

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS COMPUTACIONAIS
PARA O AGRONEGÓCIO

FERNANDO ROBERTO ROCKENBACH

**PROJETO E FABRICAÇÃO DE UMA ESTRUTURA MODULAR PARA
O USO EM ESTACÕES METEOROLÓGICAS DE BAIXO CUSTO**

DISSERTAÇÃO

MEDIANEIRA-PR

2020

FERNANDO ROBERTO ROCKENBACH

**PROJETO E FABRICAÇÃO DE UMA ESTRUTURA MODULAR PARA
O USO EM ESTACÕES METEOROLÓGICAS DE BAIXO CUSTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio – PPGTCA – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Campus Medianeira, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio / Área de Concentração: Tecnologias Aplicadas à Produção Agrícola e Agroindústria.

Orientador: Prof. Dr. Paulo César Tonin

MEDIANEIRA-PR

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

R682p

ROCKENBACH, Fernando Roberto

Projeto e fabricação de uma estrutura modular para o uso em estações meteorológicas de baixo custo/ Fernando Roberto

Rockenbach, 2019

70 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Paulo César Tonin.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio. Medianeira, 2019.

Inclui bibliografias.

1. Arduino (Controlador programável). 2. Agricultura. 3. Meteorologia. 4. Tecnologias Computacionais- Dissertações. I. Tonin, Paulo César. orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio. III. Título.

CDD: 004

Biblioteca Câmpus Medianeira
Fernanda Cristina Gazolla Bem dos Santos CRB9-1735



TERMO DE APROVAÇÃO

**PROJETO E FABRICAÇÃO DE UMA ESTRUTURA MODULAR PARA O USO EM
ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DE BAIXO CUSTO**

Por

FERNANDO ROBERTO ROCKENBACH

Essa dissertação foi apresentada às oito horas e trinta minutos, do dia três de maio de dois mil e dezenove, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio, Linha de Pesquisa Tecnologias Computacionais Aplicadas À Agroindústria, no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio - PPGTCA, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____.

Prof. Dr. Paulo César Tonin (Orientador – PPGTCA)

Prof. Dr. José Airton Azevedo dos Santos (Membro Interno – PPGTCA)

Prof. Dr. Luciano Gebler (Membro Externo – Embrapa)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS por me guiar por este caminho e permitir a conclusão desta etapa em minha vida.

Ao meu orientador, PAULO CÉSAR TONIN, por compartilhar seus conhecimentos com dedicação e auxílio da concretização deste trabalho.

À UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio, pela oportunidade de crescimento profissional e pessoal, e à CAPES, pelo apoio concedido para desenvolvimento deste trabalho.

A todos os amigos e colegas que de alguma forma auxiliaram na realização desta pesquisa, em especial, CLÍSTENES FERNANDES E GABRIELA MICHELON, pelo apoio e colaboração.

A todos os PROFESSORES do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio, pelos ensinamentos disponibilizados em aula, cada um contribuindo para a conclusão deste trabalho, em especial, CLAUDIO BAZZI, pelo apoio, dedicação e compreensibilidade no auxílio deste trabalho.

À minha família, em especial a minha noiva, KEILA, que sempre esteve ao meu lado me encorajando e ajudando a vencer obstáculos, meu muito obrigado.

Por fim gostaria de agradecer a todos que de alguma forma contribuíram direta ou indiretamente para realização deste trabalho.

RESUMO

ROCKENBACH, Fernando Roberto. PROJETO E FABRICAÇÃO DE UMA ESTRUTURA MODULAR PARA O USO EM ESTACÕES METEOROLÓGICAS DE BAIXO CUSTO. 70 f. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira-PR, 2019.

Informações como temperatura ambiente, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, volume de chuvas, luminosidade, velocidade e direção do vento são úteis em aplicações de diferentes áreas para monitorar, prever e alarmar fenômenos climáticos e permitir o planejamento para tomada de decisões estratégicas. Estações meteorológicas possuem sensores implantados em locais remotos e por meio de um sistema computacional fazem a coleta e armazenamento dos dados de forma rápida, prática e frequente. Dessa forma, estações meteorológicas têm auxiliado na maximização da produção agrícola e redução de impactos ambientais, pois por meio de informações coletadas em uma área de cultivo é possível realizar o controle adequado da lavoura e obter um desenvolvimento mais sustentável. Com o propósito de fornecer uma estação meteorológica simples, prática de ser montada e de baixo custo para auxiliar no manejo agrícola, este trabalho possui embasamento teórico sobre a importância das variáveis climáticas e quais os materiais necessários e instruções que auxiliem a criar sua própria estação meteorológica para coletar dados de volume da chuva, direção e velocidade do vento, nível de radiação solar, temperatura ambiente, pressão e umidade relativa do ar. Para montar a estação meteorológica deste trabalho, utilizou-se uma estrutura metálica, com instalação das peças responsáveis por captar as variáveis do tempo ligadas a um hardware Raspberry Pi®. Desenvolveu-se um módulo computacional para realizar a leitura dos dados captados, os quais foram armazenados em um cartão de memória. Comparou-se os dados climáticos coletados pela estação meteorológica montada neste trabalho e a de uma estação comprada pronta e por meio das análises estatísticas, concluiu-se que o protótipo montado neste trabalho se mostrou capaz de coletar os dados climáticos com precisão equivalente a estação meteorológica comprada e com economia de 59% no custo final.

Palavras-chave: Raspberry Pi, tempo, *Internet das coisas*, agricultura.

ABSTRACT

ROCKENBACH, Fernando Roberto. DESIGN AND MANUFACTURE OF A MODULAR STRUCTURE FOR USE IN LOW COST METEOROLOGICAL STATIONS. 70 f. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira-PR, 2019.

Information such as environment temperature, relative humidity, atmospheric pressure, rainfall volume, brightness, wind speed and direction are useful in applications in different areas to monitor, predict and alarm climatic phenomena and allow planning strategic decision making. Weather stations have sensors deployed in remote locations and through a computer system make the collection and storage of the data quickly, practical and frequently. In this way, meteorological stations have assisted in the maximization of agricultural production and reduction of environmental impacts, because through information collected in a field of cultivation it is possible to carry out adequate control of the crop and to obtain a more sustainable development. With the purpose of providing a simple, low-cost and practical weather station to assist in agricultural management, this work has a theoretical basis on the importance of climatic variables and what materials and instructions help to create their own meteorological station to collect data on rainfall volume, direction and wind speed, solar radiation level, ambient temperature, pressure and relative humidity. To assemble the weather station of this work, a metallic structure was used, and some pieces responsible for capturing the time variables were connected to a Raspberry Pi® hardware. Also, a computational module was developed to read the captured data, which was stored on a memory card. The climatic data collected by the meteorological station assembled in this work was compared to the one of a station bought ready and through the statistical analyzes, it was concluded that the prototype assembled in this work was able to collect the climatic data with precision equivalent to season purchased saving of 59% in the final cost.

Keywords: Raspberry Pi, weather, *Internet of Things*, agriculture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Projeção do clima para o ano de 2010 com nível de confiabilidade.	14
Figura 2 - Tendências de secas na região do Paraná.....	15
Figura 3 – Tipos de estação meteorológica: convencional (a) e automática (b).....	17
Figura 4 - Estações Meteorológicas automáticas do INMET no Brasil.....	17
Figura 5 - Bateria estacionária.	19
Figura 6 - Placa micro controladora Arduino® UNO.	20
Figura 7 - Raspberry Pi® 3 modelo B.	21
Figura 8 - Pluviômetro automático.....	21
Figura 9 - Anemômetro com biruta automático.	22
Figura 10 - Sensor de umidade relativa e temperatura DHT22.....	23
Figura 11 - Sensor de umidade do solo higrômetro.	24
Figura 12 - Sensor de raio ultravioleta UV UVM-30A.....	25
Figura 13 - Sensor de temperatura e pressão atmosférica BMP180.....	26
Figura 14 - Constituição de um painel solar.	27
Figura 15 - Ilustração de um módulo e antena wireless	27
Figura 16 – Horta experimental onde instalou-se a estação meteorológica para coleta de dados	32
Figura 17 – Desenho representativo da horta e da localização do sensor de umidade do solo, aspersores de irrigação e da estação meteorológica.	33
Figura 18 – Projeto estrutural 3D da estação meteorológica realizado a partir do software <i>SolidWorks</i> ®.....	34
Figura 19 – Projeto estrutural 2D da estação meteorológica	35
Figura 20 – Início da montagem da estrutura.....	35
Figura 21 – Base de concreto para fixação.....	36
Figura 22 – Tubo galvanizado de 70 cm	37
Figura 23 – Caixa de passagem.....	37
Figura 24 – Estação meteorológica pronta.....	38
Figura 25 - Demonstrativo do funcionamento de uma estação meteorológica automática, a qual foi tomada com base para o desenvolvimento da estação neste trabalho.	39

Figura 26 – Pluviômetro para medir volume de chuva.	40
Figura 27 – Anemômetro para medir a velocidade do vento.....	41
Figura 28 – Anemoscópio para medir a direção do vento.....	42
Figura 29 – Bateria para armazenamento de energia.....	42
Figura 30 – Painel solar para coletar energia solar.....	43
Figura 31 – Sensor de radiação solar UV.	44
Figura 32 - Instalação do sensor DHT22, anemômetro e direção do vento utilizando	44
Figura 33 – Conexões dos sensores ao Raspberry Pi®.....	45
Figura 34 - Placa de Fenolite cobreada para conexões.....	45
Figura 35 – Gráfico de linhas dos dados de (a) temperatura ambiente e (b) pressão atmosférica coletados pelas estações montada e comprada.....	49
Figura 36 - Gráfico de linhas dos dados de (a) umidade relativa do ar e (b) velocidade do vento coletados pelas estações montada e comprada.....	50

LISTA DE SIGLAS

ABS	Acrilonitrila butadieno estireno
BI	<i>Business Intelligence</i>
CAD	Computer Aided Design
CPU	<i>Central Process Unit</i>
CSI	<i>Camera Serial Interface</i>
CV	Coeficiente de Variação
DSI	<i>Display Serial Interface</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
GPIO	General Purpose Input/Output
GPU	<i>Graphics Processing Unit</i>
IAC	Instituto Agrônomo de Campinas
IAPAR	Instituto Agrônomo do Paraná
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IoT	<i>Internet of Things</i>
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
RFID	<i>Radio-Frequency IDentification</i>
SIMEPAR	Sistema Meteorológico do Paraná
SoC	<i>System-on-a-chip</i>
UV	ultravioleta

LISTA DE SÍMBOLOS

Ah	Ampère Hora
cm	Centímetro
g	Gramma
kg	Quilograma
km/h	Quilômetro por Hora
m	Metro
m ²	Metro Quadrado
mL	Mililitro
mm	Milímetro
s	Segundo
v	Volt
W	Watt
W/m ²	Watts por Metro Quadrado
%	Porcentagem
°	Grau
°C	Grau Celsius
°S	Grau Sul
μA	Microampère

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
1.1 OBJETIVO GERAL	8
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
1.3 JUSTIFICATIVA	9
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
2.1 INTERNET OF THINGS	10
2.2 INTERNET OF THINGS NA AGRICULTURA	11
2.3 CLIMA NO BRASIL E NO ESTADO DO PARANÁ	13
2.4 ESTAÇÃO METEOROLÓGICA	16
2.4.1 Componentes da Estação Meteorológica	18
2.5 TRABALHOS CORRELATOS	29
3 MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1 METODOLOGIA PARA DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	31
3.2 ÁREA E DADOS EXPERIMENTAIS	31
3.3 PROJETO ESTRUTURAL	34
3.4 MONTAGEM DA ESTRUTURA METÁLICA	36
3.5 COMPONENTES E SENSORES UTILIZADOS	38
3.6 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
4.1 COMPARAÇÃO E ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DA ESTAÇÃO MONTADA E DA ESTAÇÃO COMPRADA	47
4.2 INSTRUÇÕES PARA MONTAGEM DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA	50
5 CONCLUSÕES	54
6 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	55
REFERÊNCIAS	56
APÊNDICE A – CÓDIGOS UTILIZADOS PARA COLETA E TRANSMISSÃO DE DADOS PELOS SENSORES	63

1 INTRODUÇÃO

Monitorar o clima permite fornecer informações momentâneas sobre temperatura e a umidade relativa do ar, pressão atmosférica, volume de chuvas, luminosidade, velocidade e direção do vento. Essas informações são úteis em aplicações de diferentes áreas, tais como agricultura, indústria, militar e de entretenimento, auxiliando no monitoramento, previsão e alarme de fenômenos climáticos, permitindo o planejamento para tomada de decisões estratégicas (MORÓN et al., 2018; POPA e IAPA, 2011).

Atualmente, devido às mudanças do clima, a sociedade tem demonstrado maior interesse em buscar dados climáticos para o desenvolvimento de políticas de controle e utilização dos recursos naturais de forma sustentável, visando preservar estes recursos finitos para as gerações futuras (OLIVEIRA, 2012; IPCC, 2014).

Uma das formas de se buscar um desenvolvimento sustentável é substituir as práticas convencionais da agricultura por práticas de agricultura inteligente. A agricultura inteligente é uma forma de gerenciar as aplicações de insumos agrícolas de forma localizada e em quantidades precisas com base na variabilidade espacial e temporal do campo, a fim de obter maiores produções, diminuir os custos e os impactos ambientais. Nesse contexto, o clima é um dos parâmetros da variabilidade temporal e espacial do campo mais influentes e que determinam o crescimento e desenvolvimento das plantas (TENZIN et al., 2017).

Uma das soluções existentes para monitorar o tempo e o clima são as estações meteorológicas, as quais são compostas por equipamentos que possuem sensores capazes de captar dados do tempo e clima (SUGIARTO e DJAELANI, 2015). No entanto, os equipamentos profissionais utilizados para coleta de informações mais precisas nas estações meteorológicas, geralmente, possuem maior complexibilidade em suas operações, além do custo elevado, o que acaba por restringir o seu uso (DE ARAUJO ELIAS et al., 2014)

Com o advento da *Internet of Things* (IoT) também surgiram estações meteorológicas inteligentes, onde os dispositivos de coleta de dados são implantados em locais remotos e por meio de um sistema computacional, é possível que o usuário acesse os dados de qualquer local e por qualquer dispositivo conectado à Internet. Em comparação com as estações meteorológicas tradicionais

as estações meteorológicas inteligentes reduzem o custo de manutenção e o trabalho humano para monitoramento. Além disso, o banco de dados utilizado para armazenamento dos dados meteorológicos pode ser acessado a qualquer momento remotamente para explicar ou buscar prever eventos climáticos (MITTAL et al., 2015).

Portanto, o monitoramento meteorológico em tempo real é uma das maneiras mais eficazes de obter informações climáticas que auxiliam na maximização da produção agrícola e redução de impactos ambientais. Dessa forma, estações meteorológicas inteligentes são indispensáveis na agricultura para controle adequado da lavoura, além de auxiliar a coleta de informações e alavancar o desenvolvimento sustentável.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal do trabalho é realizar o projeto e a montagem de um protótipo de uma estação meteorológica inteligente, desenvolvendo um equipamento simples, prático e de baixo custo para montagem, com o propósito de viabilizar o controle meteorológico para planejamento agrícola da lavoura.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Criar um projeto de estrutura de estação meteorológica inteligente utilizando um software de desenho assistido por computador (CAD, do inglês Computer Aided Design);
- b) Fabricar e montar o protótipo projetado utilizando o hardware Raspberry Pi®;
- c) Comparar o custo e a precisão dos dados coletados das duas estações meteorológicas.

