/PE, 2003. Disponível em:

< <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/28475/1/OPB632.pdf> > . Acessado em: 6 de mar. de 2021.

CLIMATE-DATA. **Clima: Caraúbas**. 2018. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rio-grande-do-norte/caraubas-42636/>>. Acesso em: 26 maio 2021.

DFRobot. **Capacitive Soil Moisture Sensor SKU: SEN0193**. 2017. Disponível em:

< <https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/DFRobot%20PDFs/SEN0193web.pdf> > . Acessado em: 6 de mar. de 2021.

EEMB. **Lithium-ion Battery**. 2010. Disponível em:

< <https://www.ineltro.ch/media/downloads/SAAItem/45/45958/36e3e7f3-2049-4adb-a2a7-79c654d92915.pdf> > . Acessado em: 6 de mar. de 2021.

ESPRESSIF, Systems. **ESP32 Series - Datasheet**. 2021. Disponível em:

< https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf > . Acesso em: 5 maio 2021.

FERNANDES, Natalia. **O que é o protocolo MQTT?**. 2021. Disponível em: <<https://www.hitecnologia.com.br/blog/o-que-e-protocolo-mqtt/%20>>. Acesso em: 1 jun. 2021.

FISCH, G; VENDRAME, I. F; HANAOKA P. C. de M. **Variabilidade espacial da chuva durante o experimento LBA/TRMM 1999 na Amazônia**. Acta Amaz, v. 37, n. 4, Manaus, 2007. ISSN 0044-5967. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/aa/v37n4/v37n4a13.pdf>>. Acesso em: 06 maio 2021.

HAMES, P. R.; CACILHAS, L. E.; GONÇALVES, F. **Pluviômetro de Roda d'água**. S. ed., Florianópolis: Instituto Federal de Santa Catarina, 2009. Disponível em: < http://meteorologia.florianopolis.ifsc.edu.br/formularioPI/arquivos_de_usuario/20092C.pdf > . Acesso em: 5 maio 2021.

IBGE. **Semiárido Brasileiro**. 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15974-semiarido-brasileiro.html?t=sobre>>. Acesso em: 6 de mar. de 2021.

INMET. **Sobre meteorologia**. 2021. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/sobre-meteorologia> : :text=Portanto%2C%20os%20instrumentos%20meteorol%C3%B3gicos%20s%C3%A3o, local%2C%20%C3%A9%20denominada%20esta%C3%A7%C3%A3o%20meteorol%C3%B3gica.>. Acessado em: 6 de mar. de 2021.

JONES, R.; HAUFE, P.; SELLS, E.; IRAVANI, P.; OLLIVER, V.; PALMER, C.; BOWYER, A. **RepRap—the replicating rapid prototyper**. *Robotica*. v. 29, n. 01, p. 177-191, 2011.

KICAD. **Introduction to Pcbnew**. 2014. Disponível em: <<http://docs.kicad-pcb.org/5.0.2/en/pcbnew/pcbnew.html>>. Acessado em: 20 de mar. de 2021.

KIETZMANN, J.; PITT, L.; BERTHON, P. **Disruptions decisions and destinations: Enter. the age. of 3D printing. and additive. manufacturing**. *Business Horizons*. v. 58, n. 2, p. 209-215, 2015.

KÜCHLER, Osni Antônio et al. **Sistema para aquisição de dados pluviométricos**. XXX Encontro nacional de engenharia de produção, São Carlos, enegep, 2010. Disponível em:<http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_tnsto12178515489.pdf > .Acessoem : 26maio2018.

LAPIS. **ML8511 - UV Sensor with Voltage Output**. Japão, 2013. Disponível em: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/LightImaging/ML8511_3-8-13.pdf > .Acessoem : 6demar.de2021.

MAXIM. **DS18B20-PAR 1-Wire Parasite-Power Digital Thermometer**. EUA, 2021. Disponível em: <<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20-PAR.pdf>>. Acessado em: 6 de mar. de 2021.

MÉNDEZ, Dr. Alcides Juan León al et. **Coleta de chuva com registradores de cuvetes e seu pós-processamento**. Havana, 2013. ISSN 1680-0338. Disponível em: <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382013000200007 > .Acessoem : 5maio2018.

Push, Patrícia Barcelos; Guimarães, J. R.; Grassi, M. T. **Estimativa de cargas de metais a partir de fontes difusas de poluição urbana**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 17. 2007, São Paulo. 2007.

OKI. **Sensor device: Reed switch databook**. Japão, set. 2010. Disponível em: <<http://www.metaltex.com.br/downloads/OKI.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2021.

OLHAR DIGITAL. **Saiba tudo sobre o projeto starlink**. 2020. Disponível em: <<https://olhardigital.com.br/2020/06/05/ciencia-e-espaco/saiba-tudo-sobre-o-projeto-starlink/>>. Acesso em: 10 mar. 2021.

SILVA, F. Moreira; CHAVES, M. dos Santos; LIMA Z. Maria. **Sistema de coleta de dados meteorológicos**. Rio Grande do Norte, 2009. Disponível em: <<http://www.ead.uepb.edu.br/arquivos>

/cursos/GeografiaPARUAB/Fasciculos%20–%20Material/GeografiaFisicaI/GeoFisIA02MZGRSFsIsE250509.pdf > . Acesso em: 10 mar. 2021.

SILVA, F. Moreira; CHAVES, M. dos Santos; LIMA Z. Maria. **Variáveis meteorológicas**. Rio Grande do Norte, 2009. Disponível em: <*http://www.ead.uepb.edu.br/arquivos/cursos/GeografiaPARUAB/Fasciculos%20–%20Material/GeografiaFisicaI/GeoFisIA03IZGRSFsIsE250509.pdf*>. Acesso em: 15 mar. 2021.

SILVA, Nadison Francisco. **Desenvolvimento de um pluviômetro automático de baixo custo utilizando material reutilizável para internet das coisas**. Caraúbas/RN, 2018. Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Pró-Reitoria de Graduação, Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

SPACEEX. **Spacex**. 2021. Disponível em: <*https://www.spacex.com*>. Acesso em: 10 mar. 2021.

STARLINK. **Starlink**. 2021. Disponível em: <*https://www.starlink.com*>. Acesso em: 10 mar. 2021.

TOKEN. **Light-Dependent Photoresistors for Sensor Applications**. China, 2010. Disponível em: <*http://yourduino.com/docs/Photoresistor-5516-datasheet.pdf*>. Acessado em: 6 de mar. de 2021.

VISHAY, Semiconductors. **Reflective Optical Sensor with Transistor Output (TCRT5000, TCRT5000L)**. EUA, 2017. Disponível em: <*https://components101.com/asset/sites/default/files/component_datasheet/TCRT5000%20Datasheet.pdf*> . Acessado em: 6 de mar. de 2021.

WIKIWAND. **KiCAD**. 2012. Disponível em: <*https://www.wikiwand.com/pt/KiCad*>. Acesso em: 1 jun. 2021.