1.3 JUSTIFICATIVA

O uso das estações meteorológicas tem grande importância para agricultura, pois com o monitoramento climático é possível desenvolver um planejamento eficaz para a lavoura, como no manejo de irrigação de precisão, onde sensores de umidade registram a entrada e saída de água, possibilitando quantificar a necessidade hídrica da planta evitando desperdícios (RAO e SRIDHAR, 2018). Além disso, estações meteorológicas permitem prever e registrar informações de precipitação, velocidade e direção dos ventos e a temperatura em determinados períodos, as quais influenciam diretamente no desenvolvimento de plantas (TENZIN et al., 2017).

Com a tecnologia da *IoT*, viabiliza-se a automação das estações meteorológicas, aprimorando a praticidade e confiabilidade nas aquisições dos dados (KODALI e MANDAL, 2016). Neste contexto, para incentivar o desenvolvimento sustentável, é preciso fornecer um norte para agricultores e demais interessados de como desenvolver seu próprio protótipo com menor custo de aquisição, fazendo a escolha dos sensores climáticos que lhe forem convenientes para estruturar estações meteorológicas de baixo consumo energético, simples e prática para montar.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão abordados assuntos relacionados ao conceito de estações meteorológicas, *IoT* em sua vasta aplicação e mais especificamente no cenário agrícola. Também são apresentadas as características do clima no Brasil e na região Paranaense, onde conduziu-se o experimento realizado neste trabalho.

2.1 INTERNET OF THINGS

O termo “Internet das Coisas” teve seu primeiro relato em 1999 em uma palestra de Kevin Ashton, onde um grupo estava realizando pesquisas para a identificação por rádio frequência (RFID, em inglês *Radio-Frequency IDentification*) (LEMOS, 2012 e EVANS, 2011).

Segundo Singer (2012), a Internet das Coisas é utilizada para definir processos que envolvam objetos conectados em rede, com a finalidade de produzir ou processar informação em tempo real e de forma independente. A Internet das Coisas é considerada uma infraestrutura de rede dinâmica, onde as "coisas" físicas e virtuais tem identidade, atributos e personalidade, e desse modo são capazes de interagir e comunicar-se entre si e com o ambiente por meio da troca de dados na rede mundial (CERP, 2009).

Os objetos conectados em rede podem ser usados em diversas situações e são entendidos como mais uma nova tecnologia cotidiana. Singer (2012) cita alguns exemplos do emprego da *IoT*, como em uma escola da Bahia onde foram instaladas etiquetas de RFID nos uniformes dos alunos, com o objetivo de detectar a entrada na escola, e em caso de ausência, uma mensagem é enviada no celular dos pais do estudante. Outro exemplo é aplicado no setor da segurança e transporte do Rio de Janeiro, onde câmeras e sensores exibem o trânsito e outras ocorrências em tempo real para um telão no Centro de Operações, permitindo que os responsáveis possam resolver alguns problemas urbanos.

Se observarmos o impacto que a Internet já teve na educação, comunicação, negócios, pesquisa, segurança e em diversos setores da sociedade,

pode-se dizer que a *IoT* será uma tecnologia que mudará e moldará a sociedade, melhorando a coleta, análise e a distribuição dos dados que poderão ser transformados em informação e conhecimento. Desse modo, uma das vantagens da *IoT* é que ela permitirá que a sociedade entenda melhor o planeta possibilitando beneficiar a gestão dos recursos naturais. Porém ainda existem alguns desafios que prejudicam o seu desenvolvimento, como a transição para IPv6 (versão mais atual do Protocolo de Internet), necessidade da criação de sensores autossustentáveis e o desenvolvimento de padrões comuns. Embora existam desafios para a implantação da *IoT*, esses problemas podem ser resolvidos e estudados, por isso é essencial que empresas, instituições acadêmicas e o governo trabalhem para encontrar soluções e formas de expandir (EVANS, 2011).

A pesquisa é essencial para resolver problemas tecnológicos e produzir objetos com funções e padrões que atendam a real necessidade das pessoas. Um objeto ideal deve permitir a interação do usuário com o ambiente, aumentando a individualidade do objeto, porém o poder na tomada de decisão e autonomia deve ficar por parte dos usuários (LACERDA E LIMA-MARQUES, 2015).

A previsão é que em 2020 haverá no mundo 34 bilhões de dispositivos conectados à Internet (*smartphones*, computadores, *tablets*, *smartTVs*, relógios inteligentes e *IoT*), a soma desses dispositivos resultarão ao equivalente a quatro dispositivos para cada ser humano. A *IoT* pretende revolucionar todas as coisas, afetando o espaço doméstico, social, econômico, urbano e governamental, pois conforme cálculo obtido pela *Business Intelligence* (BI), a *IoT* demandará de um investimento de US\$ 6 trilhões entre os anos de 2015/2020, segundo pesquisas, porém, pesquisadores esperam que esta tecnologia traga retornos de até US\$ 12,6 trilhões entre os anos de 2015-2025 (SILVA, 2016).

2.2 INTERNET OF THINGS NA AGRICULTURA

Segundo pesquisas da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* – FAO, (2017), até 2050 a produção agrícola mundial precisa crescer 60%, porém, estima-se que a área agricultável crescerá apenas 5% (ALBERTIN e ALBERTIN, 2017), o que leva a interpretar que no cenário atual da agricultura, a

área de plantio não segue o acelerado aumento da população mundial, sendo fundamental a busca por ferramentas que melhorem o uso dos recursos agrícolas e aumentem o potencial produtivo de áreas agrícolas já existentes, com o menor custo possível de produção (ROSA, 2017).

De acordo com SARNO (2015), a *IoT* é uma das tecnologias existentes que permite a aplicação adequada e regular de fertilizantes, além de levar ao aperfeiçoamento da execução de atividades como plantio, poda e colheita, e a melhoraria na tomada de decisões, por meio do uso de sensores e drones. Porém, é importante destacar que somente a *IoT* não oferece toda capacidade de ganho, tornando fundamental sua combinação com outras ferramentas, como ferramentas de *big data*, *analytics*, inteligência preditiva e cognitiva.

A *IoT* no campo traz inúmeros benefícios, como a assertividade na tomada de decisões e na utilização dos recursos disponíveis, melhora da qualidade do plantio e aplicações de defensivos agrícolas de forma adequada em quantidades necessárias no momento mais oportuno, além de auxiliar a minimizar as perdas, e conseqüentemente, a aumentar os lucros. Diversas funções podem ser realizadas com o emprego da *IoT* no campo, como amostrador hidráulico de solo, estação meteorológica automática, agricultura de precisão, monitoramento da água no solo, georreferenciamento, drones, comando de irrigação e controle da evapotranspiração. Apesar dos benefícios que a *IoT* proporciona para a agricultura, existem algumas barreiras para sua adoção efetiva no campo, como o custo dos dispositivos e a falta de conhecimento e acesso à tecnologia por parte dos produtores rurais (ROSA, 2017).

Para Silva (2017), a *IoT* permite solucionar problemas no campo e possibilita que a agricultura familiar tenha condições mais dignas e sustentáveis no semiárido nordestino, região na qual, a falta de água é constante, visto que sensores podem medir variáveis de umidade do solo e da temperatura do ambiente para realizar a irrigação de precisão, contribuindo para o meio ambiente por meio de gestão otimizada dos recurso hídricos.

Para Lemos (2016), a implantação da *IoT* na agricultura afetará vários setores da cadeia produtiva do agronegócio, podendo ser útil para o produtor rural e também contribuir para o crescimento de setores como do *marketing*, da logística, do seguro, do financiamento e da revenda de implementos agrícolas.

2.3 CLIMA NO BRASIL E NO ESTADO DO PARANÁ

Analisando os eventos climáticos ocorridos no Brasil nos últimos 30 anos, é possível observar um aumento em relação à frequência das chuvas torrenciais no verão e também no inverno na parte sul e sudeste do país. No entanto, durante essa mesma época, houve também situações de secas e enchentes na Amazônia, essas regiões foram afetadas restringindo sua capacidade hídrica para abastecimento da população, sendo que na região sudeste ocorreu uma seca que não fora vista há mais de 80 anos. O aumento da temperatura nos últimos 50 anos está preocupando órgãos mundiais e pesquisadores que buscam minimizar os efeitos destrutivos que têm sido potencializados pela humanidade (MARENGO, 2014).

De acordo com Cavalcanti (2016), o clima na América do Sul é afetado pelas frentes frias que passam durante todo o ano, na maioria das vezes elas se deslocam do sudoeste para o nordeste. No inverno, as frentes frias são acompanhadas de massas de ar que provocam geadas nas áreas do sul e sudeste do Brasil. Eventualmente, essas frentes frias passam em latitudes baixas na parte oeste da Amazônia e sobre a costa nordeste do país. Na estação do verão, as frentes frias se deslocam para o norte em direção ao equador, podendo haver a interação com o ar úmido e quente tropical, e provocar o excesso de chuvas no continente que resultam em ventos fortes, inundações, deslizamentos e granizo. Esses eventos normalmente causam grandes danos às cidades e a perda de produção de grãos nas regiões agricultáveis.

Segundo Marengo (2014), é possível observar na projeção da Figura 1, a confiabilidade alta para a previsão no ano de 2010, onde se previa o aumento da temperatura e das ondas de calor na maioria das regiões exceto no oeste Amazônico, e um aumento de temperatura de 4 a 6°C para o norte e diminuição das geadas nas regiões centro-oeste, sudeste e sul do país. Já com confiabilidade média é possível visualizar a diminuição das chuvas na parte norte com redução de 1,5mm e nordeste com 2,5mm ao dia nas estações chuvosas, aumento das chuvas no sul, sendo que nas regiões sul, sudeste, centro-oeste e oeste da Amazônia essas chuvas se tornam extremas e com menos relevância o cenário demonstra aumento das secas para o norte e nordeste do Brasil.

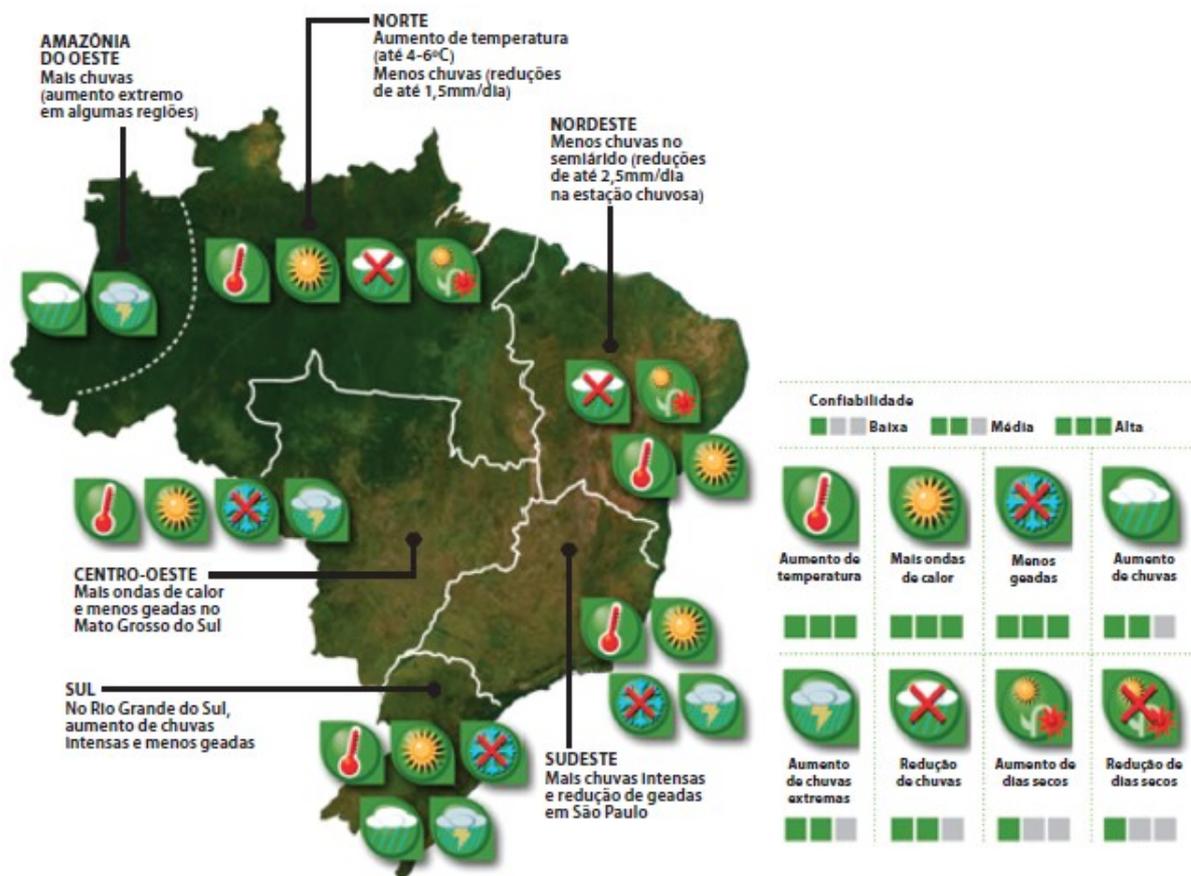


Figura 1 - Projeção do clima para o ano de 2010 com nível de confiabilidade.

Fonte: Inpe; Margulis e Debeux (2010).

Conforme Mendonça e Danni-oliveira (2017), as temperaturas no Brasil têm um padrão de distribuição energético global latitudinal das zonas climáticas, devido sua localização geográfica e sua disposição territorial. Isto é evidenciado pelo padrão de temperatura crescente que segue do sul ao norte do país.

O Paraná se localiza na transição entre os trópicos com latitudes aproximadas entre 22 e 27°S, possui relevo acidentado devido à presença da Serra do Mar na região sudeste e no sul pela Serra Geral. A variação espacial e temporal nos regimes de precipitação e temperatura do ar é notavelmente influenciada pelos oceanos Atlântico e Pacífico (SILVA et al., 2015b).

A Figura 2, extraída do estudo conduzido por Quadros (2017), pode trazer interpretações das tendências de aumento, diminuição ou estabilidade das precipitações no Paraná durante o período de 1980 a 2050. Na parte do norte central, norte pioneiro, centro oriental e sudeste apresentaram tendências crescentes. A mesorregião metropolitana e noroeste demonstrou-se ter tendência de aumento, porém com pontos sem tendência e o centro sul e sudoeste obtiveram

pontos com tendência crescente e decrescente. No entanto, observa-se a tendência do aumento das chuvas em praticamente todo o Paraná, com exceção do oeste e centro-oeste que permanecem estáveis.

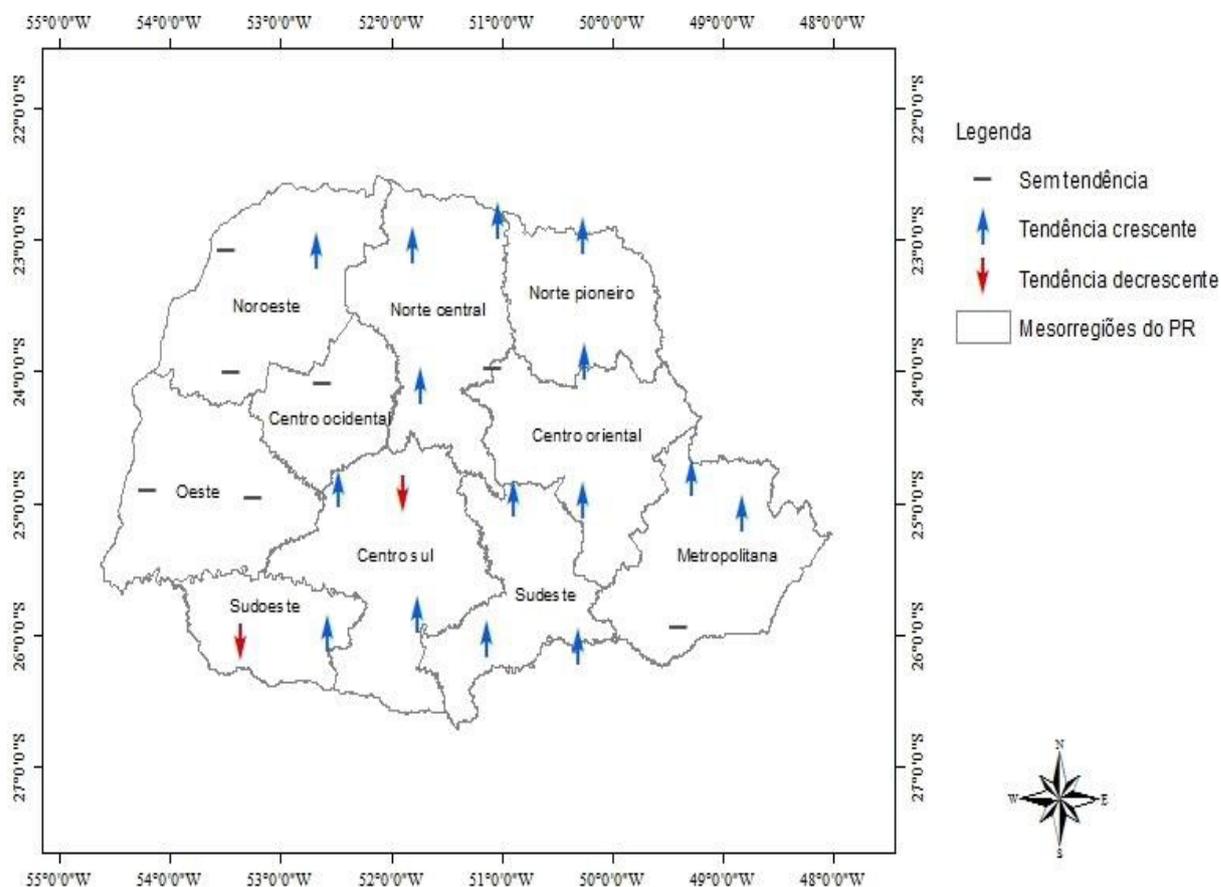


Figura 2 - Tendências de secas na região do Paraná.

Fonte: Quadros (2017).

De acordo com a pesquisa sobre o clima na região do Paraná realizada por Melo et al. (2015), as projeções para o ano de 2100 ao estado revelam o aumento das temperaturas de forma impactante que supostamente afetará notavelmente a reorganização dos sistemas naturais. Sendo que as regiões oeste, noroeste e norte central seriam as mais afetadas por essas mudanças climáticas. Silva et al., (2015b), em sua pesquisa também observou a tendência de elevação da temperatura no estado do Paraná, sendo que a porcentagem de elevação anual ficou em torno de 0,1 e 0,4%.

Para Júnior e Neto (2016), as chuvas no estado do Paraná apresentam distribuição regional contínua, entretanto as chuvas locais apresentam associação

aos mecanismos climáticos regionais. É possível identificar correlações positivas para a região oeste e noroeste e negativas na parte leste e litorânea do estado.

2.4 ESTAÇÃO METEOROLÓGICA

Uma estação meteorológica é composta por sensores e instrumentos que realizam a captação de dados climáticos diários, como a umidade e temperatura do ar, velocidade e direção do vento, pressão atmosférica, radiação solar e volume de chuvas. Este equipamento tem grande importância aos agricultores que pretendem entender sobre seu funcionamento na agricultura, pois auxilia na tomada de decisões. Existem as estações convencionais, as quais exigem a presença diária de uma pessoa para realizar a coleta dos dados; e as automáticas, onde são realizadas as coletas de dados por sinais elétricos captados por um datalogger que realiza seu armazenamento (SANTOS E BALBINO, 2018).

Na Figura 3 (a) é possível visualizar uma estação meteorológica convencional e uma estação automática na Figura 3 (b), as quais captam dados de velocidade e direção do vento, volume pluviométrico e sensores de temperatura do ar, umidade do ar e pressão atmosférica.

Para instalação de uma estação meteorológica, deve-se buscar um local adequado que fique na área de interesse de monitoramento livre de agentes interferentes, como construções e árvores, pois podem afetar a mensuração da velocidade e direção do vento, temperatura e umidade do ar, radiação e precipitação atmosférica. Sugere-se deixar a estação meteorológica em local plano, longe de instalações elétricas que possam gerar interferência e longe de obstáculos para não haver problemas com a transmissão de dados, com uma distância recomendada dos obstáculos de 10 vezes sua altura própria, isto é, se uma árvore possui 10 m de altura, a estação deverá ser montada a 100 m de distância (LEMOS, 2018).



Figura 3 – Tipos de estação meteorológica: convencional (a) e automática (b).

Fonte: Agrosmart (2018).

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) possui atualmente 500 estações meteorológicas automáticas (EMA) e 258 estações convencionais (Figura 4).

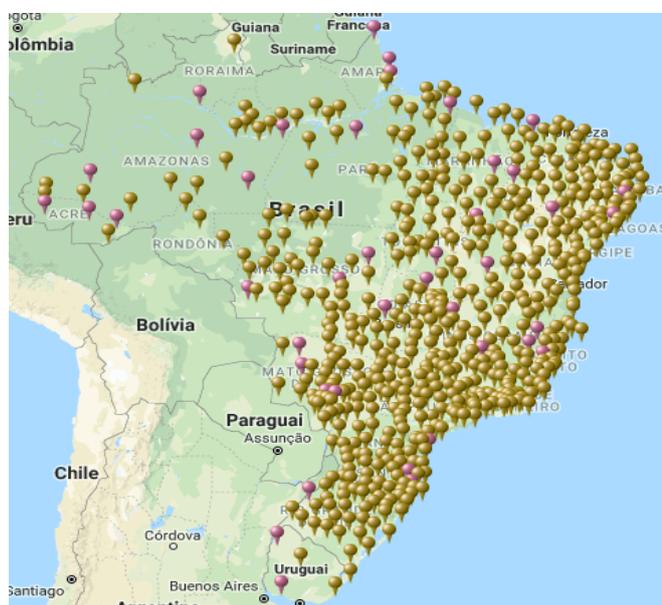


Figura 4 - Estações Meteorológicas automáticas do INMET no Brasil.

Fonte: INMET (2018).

A coleta dos dados climáticos (temperatura instantânea do ar, temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar, umidade relativa instantânea do ar, umidade relativa máxima do ar, umidade relativa mínima do ar, temperatura

instantânea do ponto de orvalho, temperatura máxima do ponto de orvalho, temperatura mínima do ponto de orvalho, pressão atmosférica instantânea do ar, pressão atmosférica máxima do ar, pressão atmosférica mínima do ar, velocidade instantânea do vento, direção do vento, intensidade da rajada do vento, radiação solar, precipitação acumulada no período) é realizada de minuto em minuto. No entanto, de hora em hora estes dados são integrados ao sistema e disponibilizados para sede do INMET em Brasília via rede de telefonia celular ou satélite, e após são passados por um controle de qualidade e armazenados em um banco de dados, sendo disponibilizados gratuitamente via internet aos usuários interessados (INMET, 2018).

Não menos importante no Brasil, a rede de estação meteorológica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), assim como a do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), possui várias estações pelo país onde seus dados também podem ser acessados via internet. Existem outras redes coordenadas também pelos estados, como no Paraná, o Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) juntamente com o Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR). A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e outras empresas privadas também realizam o controle de redes de estações meteorológicas (SANTOS E BALBINO, 2018).

2.4.1 Componentes da Estação Meteorológica

Alguns dos componentes necessários para construção de protótipo de estação meteorológica são:

Bateria: em sistemas autônomos as baterias são fundamentais para armazenamento de energia, pois são elas que garantem o funcionamento constante dos aparelhos. No entanto, devem-se tomar alguns cuidados na hora de sua escolha, devido ao seu tipo de uso e dimensionamento dos equipamentos que serão ligados a ela (COPETTI e MACAGNAN, 2007).

De acordo com Teixeira *et al.* (2016), o painel fotovoltaico em conjunto com a bateria funciona da seguinte forma, durante a noite o dispositivo é alimentado pela

bateria enquanto isso na parte diurna, além do painel carregar a bateria ele garante a funcionalidade do equipamento.

Para este projeto, as baterias estacionárias (Figura 5), são as mais recomendadas, pois são fabricadas com materiais de qualidade alta, o que promove maior duração de carga, podendo sofrer descarga de até 80% sem serem afetadas. A vida útil das baterias estacionárias pode durar em torno de 5 anos a 10 anos além de possuir maior custo-benefício para armazenamento de energia solar (DMESG, 2018).



Figura 5 - Bateria estacionária.

Fonte: Moura (2018).

Arduino[®]: é um pequeno computador, onde é possível realizar a programação para processamento de entradas e saídas de componentes nele conectados, como sensores, motores e receptores. Desde o início de sua fabricação em 2005 até 2011, aproximadamente mais de 500 mil unidades da placa microcontroladora já haviam sido vendidas. Devido sua popularidade crescente e seu potencial, facilidade e agilidade para criação de projetos, cada vez mais as pessoas vão criando interesse para seu uso (MCROBERTS, 2011).

No Arduino[®] é possível instalar qualquer sistema operacional e programar um software apenas com a utilização de cabo USB (BANZI, 2011). Na Figura 6 é possível visualizar a placa Arduino[®] UNO.

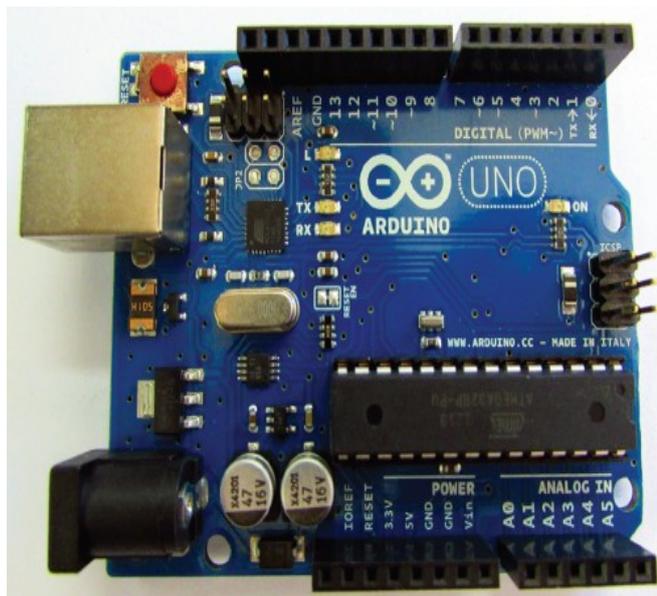


Figura 6 - Placa micro controladora Arduino[®] UNO.

Fonte: Silva et al. (2015a).

Teixeira *et al.* (2016) afirmam que a utilização do microcontrolador Arduino[®] é muito útil, pois é capaz de auxiliar na determinação dos fatores climáticos e de forma contínua e autônoma monitorar essas variáveis, desde que haja a devida calibração dos mesmos. Fernandes *et al.* (2013) relatam que sua utilização para obtenção de dados meteorológicos é satisfatória quando comparado a estações meteorológicas digitais convencionais.

Autores como Babaev *et al.* (2018), Rao e Sridhar (2018) e Rau *et al.* (2017) passaram a substituir o Arduino[®] por Raspberry Pi[®] para montar estações meteorológicas, pois segundo eles, é uma plataforma mais completa e mais adequada para projetos complexos envolvendo processamento de software. O Raspberry Pi[®] 3 modelo B, por exemplo (Figura 7), é um processador multi-core ARMv7 atualizado e possui Gigabytes de RAM. Pode ser conectado à internet usando um cabo Ethernet ou usando um *dongle* WIFI e fornece conectividade Bluetooth. Para softwares em Raspberry Pi[®], pode ser utilizada a linguagem de programação Python, a qual é uma linguagem de programação de alto nível e sua sintaxe permite que o usuário escreva o código em menos linhas se comparado a linguagens como C++ e Java. Python também suporta estilos de programação orientados a objetos, imperativos e funcionais (SUNEHRA e GOUD, 2016).



Figura 7 - Raspberry Pi[®] 3 modelo B.

Fonte: Raspberry (2019).

Pluviômetro: de acordo com Cemaden (2018), o pluviômetro automático (Figura 8), é um equipamento meteorológico capaz de realizar o armazenamento e medição do volume de água precipitada em milímetros durante certo tempo, sendo que os dados são repassados para um sistema que realiza o armazenamento em tempo integral. Existem vários pluviômetros automáticos de balança, os quais registram dados com amostras que variam entre 0,1 a 0,25 mm dependendo o modelo.



Figura 8 - Pluviômetro automático.

Fonte: Cemaden (2018).

Os pluviômetros automáticos possuem sensores tipo balança e podem ser construídos de plástico acrílico, nitrila, butadieno estireno (ABS) e sua alimentação pode ser realizada com bateria de 9V externa ou painel solar. São desenvolvidos com baixo custo sendo realmente práticos e eficientes na coleta de dados pluviométricos (CEMADEN, 2018).

Anemômetro e anemoscópio: anemômetro tem por finalidade medir a velocidade do vento sendo possível encontrar vários modelos deste equipamento, no entanto, os mais utilizados são rotacionais tipo concha (rotor horizontal) e o “aviãozinho” onde a rotação é realizada sobre o eixo horizontal (Figura 9). De modo simples são compostos por um conjunto de conchas (não dependem da direção do vento) ou hélices (possuem um leme integrado para direcioná-lo no sentido do vento), as quais são ligadas a um rotor elétrico que por um sistema realiza a medição e gravação dos dados. Enquanto o anemoscópio (biruta) verifica a direção do vento, giram sobre um eixo vertical e assim o sistema é informado sobre cada movimento realizado (NETTO, 1999).



Figura 9 - Anemômetro com biruta automático.

Fonte: Kit (2018).

Sensor de umidade relativa do ar e temperatura: a evaporação que ocorre d'água dos solos, oceanos, lagos, represas, rios e das atividades biológicas, causa o deslocamento de vapor d'água para a atmosfera. Para realizar a estimativa da umidade relativa do ar é relacionado a pressão de vapor de água e a pressão de saturação em determinado momento. O vapor d'água encontrado na atmosfera

mantém-se constante ao longo do dia, porém, durante a manhã é período que a umidade relativa do ar está mais alta e a noite atinge seu mínimo, o que ocorre devido a umidade oscilar de acordo com a variação de temperatura (FINHOLDT et al, 2011).

O DHT22 (Figura 10), é um sensor capaz de realizar a medição da temperatura entre os valores de -40 e 80°C e umidade relativa do ar entre 0 e 99,9%, sua alimentação é de 5V, precisão de medição de temperatura $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, precisão umidade $\pm 5\%RH$ e tempo de resposta 2s. Este sensor é ideal para identificação da temperatura e umidade na agricultura, pois com a obtenção desses dados é possível realizar uma análise do melhor procedimento a ser realizado nas culturas (OLIVEIRA e SOUZA, 2013).

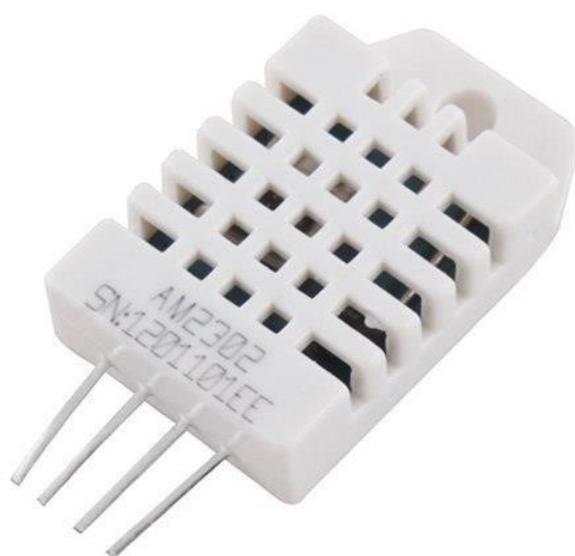


Figura 10 - Sensor de umidade relativa e temperatura DHT22.

Fonte: Sensor (2018a).

Sensor de umidade do solo higrômetro: de acordo com Bayer et al. (2013), no Brasil geralmente o estresse hídrico ocorre na estação do inverno e para solucionar este problema deve-se garantir o melhor aproveitamento hidrológico para as culturas implantadas realizando o controle da umidade do solo, este é um dos principais fatores para garantir melhores resultados no campo.

O tipo de sensor ilustrado na Figura 11 pode detectar a variação de temperatura e umidade no solo, funcionando da seguinte maneira, quando ocorrem precipitações e o solo fica com umidade, a saída do sensor fica em estado baixo e

quando o solo se encontra seco, a saída permanece em estado alto. Sua tensão de operação varia entre 3,3-5v. (SENSOR, 2018b).

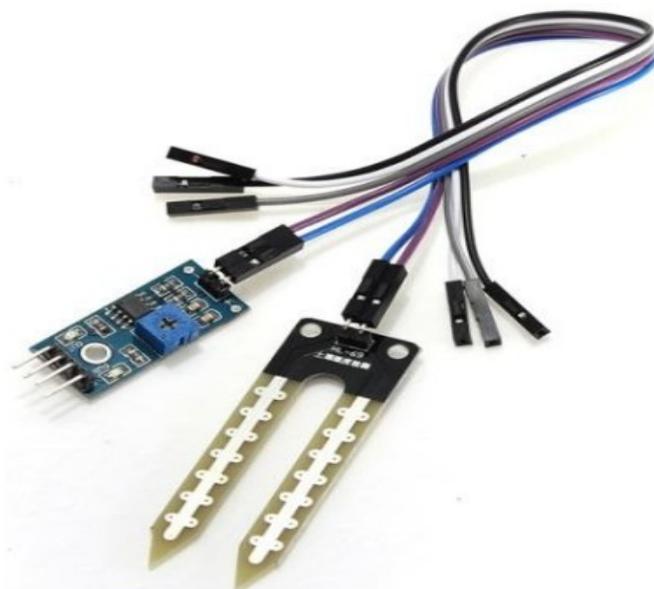


Figura 11 - Sensor de umidade do solo higrômetro.

Fonte: Sensor (2018b).

Conforme Santos (2014), higrômetro pode ser utilizado tanto na areia quanto na terra e até mesmo diretamente na água, ele é capaz de realizar a identificação da umidade e temperatura no solo. Com este aparelho é possível verificar constantemente a necessidade de irrigação, e caso necessário, pode ser realizado o acionamento automático para irrigar a plantação.

Sensor de radiação solar: os sensores que realizam a medição da radiação solar possuem diversas utilidades em muitos setores, como na agricultura, onde podem ser utilizados para controlar e otimizar a evapotranspiração (SENSORES, 2018).

Na Figura 12 é possível visualizar o sensor UVM-30A, que por meio de um chip realiza a detecção do nível de radiação solar ultravioleta (UV), é ideal para configuração com microcontroladores como Arduino® e Raspberry Pi® para monitoramento do crescimento de plantas e expondo-as aos raios UV de forma controlada (SENSOR, 2018c). De acordo com Finholdt et al. (2011), o sensor deve ser instalado a 1,5 m do solo, tomando cuidado para que não haja obstruções da luz solar sobre o sensor no sentido leste-oeste.



Figura 12 - Sensor de raio ultravioleta UV UVM-30A.

Fonte: Medidor (2018).

Sensor de temperatura e pressão atmosférica: a pressão atmosférica é uma força causada pelo peso do ar, sendo a altitude o principal fator influente em sua variação. Em locais de elevada altitude a pressão exercida sobre um corpo é menor, enquanto em áreas mais baixas como há maior quantidade de ar, a pressão é conseqüentemente maior. A temperatura também é um fator relevante na pressão atmosférica, pois em temperaturas mais baixas o ar se comprime reduzindo seu volume e aumentando a pressão atmosférica, já com temperaturas mais elevadas ocorre a dilatação do ar e em virtude disso a pressão atmosférica diminui (FIORIN e DAL ROSS, 2015).

O sensor BMP180, exibido na Figura 13, realiza a medição da pressão atmosférica e temperatura sendo indicado para o uso em estações meteorológicas, pois tem um baixo consumo de energia permitindo o seu uso por longos períodos (FILIPEFLOP, 2019).

Painel Solar: o sol é a principal e mais abundante fonte de energia que incide sobre o planeta Terra devido sua alta temperatura (STEFFEN, 2008). O painel solar é uma grande placa responsável por absorver a luz solar e transformar em eletricidade, a qual é encaminhada por meio de fios elétrico e pode ser armazenada em baterias. A capacidade de um painel vai depender do seu tamanho e da distância em relação ao sol, ou seja, quanto maior a placa e mais próxima do sol, maior será a energia produzida (FLORENZANO, 2008).

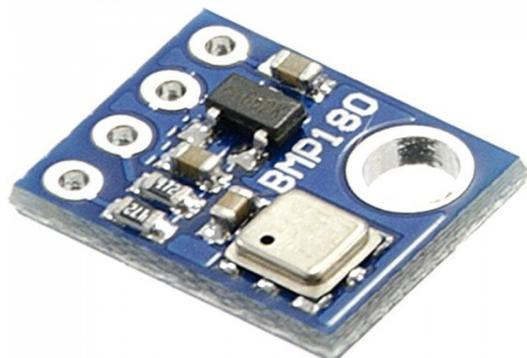


Figura 13 - Sensor de temperatura e pressão atmosférica BMP180.

Fonte: FilipeFlop Componentes Eletrônicos (2019).

Em 1839, o físico Alexander E. Becquerel descobriu o efeito fotovoltaico que é responsável por converter energia solar em elétrica através de uma reação fotoquímica que acontece nas células fotovoltaicas de painéis solares. Um painel solar fotovoltaico é um conjunto de células ligadas entre si, formando um módulo fotovoltaico (Figura 14), esses painéis podem apresentar forma quadrada ou retangular e seu rendimento pode alterar de acordo com o material que são feitas as células, as condições climáticas do local e a capacidade de dissipação do calor das células e do meio (PINTO et al, 2015).

Os módulos têm a finalidade de encapsular as células a fim de protegê-las de condições temporais, como a umidade do ar. As células fotovoltaicas podem gerar uma energia de aproximadamente 0,4 volts, então para obter voltagens maiores é necessário um conjunto de células. Ocorrem perdas de energia nos cabos e diodos de bloqueio, por exemplo, quando o objetivo é alimentar uma bateria de 12 volts, é necessário um módulo que produza aproximadamente 16 volts para suprir as perdas de energia (FADIGAS, 2012).

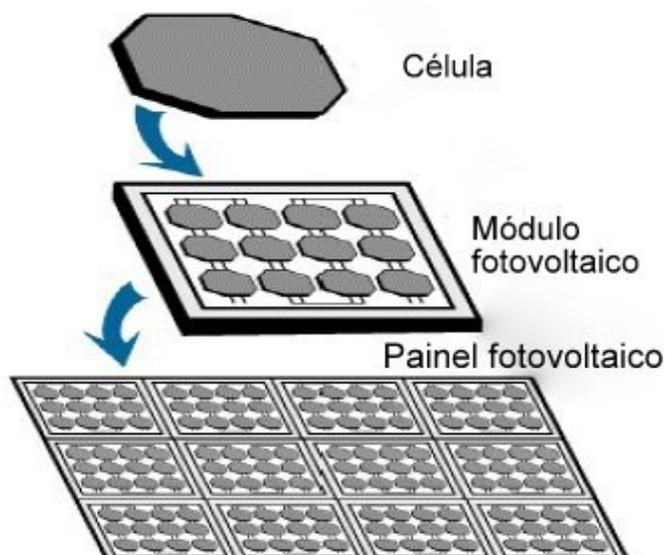


Figura 14 - Constituição de um painel solar.

Fonte: Adaptado Pinto et al. (2015).

Módulo e antena *wireless*: para projetos que envolvam a comunicação a longas distâncias com redes WIFI e IoT, é essencial a instalação de um módulo que transmita e receba dados por conexão IP para outros dispositivos. Por meio do módulo (Figura 15), é possível interligar dispositivos como sensores de umidade, temperatura, presença de luz e outros (MÓDULO, 2018a).



Figura 15 - Ilustração de um módulo e antena wireless

Fonte: Módulo (2018b).

O módulo é importante em aplicações que envolvam a comunicação com a ausência de fios e cabos, mas para que a comunicação e transferência de dados ocorram é necessária uma antena, a qual faz a captação do sinal e transmite por meio de radiofrequência. Na escolha da antena deve-se levar em consideração o ambiente em que o equipamento será utilizado e o alcance necessário para a comunicação, também deve ser instalado o mais longe possível de condutores elétricos, pois podem provocar a interferência do sinal (SAMPAIO, 2008).

As antenas fazem com que seja possível a conexão à rede de Internet a partir de qualquer local na área em torno do ponto de acesso. Geralmente, as antenas centralizam o sinal na horizontal, em um raio de 360 graus, propagando pouco sinal na vertical, por isso o ideal é que a antena seja instalada sempre na posição vertical (MORIMOTO, 2011).

2.5 TRABALHOS CORRELATOS

Percebe-se a grande importância e aplicação de estações meteorológicas nas atividades humanas, principalmente no meio agrícola em trabalhos correlatos a este, como o de Krishnamurthi et al. (2015), os quais desenvolveram uma estação meteorológica para monitorar dados de umidade e temperatura automaticamente. Alguns dos componentes utilizados para montar a estação foram o Arduino[®], o sensor de temperatura e umidade DHT11 e LM35 e um resistor LDR. A estação foi capaz de fornecer dados que representavam o clima na área experimental em tempo real e conseqüentemente ajudar os agricultores a obterem melhores colheitas.

O sistema proposto por Rao e Sridhar (2018) estima a quantidade de água necessária para otimizar recursos hídricos. Para montar a estação meteorológica utilizaram sensores como o LM35 e o LM358, os quais foram utilizados para captar a umidade e a temperatura do solo, a umidade e a temperatura do ar e a duração da luz do sol por dia e foram controlados por meio do hardware Raspberry Pi[®] 3 modelo B. As observações e testes experimentais realizados provaram que o protótipo é uma solução para atividades de campo, como na resolução de problemas de irrigação.

Kusriyanto e Putra (2018) criaram uma estação meteorológica que permite aos usuários saberem as mudanças climáticas em uma área remotamente. Utilizaram o Arduino[®] Mega 2560 como microcontrolador, o sensor DHT-22 para medir temperatura e umidade ambiente, sensor de chuva FC-37 e sensor BMP180 para medir pressão do ar. As informações coletadas são armazenadas no cartão SD e exibidos no TFT LCD 2.2" e em um website usando o módulo WIFI ESP8266. Como resultado das medições, obteve-se um erro médio de 3,74% para temperatura, 2,14% para umidade do ar e 0,32% hPa para pressão do ar.

Souza, Antunes e Cabral (2015) montaram uma estação meteorológica de baixo custo utilizando Arduino[®] e sensores para medir temperatura, umidade relativa do ar e pressão atmosférica como DHT22 e BMP085. Os dados eram coletados a cada 50 minutos. Diante dos resultados obtidos por meio de estatísticas e comparações com os dados de uma estação meteorológica profissional (INFRAERO/GNA), diagnosticou-se que a estação meteorológica experimental de baixo custo pode fornecer dados com confiabilidade e por um preço acessível.

A estação meteorológica desenvolvida por Tenzin et al. (2017) também pode ser montada por um preço baixo e por meio dos resultados comparativos com outra estação meteorológica (Davis Vantage Pro) afirmam confiabilidade na coleta de dados de velocidade e direção do vento, volume de chuvas e temperatura e umidade relativa do ar, podendo ser utilizada pelos produtores a favor do manejo agrícola adequado.

Morón et al. (2018) desenvolveram um protótipo eletrônico para uma estação meteorológica utilizando a plataforma Arduino® e sensores para coletar e armazenar a temperatura ambiente (PZT LDT0-028), umidade relativa (SSHU005), pressão barométrica (BMP085), velocidade do vento (6710-WIND02) e qualidade do ar (MQ135). Compararam os dados coletados pela estação meteorológica com dados de sensores de uma estação profissional e os resultados mostraram que os dados obtidos pelo protótipo foram semelhantes àqueles coletados por estações meteorológicas profissionais e ainda destacam que o protótipo foi desenvolvido com baixo custo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os materiais e métodos utilizados para a construção da estação meteorológica visando minimizar possíveis problemas operacionais em seu uso e possibilitar a sua montagem de forma prática e rápida.

3.1 METODOLOGIA PARA DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Para construção do protótipo, seguiu-se as seguintes etapas:

- a) Realizou-se um estudo com relação aos materiais utilizados na construção do protótipo, para garantir a durabilidade e funcionalidade do mesmo;
- b) Realizou-se a definição da concepção do produto para iniciar o projeto, onde definiu-se as formas, medidas, processo de fabricação e montagem do protótipo.
- c) Fabricou-se as peças e montou-se o protótipo.

3.2 ÁREA E DADOS EXPERIMENTAIS

A estação meteorológica foi instalada em uma área experimental localizada na cidade de Medianeira, no oeste do Paraná (Figura 16). A área é uma horta cultivada com alface, cebolinha, beterraba, sálvia, coentro e alecrim. A horta possui duas filas com 9 canteiros cada, sendo que cada canteiro possui 1,15 m separados entre si por 0,45 m, totalizando uma área de 294,98 m². A horta possui um sensor de umidade do solo e um sistema de irrigação com cinco aspersores em cada canteiro separados por 3 m entre si, possui a estação meteorológica localizada no meio das duas filas de canteiros (Figura 17).



Figura 16 – Horta experimental onde instalou-se a estação meteorológica para coleta de dados.

Fonte: Autoria Própria.

Os dados experimentais coletados pela estação meteorológica montada neste trabalho são dados de volume da chuva, direção e velocidade do vento, nível de radiação solar, temperatura ambiente, pressão e umidade relativa do ar, os quais correspondem ao intervalo de tempo do dia 26 de fevereiro de 2019 a 19 de março de 2019.

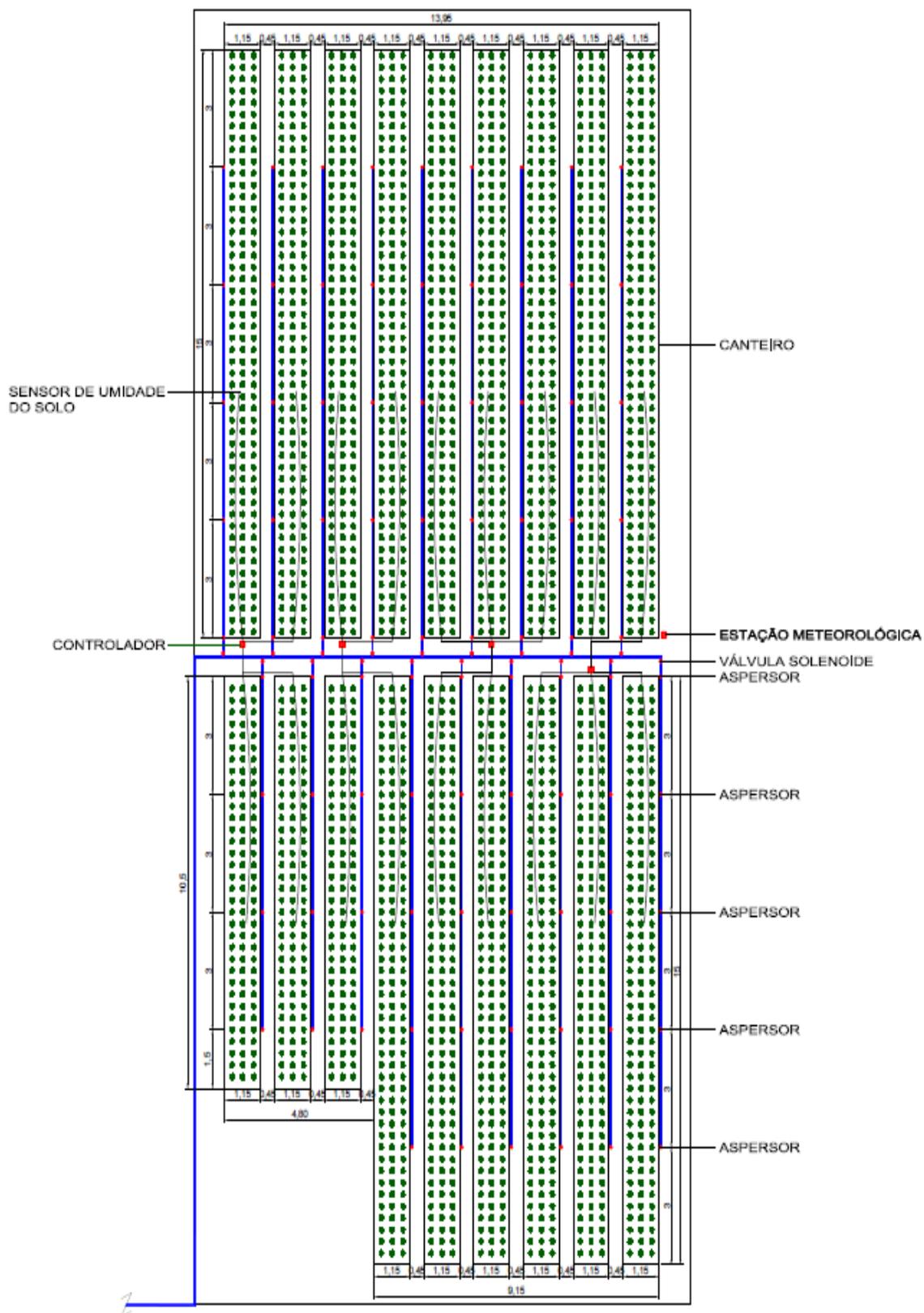


Figura 17 – Desenho representativo da horta e da localização do sensor de umidade do solo, aspersores de irrigação e da estação meteorológica.

Fonte: Autoria Própria.

3.3 PROJETO ESTRUTURAL

Utilizou-se o software *SolidWorks*[®] para elaborar o projeto dos componentes e da estrutura da estação meteorológica (Figura 18 e 19), pois este software permite de forma interativa a modelagem em 3D, informando a lista de materiais, processo de montagem, entre outros.

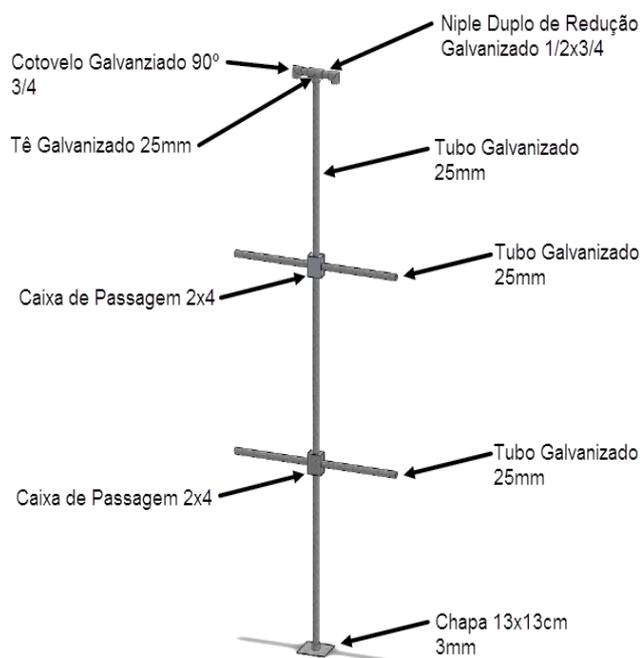


Figura 18 – Projeto estrutural 3D da estação meteorológica realizado a partir do software *SolidWorks*[®].

Fonte: Autoria Própria.

Para desenvolver o projeto do protótipo, baseou-se em estações meteorológicas existentes como a desenvolvida por Pinto (2018), porém, buscou-se otimizar o seu layout para padronização dos seus elementos e proporcionar maior agilidade em sua montagem, visando proporcionar benefícios financeiros com peças de baixo custo. A Figura 20 mostra o início da construção da estrutura metálica para montar a estação meteorológica.

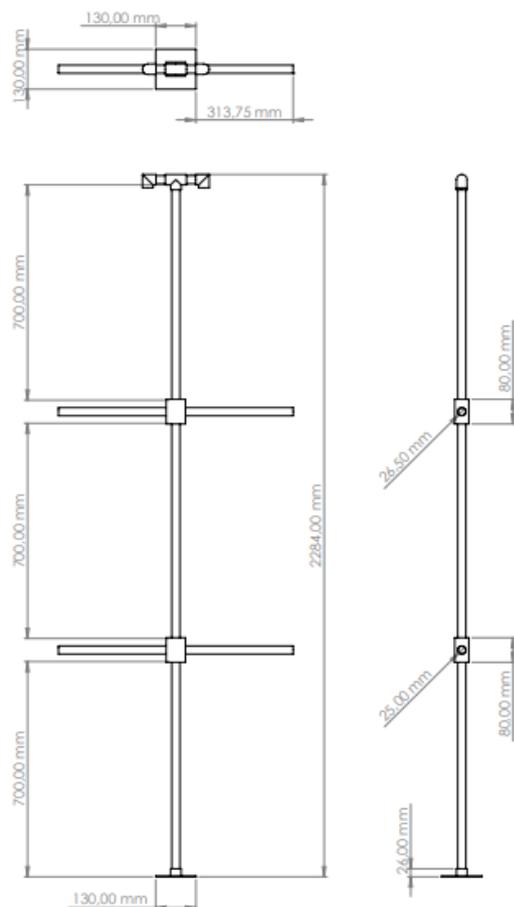


Figura 19 – Projeto estrutural 2D da estação meteorológica realizado a partir do software SolidWorks.

Fonte: Autoria Própria.



Figura 20 – Início da montagem da estrutura metálica da estação meteorológica.

Fonte: Autoria Própria.

3.4 MONTAGEM DA ESTRUTURA METÁLICA

Para iniciar a montagem da estrutura da estação é necessária uma base de concreto com quatro parafusos chumbados para a fixação da placa metálica base (Figura 21). Na placa de fixação base rosqueia-se o tubo galvanizado de 70 cm (Figura 22).



Figura 21 – Base de concreto para fixação da placa metálica.

Fonte: Aatoria Própria.

Em seguida é fixada a primeira caixa de passagem (Figura 23) onde são conectados dois tubos laterais com 30 cm de comprimento onde são fixados os sensores e um tubo de 70 cm na parte superior. Faz-se o mesmo procedimento para a segunda caixa de passagem.



Figura 22 – Tubo galvanizado de 70 cm rosqueado à base de concreto para fixação da placa metálica.

Fonte: Aatoria Própria.



Figura 23 – Caixa de passagem.

Fonte: Aatoria Própria.

No topo da estrutura metálica utiliza-se luvas e joelhos roscáveis, sendo assim possível a passagem dos cabos dos sensores. Nas caixas de passagens, colocam-se tampas cegas para fechamento. No meio da estrutura são montadas as caixas plásticas que abrigarão o Arduino® e a bateria. A finalização da montagem se dá com a montagem dos componentes e sensores responsáveis por captar as

variáveis climáticas e pode ser visualizada a estação montada e instalada pronta para coletar dados na Figura 24.



Figura 24 – Estação meteorológica pronta.

Fonte: Aatoria Própria.

3.5 COMPONENTES E SENSORES UTILIZADOS

Na Figura 25, têm-se um diagrama mostrando o princípio de funcionamento de uma estação meteorológica da qual utilizou-se como modelo para montar a estação meteorológica proposta neste trabalho. Na Figura 25 é possível observar que todos os sensores são conectados ao Arduino[®], e que os dados climáticos coletados, são transferidos via antena wireless a computadores ou dispositivos móveis. Além dos sensores, o equipamento é composto com um painel solar que faz a recarga da bateria e que fornece energia para todos os equipamentos eletrônicos.

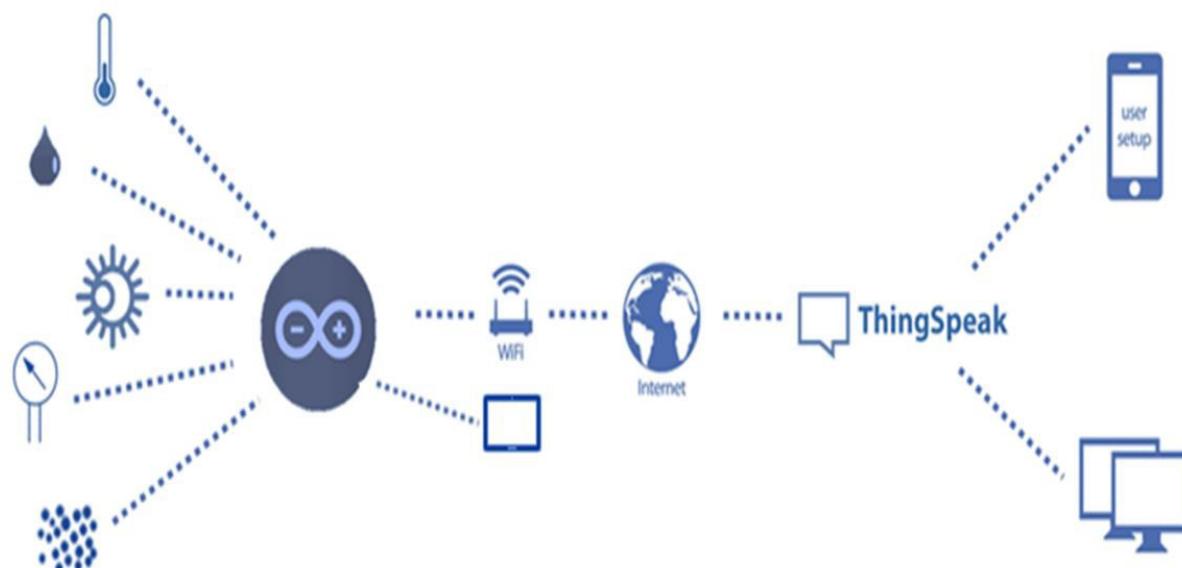


Figura 25 - Demonstrativo do funcionamento de uma estação meteorológica automática, a qual foi tomada com base para o desenvolvimento da estação neste trabalho.

Fonte: Pinto (2018).

Os sensores utilizados no protótipo proposto incluem sensores de pressão, temperatura, umidade e luz ultravioleta. O protótipo tem um módulo WIFI para conexão a rede de Internet sem fio, um pluviômetro, um anemômetro, um painel solar, um suporte para a bateria e uma caixa de proteção para o Raspberry Pi[®] 3 modelo B. A Tabela 1 possui a descrição e quantidade dos componentes e sensores utilizados na construção do protótipo.

Tabela 1 – Componentes e sensores utilizados para construção do protótipo

Componente / Sensor	Quantidade
DHT22	1
Sensor Umidade do Solo	1
Sensor UVM30A	1
Anemômetro analógico	1
Conversor MCP3008	2
Raspberry Pi [®] 3B	2
Micro SD 32GB	2
Protoboard	2
Jumpers	-
Resistores	-

Fonte: Autoria Própria.

Utilizou-se o microcomputador Raspberry Pi[®] 3 modelo B, o qual possui *system on a chip* (SoC) Broadcom BCM2837, unidade de processamento central

(CPU, do inglês *Central Process Unit*) 4X ARM Cortex-A53, 1.2GHz, unidade de processamento gráfico (GPU, do inglês *Graphics Processing Unit*) Broadcom VideoCore IV, memória RAM 1GB LPDDR2 (900 MHz), com antena WIFI embutida 10/100 Ethernet, 2.4GHz 802.11n *wireless*, com conexão por Bluetooth 4.1 *Classic*, Bluetooth *Low Energy* e com micros para armazenamento. Possui *General Purpose Input/Output* (GPIO) de 40-pin header. Portas de conexão HDMI, 3.5mm *analogue audio-video jack*, portas 4X USB 2.0, porta *Ethernet*, porta *Camera Serial Interface* (CSI) e *Display Serial Interface* (DSI). O sistema operacional instalado é Raspbian e está com cartão de memória de 32GB.

Utilizou-se o pluviômetro modelo PLAB1 da marca WRFCOMERCIAL automático com balsa e abrigo para sensores e para projetos com microprocessador, como Raspberry Pi[®]. Possui capacidade de volume de 0.25 mL, com altura de 16 cm, largura de 14,5 cm (Figura 26).

O pluviômetro foi montado todo em alumínio para maior durabilidade, pintado em epóxi branco. Possui sensor reed switch de alta qualidade e sensor com auto esvaziamento. Diâmetro do coletor é de 147 mm e realiza leitura a cada 0,25 mm (4 pulsos = 1 mm de precipitação).



Figura 26 – Pluviômetro para medir volume de chuva.

Fonte: Autoria Própria.

Para medir a velocidade do vento, utilizou-se o anemômetro modelo AN1 da marca WRFCOMERCIAL (Figura 27). Possui canecos em alumínio com 75 mm de

diâmetro. Suporte em alumínio com 260 mm de comprimento. Eixo com rolamento lacrado (livre de manutenção) com diâmetro de 300 mm e peso de 235 g. Possui abraçadeiras para fixação lateral, sensor magnético lacrado, cabo de manga com 10 metros. Suporta altas velocidades (+130 km/h) e possui alta sensibilidade, iniciando em 0,9 km/h.



Figura 27 – Anemômetro para medir a velocidade do vento.

Fonte: Autoria Própria.

Para medir a direção do vento, utilizou-se o anemoscópio modelo BR1 da marca WRFCOMERCIAL. Possui sensor resistivo lacrado, protegido contra intempéries, giro de 360° com grande sensibilidade. Indica as direções Norte, Noroeste, Oeste, Sudoeste, Sul, Sudeste, Leste e Nordeste, isto é, 0, 45, 90, 135, 180, 225, 270 e 315°. É montado em alumínio com eixo indicador de 250 mm e cabo manga com 10 m (Figura 28).

A bateria utilizada foi a Bateria Selada VRLA 12 V (Figura 29), de chumbo ácido regulada por válvulas (VRLA) de última geração com capacidade nominal de 7,0 Ah. É composta com liga chumbo-cálcio e separador de manta de microfibras de vidro, proporcionando utilização em qualquer posição. Suas dimensões são de 151 mm de comprimento e 65 mm de largura, com altura de 100 mm e peso de 2,00 kg. Terminal é do tipo Faston F187 com posição D.



Figura 28 – Anemoscópio para mediar a direção do vento.

Fonte: Autorial Própria.



Figura 29 – Bateria para armazenamento de energia para funcionamento dos sensores e demais aparelhos utilizados na estação meteorológica.

Fonte: Autorial Própria.

O painel solar utilizado na estação meteorológica é composto por 36 células, 12V, de silício policristalino com potência máxima de 10 W, largura de 25 cm, comprimento de 37 cm, peso de 1,2 kg e geração de carga diária de 3,0 Ah/dia (dados baseados na média nacional de cinco horas de insolação 1000 W/m² de irradiação) (Figura 30).



Figura 30 – Painel solar para coletar energia solar.

Fonte: Autoria Própria.

Utilizou-se o sensor de raio UV com chip UVM-30A (Figura 31). O sensor é capaz de detectar a radiação solar UV usando o chip UVM-30A, captando ondas entre 200 e 370 nm com rápida resposta e controle analógico. Sua tensão de operação está entre 3-5V, o que permite que seja facilmente conectado a outros controladores como Raspberry Pi[®]. Possui exatidão de ± 1 UV, corrente padrão de $0,06 \mu\text{A}$, tempo resposta de 0,5 s, temperatura de trabalho de -20 a $+85$ °C e com dimensões de 22 mm de largura por 27 mm de comprimento.

Para medir a umidade do solo utilizou-se um sensor higrômetro com tensão de operação de 3,3-5V, sensibilidade ajustável via potenciômetro, saída digital e analógica, fácil instalação, LED indicador para tensão (vermelho), LED indicador para saída digital (verde), dimensões de PCB 3 x1,5 cm, dimensões sonda 6 x2 cm e comprimento do cabo de 21 cm.

O sensor de temperatura e umidade do ar utilizado foi o DHT22 modelo AM2302, com tensão de operação de 3-5 VDC (5,5 VDC máximo), faixa de medição de umidade de 0 a 100% UR, faixa de medição de temperatura de -40° a $+80^{\circ}$, com corrente de $2,5 \mu\text{A}$ máxima durante uso, em *stand by* de 100 a $150 \mu\text{A}$, com precisão de umidade de medição de $\pm 2,0\%$ UR e de temperatura de $\pm 0,5$ °C. Seu tempo de resposta é de 2s e possui dimensões de 25 x 15 mm (sem terminais).



Figura 31 – Sensor de radiação solar UV.

Fonte: Autoria Própria.

Para conectar os sensores ao Raspberry Pi[®], conectou-se diretamente aos pinos GPIO e alguns foram intermediados por um conversor MCP3008 (Figura 32). Isso se deve ao fato de que o Raspberry Pi[®] só recebe entradas digitais e para alguns sensores a única forma de saída é a analógica. O conversor MCP 3008 possui 8 pinos de entrada e recebe um valor de tensão que varia entre 0 V à 5 V. Esse valor é dividido por 1023 e é enviado à entrada do Raspberry Pi[®]. Após o término da montagem das peças, melhorou-se as conexões com o Raspberry Pi[®] (Figura 33) utilizando a placa de Fenolite cobreada da Figura 34.

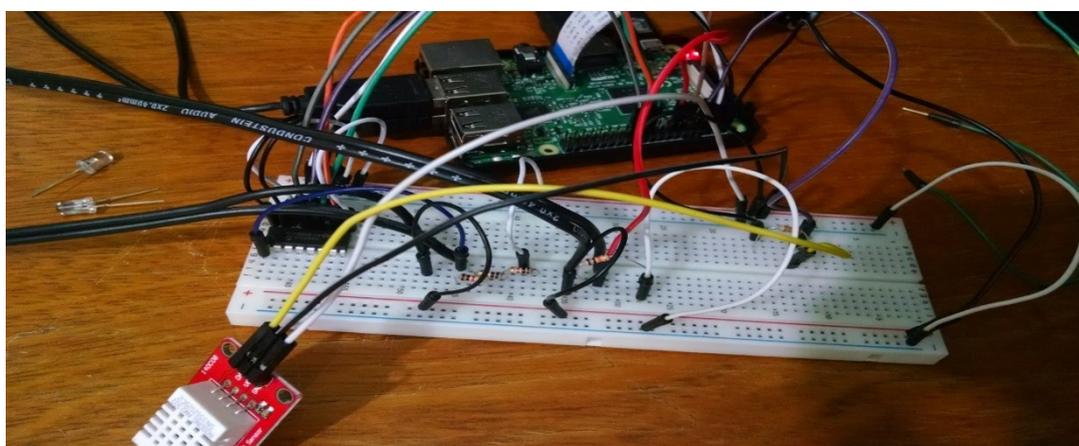


Figura 32 - Instalação do sensor DHT22, anemômetro e direção do vento utilizando o MCP3008, protoboard e o Raspberry Pi[®] 3B.

Fonte: Autoria Própria.



Figura 33 – Conexões dos sensores ao Raspberry Pi®.

Fonte: A autoria Própria.

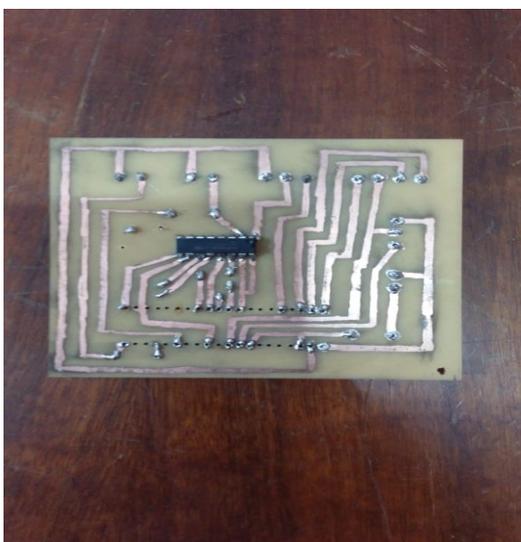


Figura 34 - Placa de Fenolite cobreada para Conexões dos sensores ao Raspberry Pi®.

Fonte: A autoria Própria.

3.6 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO

Para implementar o software para coletar as informações por meio dos sensores e transmiti-las para o banco dos dados utilizado (*MySQL Community Server 8.0.15*), escolheu-se a linguagem de programação Python. Algumas bibliotecas foram utilizadas como *gpiozero - DigitalInputDevice* para leitura do sinal digital nos sensores de velocidade do vento e no pluviômetro; *Adafruit_BMP.BMP085*, para fazer a leitura dos dados do sensor BMP180;

Adafruit_DHT para leitura dos dados do sensor DHT22; time – *sleep* para contagem de tempo de intervalo entre uma leitura e outra; spidev para configuração do conversor analógico/digital MCP3008; math para cálculos matemáticos, como o de circunferência dos copos do sensor de velocidade do vento; e a biblioteca *json* para representação de dados dos sensores em *JavaScript Object Notation* (JSON) para permitir a troca de informações entre os sistemas de sensores e o software implementado no microcontrolador Raspberry Pi[®] para posterior manipulação e armazenamento das informações coletadas no banco de dados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como o objetivo deste trabalho vai além de criar uma estação meteorológica para coletar dados de volume da chuva, direção e velocidade do vento, nível de radiação solar, temperatura ambiente, pressão e umidade relativa do ar, como também apresentar e servir de referência ao agricultor ou demais interessados a montar sua própria estação meteorológica a baixo custo. Dessa forma, neste capítulo são apresentadas as estatísticas de dados obtidos por meio da estação meteorológica construída neste trabalho e compara-se aos dados obtidos por outra estação meteorológica comprada pronta. Também são apresentadas as etapas necessárias para criar a estação meteorológica obtida deste trabalho.

4.1 COMPARAÇÃO E ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DA ESTAÇÃO MONTADA E DA ESTAÇÃO COMPRADA

Utilizou-se estatística descritiva dos dados como medidas de posição, dispersão e distribuição. Para classificar a dispersão dos dados utilizou-se a classificação de Pimentel-Gomes (2009), onde o coeficiente de variação (CV) $\leq 10\%$ foi classificado como baixo; médio quando $10\% < CV \leq 20\%$; alto quando $20\% < CV \leq 30\%$; e muito alto quando $CV > 30\%$.

O teste de comparação de médias foi realizado pelo método de Tukey ao nível de 95% de confiança com o objetivo de comparar todos pares de médias e identificar se os dados coletados pelas duas estações meteorológicas apresentaram diferenças significativas.

Na Tabela 2 percebe-se que o volume de chuva coletado nos dias 13/03/2019 e no dia 16/03/2019 foram valores muito próximos em ambas as estações meteorológicas. No dia 13/03/2019 a estação M estimou um volume de chuva maior, enquanto no dia 16/03/2019 a estação C estimou um volume de chuva maior.

Tabela 2 – Dados de volume de chuva coletados nos dias 13 e 16 de março de 2019.

Estação	Dia 13/03/2019	Dia 16/03/2019
M	5,00 mm	1,75 mm
C	3,60 mm	2,70 mm

M – Estação montada; C – Estação comprada.

Fonte: Autoria Própria.

A Tabela 3 possui os valores médios de temperatura ambiente, pressão atmosférica, umidade relativa do ar e velocidade do vento no período de 26/02/2019 a 19/03/2019 obtidos das duas estações meteorológicas. Pode-se perceber que os valores ficaram muito próximos, e onde-se vê letras iguais ao lado de cada média, significa que a média de temperatura ambiente foi estatisticamente semelhante ao nível de 95% de confiança nos dias 07, 08 e 12 de março em ambas as estações meteorológicas, assim como a umidade relativa do ar no dia 12 de março. Nos dias 03, 13 e 15 de março a média da velocidade do vento também foi considerada estatisticamente igual em ambas estações pelo teste de Tukey.

A Tabela 4 permite conhecer os valores de mínimo, máximo, mediana e desvio padrão dos dados. Analisando o coeficiente de variação (CV) das variáveis de temperatura ambiente e umidade relativa do ar no dia 12/03/2019 em ambas as estações, a variação dos dados foi baixa e foi classificada como média para a temperatura ambiente nos dias 07 e 08 de março. O CV ficou alto para velocidade do vento da estação M no dia 03 de março e muito alta para as demais variáveis nos demais dias coletados. Os dados de temperatura ambiente da estação M e C no dia 08 de março apresentaram simetria, além dos dados de velocidade do vento da estação M nos dias 13 e 15 de março. A umidade relativa do ar na estação C apresentou assimetria negativa no dia 12 de março. As demais medidas coletadas apresentaram assimetria positiva. A velocidade do vento coletada pela estação C no dia 03 de março apresentou curtose com distribuição mesocúrtica, enquanto as demais variáveis apresentaram distribuição platicúrtica, com exceção da velocidade do vento coletada pela estação C nos dias 13 e 15 de março, que apresentaram distribuição leptocúrtica.

Tabela 3 – Média dos dados coletados na estação meteorológica montada e comprada obtidos durante os dias de 26-02 a 19-03 de 2019.

Dia	TA		PA		UR		VV	
	M	C	M	C	M	C	M	C
26-02	21,31a	23,73b	965,47a	961,87b	71,56a	66,03b	7,14a	5,92b
27-02	23,36a	24,67b	966,11a	962,08b	62,72a	70,94b	4,85a	5,35b
28-02	23,20a	24,38b	967,28a	963,51b	49,06a	62,55b	5,56a	6,22b
01-03	24,91a	26,43b	966,24a	962,53b	16,70a	42,89b	4,40a	4,82b
02-03	27,17a	28,58b	966,97a	964,00b	7,40a	34,78b	3,53a	3,53b
03-03	23,87a	28,7b	966,69a	963,7b	12,36a	38,00b	5,22a	5,60a
07-03	24,43a	23,91a	965,63a	962,62b	75,11a	82,00b	10,53a	8,44b
08-03	25,87a	26,48a	964,46a	961,12b	59,88a	73,20b	15,33a	14,37b
12-03	22,84a	22,41a	965,42a	961,50b	92,49a	90,06a	5,39a	6,82b
13-03	21,35a	24,25b	965,00a	961,16b	99,9a	85,62b	3,32a	3,53a
15-03	27,04a	27,87b	966,04a	962,10b	62,54a	74,14b	3,19a	4,59a
16-03	25,85a	23,69b	966,83a	962,19b	57,64a	84,57b	10,39a	9,14b
17-03	24,85a	22,90b	964,99a	960,48b	75,60a	89,13b	16,61a	10,30b
18-03	25,91a	22,52b	964,13a	959,24b	71,23a	92,63b	16,47a	6,29b
19-03	25,22a	22,24b	963,95a	959,81b	64,77a	91,70b	3,52a	1,03b

M – Estação montada; C – Estação comprada; TA – Temperatura Ambiente (°C); PA – Pressão Atmosférica (hpa); UR – Umidade Relativa do ar (%); VV – Velocidade do Vento (km/h). Letras iguais indicam médias iguais ao nível de 95% de confiança pelo método de Tukey.

Fonte: Autoria Própria.

Apesar de o teste de Tukey ter apresentado muitos dias com médias diferentes estatisticamente ao nível de 95% de confiança para as estações montada e comprada, as Figuras 35 e 36 permitem verificar que ambas obtiveram oscilações similares, isto é, quando a temperatura ambiente, pressão atmosférica, umidade relativa do ar e velocidade do vento diminuíram para a estação comprada, também diminuíram para a estação montada, assim como quando aumentava na estação comprada também aumentava na estação montada.

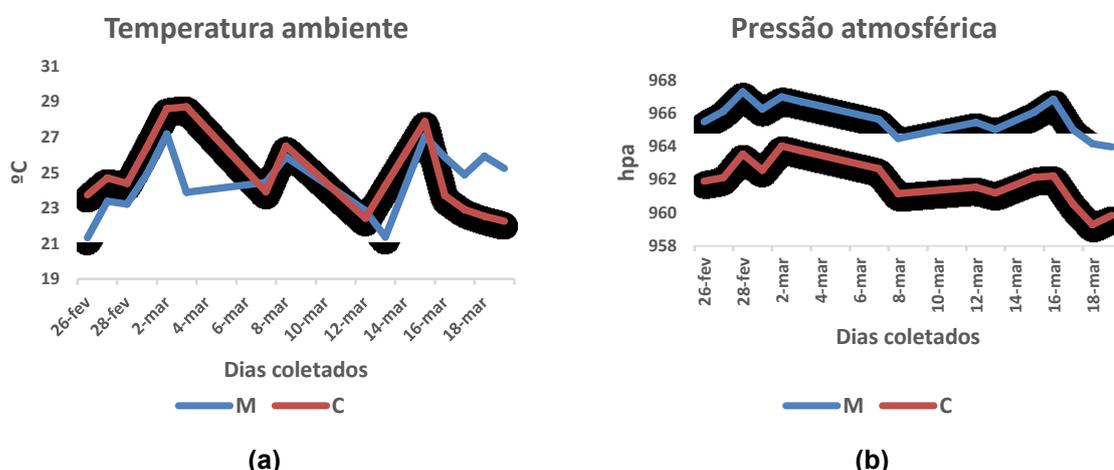


Figura 35 – Gráfico de linhas dos dados de (a) temperatura ambiente e (b) pressão atmosférica coletados pelas estações montada e comprada.

Fonte: Autoria Própria.

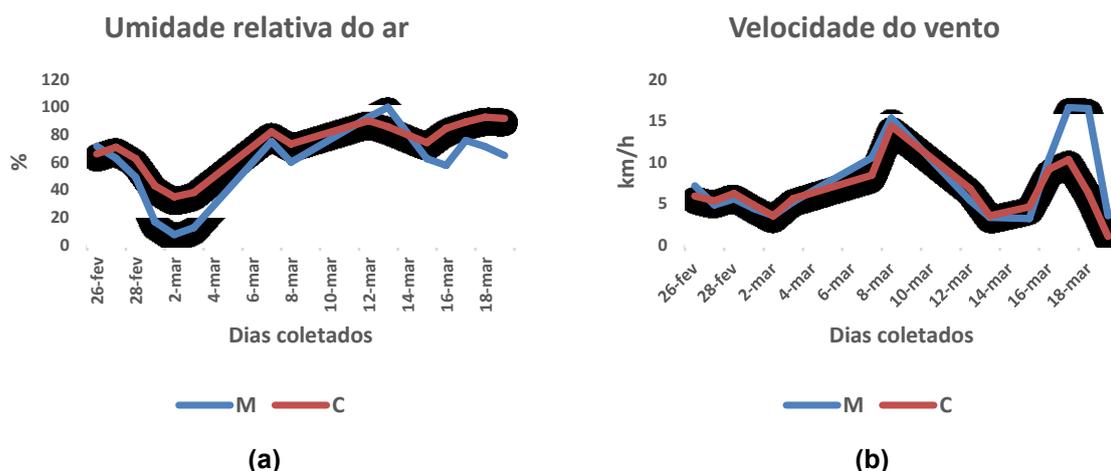


Figura 36 - Gráfico de linhas dos dados de (a) umidade relativa do ar e (b) velocidade do vento coletados pelas estações montada e comprada.

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 4 – Estatística descritiva dos atributos que apresentaram médias iguais pelo método de Tukey em ambas estações meteorológicas.

	E	DP	CV (%)	Min	Md	Max	AS	K
03-03 VV	M	1,46	28,01	2,39	5,03	9,02	0,21	-0,63
	C	2,90	51,60	0,00	5,00	15,80	0,53	0,27
07-03 TA	M	3,25	13,31	19,50	22,50	30,50	0,38	-1,53
	C	3,03	12,67	19,80	22,60	31,00	1,02	-0,52
08-03 TA	M	3,54	13,68	19,70	25,45	31,70	0,11	-1,29
	C	3,72	14,04	20,20	26,10	33,10	0,11	-1,39
12-03 TA	M	1,73	7,59	20,60	22,30	26,70	0,89	-0,19
	C	2,15	9,61	20,90	21,10	26,90	1,23	-0,10
12-03 UA	M	0,00	0,00	99,90	99,90	99,90	*	*
	C	6,92	7,99	73,00	89,00	97,00	-0,46	-1,06
13-03 VV	M	2,33	70,26	0,00	3,12	7,78	0,14	-1,05
	C	2,14	60,57	0,00	3,60	9,70	0,35	0,56
15-03 VV	M	2,04	38,69	1,15	5,19	11,03	0,16	-0,25
	C	1,95	42,60	1,10	3,60	9,70	0,86	0,31

E – Estação; M – Estação montada; C – Estação comprada; TA – Temperatura Ambiente (°C); UA – Umidade Relativa do ar (%); VV – Velocidade do Vento (km/h); DP – Desvio Padrão; CV – Coeficiente de Variação; Min – Mínimo; Md – Mediana; Max – Máximo; AS – Assimetria; K – curtose.

Fonte: Autoria Própria.

4.2 INSTRUÇÕES PARA MONTAGEM DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA

Para montar a estação meteorológica são necessários os materiais apresentados na Tabela 5. É possível visualizar o valor das peças compradas e o

valor total de aquisição para montar a estação meteorológica deste trabalho (R\$ 1.323,47).

Tabela 5 – Materiais e seus respectivos valores de aquisição utilizados para montar a estação meteorológica criada neste trabalho.

Item	Qtd.	R\$ Unitário	R\$ Total
Tubo Galvanizado 25mm - 70cm	3	50,00	150,00
Tubo Galvanizado 25mm - 35cm	4	25,00	100,00
Niple Duplo de Redução Galvanizado 1/2x3/4	2	3,78	7,56
Cotovelo Galvanizado 90° ¾	2	5,24	10,48
Caixa de Passagem Alumínio 2x4	2	9,95	19,90
Chapa de Aço 13 x 13cm x 3mm	1	7,60	7,60
Luva Galvanizada ¾	1	4,95	4,95
Arruela Roscavel Alumínio ¾	12	0,36	4,32
Caixa Montagem PVC 200x140 90mm	1	36,00	36,00
Caixa Steck Sex 300x220 120mm	1	48,00	48,00
Parafuso Sextavado 10mm	4	1,05	4,20
Bucha Plástica 10mm	4	0,10	0,40
Suporte Painel Solar	1	16,00	16,00
Placa Cega 2x4	2	2,26	4,52
Cabo de Aço 1/8	8	1,42	11,36
Clip Aço 1/8	8	1,84	14,72
Placa Microcontroladora Raspberry Pi Modelo 3B	1	188,00	188,00
Pluviômetro Automático com Abrigo	1	249,90	249,90
Sensor de Pressão Atmosférica Barômetro Bmp 180	1	23,90	23,90
Sensor de Temperatura e Umidade Dht 22	1	23,89	23,89
Sensor de Raio Ultravioleta UV UVM-30 ^a	1	74,90	74,90
Sensor de Umidade do Solo Higrômetro	1	8,90	8,90
Painel Solar Komaes 10W	1	125,00	125,00
Placa De Fenolite Cobreado 100x100mm	1	2,10	2,10
Bateria Selada 12v 7ah	1	64,90	64,90
Cabo Flat Raspberry	1	28,00	28,00
Conector Triplo Borne	5	1,70	8,50
Kit para Confecção de Placas de Circuito Impresso	1	50,99	50,99
Fio Paralelo 2x1	30	1,03	30,90
Placa sega 2x4	2	1,79	3,58
Valor total (R\$)			1.323,47

Fonte: Aatoria Própria.

Primeiramente deve se montar a estrutura metálica da estação, instalar uma base de concreto para fixação da placa metálica rosqueando o tubo galvanizado de 70 cm, em seguida deve-se fixar a caixa de passagem. Da mesma forma são montados os 3 tubos que constituem sua altura, que após são instalados nas caixas

de passagem. 2 tubos galvanizados de 30 cm foram colocados nas laterais da estrutura para realizar a fixação de sensores. No topo da estrutura são utilizadas luvas e joelhos roscáveis para a passagem dos fios de sensores. Cola-se as tampas cegas no fechamento das caixas de passagem, suporte do painel solar e fixa-se as caixas plásticas onde são montados os controladores e bateria. Em seguida, deve se instalar as peças responsáveis por captar as variáveis do tempo. Sugere-se fazer a montagem do hardware conectando os sensores e o módulo de comunicação com o Raspberry Pi®. Após a montagem das peças é preciso desenvolver um módulo computacional no Raspberry Pi® para leitura dos sensores e armazenamento dos dados no cartão de memória.

O desenvolvimento do sistema computacional iniciou-se pela instalação do sistema operacional do microcontrolador Raspberry Pi®. O sistema operacional utilizado foi o Raspbian, que é disponibilizado para download no site oficial da Raspberry. Para a instalação foi utilizada um Micro SD de 32GB.

Todo o sistema foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação Python, pela facilidade de utilização e por ser mais prático na integração com o sistema Linux que o Raspbian utiliza.

Foram utilizados dois Raspberrys, pois em um ficam os sensores relacionados ao vento e temperatura, como o DHT22 (sensor de temperatura e umidade do ar) o anemômetro (sensor de velocidade do vento) o de radiação solar e o sensor de direção do vento. Esses sensores estão fixados em local mais alto que o sensor de umidade do solo.

O DHT22 é alimentado com 5V, e o pino de saída dos dados digitais do sensor está conectado diretamente ao GPIO (pinos de entrada/saída do Raspberry).

O anemômetro foi ligado com a alimentação de 5V diretamente, e na saída do sinal foi ligado um resistor de 10KOhms junto ao GND e utilizando um jumper nessa mesma ligação indo para a entrada GPIO.

O anemômetro possui um Reed Switch que ao efetuar uma volta completa das pás ele fecha curto circuito, e isto é, representa-se como um sinal, como um RPM, que ao efetuar os cálculos é convertido em Rpm por minutos e então quilômetros por hora.

O sensor de direção do vento possui 8 resistores em que cada posição da pá retorna um valor em milivolts representando, após a conversão, oito pontos cardeais. A instalação é análoga a do anemômetro com exceção de que este

necessita de um conversor analógico/digital. O Raspberry Pi® só efetua leituras de valores digitais, então para leitura do dado analógico enviado pelo sensor de direção do vento é necessária a utilização do conversor MCP3008 que possui oito canais de entrada analógica.

O sensor de umidade do solo possui um garfo que foi inserido no solo e retorna dados em volts, em que quanto menor o valor mais úmido o solo. A instalação foi feita com alimentação de 3V e a saída de dados foi ligada ao MCP3008, semelhante ao anemômetro.

O sensor de radiação solar retorna um valor analógico que após feita a conversão MCP3008 se o valor estiver numa faixa é atribuído um índice de radiação solar, em que 0 é quase nada e 11 é um índice de radiação alarmante. A instalação teve uma alimentação de 5V e saída de dados ligado a outro canal do mesmo MCP3008 do sensor de umidade do solo.

O BMP180 que é o sensor de temperatura, altitude e pressão atmosférica foi instalado diretamente ao Raspberry com alimentação de 3V e foi necessário habilitar a função I2C no Raspberry para a comunicação com esse sensor.

O sensor de volume de chuva foi instalado de maneira semelhante ao anemômetro. O sensor possui uma “gangorra” que, cada vez que enche um lado da gangorra o outro lado sobe e ativa o reed switch e equivale a 0.25mm de chuva.

Para a alimentação de toda a estação foi utilizada uma placa solar de 10W ligada a um controlador que também está ligado a uma bateria, que está sendo carregada e alimentando o Raspberry.

Dessa forma, espera-se que com as peças utilizadas e as instruções para montagem possibilitem a criação de estações meteorológicas por leitores deste trabalho de forma simples, prática e com baixo custo se comparado a estações meteorológicas compradas prontas. Além disso, os dados coletados pela estação montada são muito próximos aos obtidos pela estação comprada.

5 CONCLUSÕES

O objetivo principal deste trabalho era o de construir um protótipo para uma estação meteorológica de baixo custo. Por meio do levantamento bibliográfico e do procedimento descrito no trabalho, acredita-se que o leitor e possível interessado consiga entender os conceitos básicos relacionados ao tema, além de poder escolher os componentes e sensores de seu interesse necessários para montar sua própria estação meteorológica.

O custo final do protótipo construído neste trabalho foi de R\$ 1.323,47, o que quando comparado ao custo de uma estação similar do mercado de R\$ 3.235,08, representa uma economia de 59%.

As análises estatísticas e gráficos de linha apresentados no trabalho mostraram que o protótipo foi capaz de coletar os dados climáticos com precisão equivalente a estação meteorológica comprada.

Acredita-se que este projeto contribui para a aplicação da *IoT* na agricultura, pois possibilita a criação de um protótipo que realiza a comunicação entre dispositivos e processa as informações em tempo real, de forma autônoma e prática, atendendo a necessidade do produtor rural fornecendo dados precisos para tomada de decisão eficaz.

Espera-se que com o resultado deste trabalho, os agricultores possam realizar o gerenciamento de suas lavouras, e conseqüentemente, melhorar a produtividade agrícola com o auxílio dos dados climáticos de sua própria estação meteorológica.

6 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Deseja-se monitorar características da umidade do solo e entre outras que possam auxiliar na obtenção de informações sobre o momento e a quantidade de água adequada para manejo de irrigação otimizada. Para isso, serão conectados novos sensores e implementados novos códigos para coleta e armazenamento dos dados sobre o solo.

Além de novos sensores que serão instalados para melhorar a estação meteorológica e obter maior diversidade de dados, também espera-se realizar uma interface web ou serviço para acessar os dados coletados por qualquer dispositivo eletrônico conectado à rede de Internet.

REFERÊNCIAS

- Agrosmart. **Estação meteorológica: como funciona e sua importância na agricultura.** Disponível em: <<https://agrosmart.com.br/blog/irrigacao/estacao-meteorologica-funciona-importancia-agricultura/>>. Acesso em: nov. 2018.
- ALBERTIN, Alberto Luiz e ALBERTIN, Rosa Maria de Moura. **A Internet das coisas irá muito além das coisas.** GVEXECUTIVO Mar/Abr 2017.
- ARAUJO, Elias; SILVA, Jefferson; GONÇALVES, Rafael; SOUZA, Thiago. **ArdWeather: Uma estação meteorológica baseada no Arduino e em Web Services RESTful.** Proceedings of Safety, Health and Environment World Congress. V. 14. 2014.
- BABAEV; Sergey; POTAPOVA, Yu Valentina; TARASOV, Andrey; STEPANOV, Maxim. Short-term forecasting algorithms of meteorological data collection and processing in systems. In: **2018 7th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO).** Budva, Montenegro, 2018. p. 1-4.
- BANZI, Massimo. **Primeiros Passos com o Arduino.** Novatec, São Paulo, 2011.
- BAYER, A; MAHBUB, I.; CHAPPELL, M.; RUTER, J.; IERSEL, M. **Water Use and Growth of Hibiscus acetosella ‘Panama Red’ Grown with a Soil Moisture Sensor-controlled Irrigation System.** HortScience, 2013. v. 48, p. 980-987.
- CAVALCANTI, Iracema FA. **Tempo e clima no Brasil.** Oficina de textos, 2016.
- CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais). **Pluviômetros Automáticos.** Disponível em: <<http://200.133.244.152/pluviometrosautomaticos/index.php>>. Acesso em: mai. 2018.
- CERP IoT – INTERNET OF THINGS EUROPEAN RESEARCH CLUSTER. **Internet of Things: Strategic Reserach Roadmap.** 2009. Disponível em: <http://www.internetofthingsresearch.eu/pdf/IoT_Cluster_Strategic_Research_Agenda_2009.pdf>. Acesso em: mai. 2018.
- COPETTI, Jacqueline Biancon, MACAGNAN, Mario Henrique. **Baterias em sistemas solares fotovoltaicos.** CBENS-I Congresso Brasileiro de Energia Solar. 2007.
- DE ARAUJO ELIAS, Alexandre Artimos et al. **ArdWeather: Uma estação meteorológica baseada no Arduino e em Web Services RESTful.** In: Proceedings of Safety, Health and Environment World Congress. 2014. p. 44-48.
- DMESG Soluções em TI. **Baterias automotivas vs. estacionárias em nobreaks.** Disponível em: <<https://www.dmesg.com.br/uso-de-baterias-automotivas-vs-estacionarias-em-no-breaks/>>. Acesso em: mai. 2018.
- EVANS, Dave. **A Internet das Coisas.** San José: Cisco IBSG. 2011.

FADIGAS, Eliane Faria Amaral. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômica**. Grupo de Energia Escola Politécnica Universidade de São Paulo, 2012.

FAO. **Representante da FAO Brasil apresenta cenário da demanda por alimentos**. 2017. Disponível em: <<http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/en/c/901168/>>. Acesso em: fev. 2019.

FERNANDES, Guilherme Alves Garcia; ARAÚJO, Helio Lopes; GOMES, Rafaela Christina Costa. Sistema automatizado de aquisição de dados meteorológicos. In: **Jornada Acadêmica da UEG**, Santa Helena, GO, v. 7. n.1. 2013. p. 1-5.

FILIPEFLOP Componentes Eletrônicos. **Controlando temperatura e pressão com o BMP180**. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/temperatura-pressao-bmp180-arduino/>>. Acesso em: fev. 2019.

FINHOLDT, Gustavo et al. 2011. **Desenvolvimento e avaliação de uma estação meteorológica automática para manejo de irrigação**. Revista Engenharia na Agricultura - Reveng. 19. 313-328. 10.13083/reveng.v19i4.320.

FIORIN, Tatiana Taschetto; Dal Ross, Meridiana. **Climatologia agrícola**. – Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico. Rede e-Tec Brasil, 2015.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Os satélites e suas aplicações**. 2008. Disponível em: <<http://www.sindct.org.br/files/livro.pdf>>. Acesso: Maio/2018

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). **Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>>. Acesso: Maio/2018.

IPCC, Fifth Assessment Report: Climate Change 2014: **The AR5 Synthesis Report**. (IPCC, Geneva, 2014). Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar5/>>. Acesso: mai. 2018.

JÚNIOR, Lindberg Nascimento, NETO, João Lima Sant'Anna. Contribuição aos estudos da precipitação no estado do Paraná: a oscilação decadal do Pacífico-ODP. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise 35**. 2016. p. 314-343.

KIT Estação Meteorológica Anemômetro. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-797316927-kit-estaco-meteorologica-anemmetro-pluvimetro-etc-arduino-_JM#reco_item_pos=1&reco_backend=l3-l7-pp-ngrams-seller&reco_backend_type=low_level&reco_client=vip-seller_items-above&reco_id=7b4c49c5-6e10-4a5b-84a5-194c8d72a176>. Acesso em: mai. 2018.

KODALI, R.K.; MANDAL, S. IoT based weather station. In: **2016 International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICICCT)**, Kumaracoil, 2016. p. 680-683.

KRISHNAMURTHI, Karthik; THAPA, Suraj; KOTHARI, Lokesh; PRAKASH, Arun. Arduino Based Weather Monitoring System. **International Journal of Engineering Research and General Science**, v. 3, n. 2, 2015. p. 452-458.

KUSRIYANTO, Medilla; PUTRA, Agusti Anggara. Weather Station Design Using IoT Platform Based On Arduino Mega. In: **2018 International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD)**, Bandung, 2018. p. 1-4.

LACERDA, Flavia; LIMA-MARQUES, Mamede. **Da necessidade de princípios de Arquitetura da Informação para a Internet das Coisas**. Perspectivas em Ciência da Informação. 2015, p. 158-171.

LEMOS, André. A comunicação das coisas. Internet das coisas e teoria ator-rede. Seminários Internacionais Museu Vale. 2012.

LEMOS, Andressa. AgSolve. **Qual o Melhor Local de Instalação para minha Estação Meteorológica?** Disponível em: <<https://www.agsolve.com.br/dicas-e-solucoes/10360/qual-o-melhor-local-de-instalacao-para-minha-estacao-meteorologica>>. Acesso: Maio/2018.

LEMOS, Mário. **Internet das coisas criará novas oportunidades de negócios na agricultura digital**. 2016. Disponível em: <<http://www.uagro.com.br/editorias/tecnologia/2016/09/06/internet-das-coisas-criara-novas-opportunidades-de-negocios-na-agricultura-digital.html>>. Acesso em: mai. 2018.

MARENGO, José A. O futuro clima do Brasil. **Revista USP 103**. 2014. p. 25-32.

MARGULI S, Sergio; DUBEUX, Carolina Burle Schmidt (eds.). **Economia da Mudança do Clima no Brasil: Custos e Oportunidades**. Coordenação geral de Jacques Marcovitch. São Paulo, IBEP, 2010, p. 82.

McROBERTS, Michael. **Arduino Básico**. Novatec, São Paulo, 2011.

MEDIDOR de índice UV com Arduino. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/medidor-de-indice-uv-com-arduino/>>. Acesso em: mai. 2018.

MELO, Lara Clímaco; SANQUETTA, Carlos Rovertto; CORTE, Ana Paula Dalla; VIRGENS FILHO, Jorim Souza das. Cenários climáticos futuros para o paraná: oportunidades para o setor florestal. **Revista Brasileira de Climatologia 16**. 2015.

MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. Oficina de textos, 2017.

MITTAL, Yash; MITTAL, Anshika; BHATEJA, Diksha; PARMAAR Komal; MITTAL, V. K. Correlation among environmental parameters using an online Smart Weather Station System. In: **Annual IEEE India Conference (INDICON)**, New Delhi, 2015. p. 1-6.

MÓDULO RF wireless LoRa 433Mhz. 2018a. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/modulo-rf-wireless-lora-433mhz/>>. Acesso em: mai. 2018.

MÓDULO wireless Nrf24101 com antena 1km. 2018b. Disponível em: <<http://www.inobot.com.br/pd-33bec1-modulo-wireless-nrf24101-com-antena-1km.html>>. Acesso em: mai. 2018.

MORIMOTO, Carlos E. **Antenas.** 2011. Disponível em: <<https://www.hardware.com.br/guias/redes-wireless/antenas.html>>. Acesso em: mai. 2018.

MORÓN, Carlos; DÍAZ, Jorge; FERRANDEZ, Daniel; SAIZ, Pablo. Design, Development and Implementation of a Weather Station Prototype for Renewable Energy Systems. **Energies**, v. 11, n. 2234, 2018.

MOURA. **Baterias Estacionárias.**

Disponível em: <<http://www.moura.com.br/produtos/estacionarias/>>. Acesso: mai. 2018.

NETTO, Luiz Ferraz. **Meteorologia. Feira de Ciências, 1999.** Disponível em: <[http://www.feiradeciencias.com.br/sala02/02_0m0.asp#O pluviômetro](http://www.feiradeciencias.com.br/sala02/02_0m0.asp#O%20pluvi%C3%B4metro)>. Acesso em: mai. 2018.

OLIVEIRA, Leandro Dias de. **Geopolítica do desenvolvimento sustentável: reflexões sobre o encontro entre economia e ecologia.** Carta Internacional. 2012, v. 7, n.1. p. 118-39.

OLIVEIRA, Jadson da Silva; SOUZA, Jhonatan Matos de Souza. **Smart farm – monitoramento de temperatura e umidade de uma pequena lavoura de Maracujá.** Trabalho de Conclusão do Curso (Tecnologia de Redes de Computadores) — Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Catarinense. 2013.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental.** 15. ed. FEALQ, Piracicaba, 2009.

PINTO, Carlos; CATARINO, Joana; CORREIA, Manuel; LEITE, Pedro; COSTA, Sara. **Energia solar.** Faculdade de Engenharia Universidade do Porto. U. Porto: 2015.

PINTO, Fernando Carlos Rodrigues. Proposta de sequência didática baseada na aprendizagem significativa: construção de uma mini estação meteorológica com Arduino. 2018.

POPA, Mircea; IAPA, Catalin. Embedded weather station with remote wireless control. In: **19th Telecommunications Forum (TELFOR) Proceedings of Papers**, Belgrade, 2011. p. 297-300.

QUADROS, Luciana Espíndula de. **A ocorrência de secas meteorológicas no Estado do Paraná: utilizando dados históricos e simulados**. 2017. 87 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel – PR, 2017.

RAO, R. N.; SRIDHAR, B. IoT based smart crop-field monitoring and automation irrigation system. In: **2nd International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC)**, Coimbatore, 2018. p. 478-483.

RASPBERRY. **Raspberry Pi 3 Model B**. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>>. Acesso em: fev. 2019.

RAU, Amogh Jayaraj; SANKAR, Jairam; MOHAN, Ashok; KRISHNA, Deepti Das; MATHEW, Jimson. IoT Based Smart Irrigation System and Nutrient Detection with Disease Analysis. In: **2017 IEEE Region 10 Symposium (TENSYMP)**. Cochin, 2017, pp. 1-4.

ROSA, Rafael Pedroso da. **Dispositivos IoT aplicáveis à agricultura intensiva e os resultados já alcançados**. Datacenter: projeto, operação e serviços-Unisul Virtual. 2017.

SAMPAIO, Alexandre Felipe Carvalho. **Sistema de automação wireless para controle de dispositivos autônomos**. Monografia do Curso de Engenharia de Computação. Faculdade de Ciência de Exatas e Tecnologia. Brasília: 2008.

SANTOS Diego, BALBINO Amanda. AgroSmart. **Estação Meteorológica: Como funciona e sua importância na agricultura**. Disponível em: <<https://agrosmart.com.br/blog/meteorologia/estacao-meteorologica-funciona-importancia-agricultura/>>. Acesso: Maio/2018.

SANTOS, Lorena Beatriz. **Sistema automatizado para controle de umidade e temperatura em cultura de morangos aplicados aos pequenos agricultores**. Brasília: UniCEUB, 2014.

SENSOR de Umidade e Temperatura DHT11. 2018a. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-umidade-e-temperatura-am2302-dht22/>>. Acesso em: mai. 2018.

SENSOR de Umidade do Solo Higrômetro. 2018b. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-umidade-do-solo-higrometro/>>. Acesso em: mai. 2018.

SENSOR de Raio Ultra Violeta UV UVM-30A. 2018c. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-raio-ultravioleta-uv/>>. Acesso em: mai. 2018.

SENSORES de radiação solar. Disponível em: <<http://www.mra.pt/industria/produtos/sensores-aquisicao-de-dados-e-calibracao/sensores-e-condicionadores-de-sinal/radiacao-solar/sensores-de-radiacao-solar/>>. Acesso em: mai. 2018.

SILVA, Domiciano Correa Marques da. **Manômetro e Barômetro**. Mundo Educação. 2009. Disponível em: <<http://www.mundoeducacao.com.br/fisica/manometro-barometro.htm>>. Acesso em: mai. 2018.

SILVA, Juciê Xavier da. **A Internet das Coisas na Agricultura Familiar: Contribuição para o aumento da produtividade e redução do desperdício de Recursos Hídricos**. 2017.

Disponível em: <<http://www.eripi.com.br/2016/anais2016/2472/153221.pdf>>. Acesso em: mai. 2019.

SILVA, Renan Bohrer da; LEAL, Lucas dos Santos; ALVES, Leonardo Sehn; BRANDÃO, Rafael Vasques; ALVES, Rita Cássia Marques; KLERING, Eliana Valeda; PEZZI, Rafael Peretti. Estações meteorológicas de código aberto: um projeto de pesquisa e desenvolvimento tecnológico. **Revista brasileira de ensino de física**. São Paulo. v. 37, n. 1 (mar. 2015), 1505, 8 p. 2015a.

SILVA, Sergio. D. **Internet das coisas: 34 bilhões de dispositivos em 2020**. 2016. Disponível em:

<<http://www.meioemensagem.com.br/home/marketing/2016/06/01/internet-dascoisas-34-bi-de-dispositivos-em-2020.html>>. Acesso em: mai. 2018.

SILVA, Wanderson Luiz, DEREZYNSKI, Claudine; CHANG, Manyu; FREITAS, Marcos; MACHADO, Bruno Justein; TRISTÃO, Leonardo; RUGGERI, Janaina. Tendências observadas em indicadores de extremos climáticos de temperatura e precipitação no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 30. n. 2. 2015b. p. 181-194.

SINGER, Talita. Tudo conectado: conceitos e representações da internet das coisas. In: **Simpósio em tecnologias digitais e sociabilidade**, v. 2. 2012. p. 1-15.

SOUZA, Romário Rosa de; ANTUNES, Jaime Pereira; CABRAL, Izaias. Estação meteorológica experimental de baixo custo. **Revista Geo UERJ**, n. 27, 2015. p. 80-97.

SUGIARTO, Bambang; DJAELANI, Elan. A remote control system for channel configuration on weather station over TCP/IP network. In: **2015 International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture, and Industrial Automation (ICAMIMIA)**. Surabaya, 2015. p. 76-80.

SUNEHRA; Dhiraj; GOUD, Surrender. Attendance recording and consolidation system using Arduino and Raspberry Pi. In: **2016 International Conference on Signal Processing, Communication, Power and Embedded System (SCOPEs)**, Paralakhemundi, 2016. p. 1240-1245.

STEFFEN, Carlos Alberto. **Introdução ao sensoriamento remoto**. São Paulo. v.14. 2008. Disponível em: <<http://www3.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>>. Acesso em: mai. 2017.

TEIXEIRA, Ariel Cezar; NUNES, Diego Guimarães; SILVA, Ronei Pinto da; SANTOS, Rafael Pires dos; ROSENBAACH, Lari; BUGS, Cristhian Augusto. **Monitoramento de variáveis ambientais por meio de um sistema autônomo baseado na plataforma Arduino.** In: Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão. v. 8. n. 2. 2016. p. 1-2.

TENZIN, Sonam; SIYANG, Satetha; POBKURUT, Theerapat; KERDCHAROEN, Teerakiat. Low cost weather station for climate-smart agriculture. In: **9th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST)**, Chonburi, 2017. p. 172-177.

APÊNDICE A – CÓDIGOS UTILIZADOS PARA COLETA E TRANSMISSÃO DE DADOS PELOS SENSORES

```
# -*- coding: utf-8 -*-
from gpiozero import DigitalInputDevice
import Adafruit_BMP.BMP085 as BMP085
import paho.mqtt.client as mqtt
import random, threading, json
import Adafruit_DHT as dht
from time import sleep
import spidev
import math

# Configurações do MQTT
MQTT_Broker = "192.168.0.101"
#"iot.eclipse.org"
MQTT_Port = 1883
Keep_Alive_Interval = 45
MQTT_Topic_SensorMet = "SensorMet"
Id_Sensor = 'SensorMet'

#conexão com o broker
def on_connect(client, userdata, rc):
    if rc != 0:
        pass
        print ("Unable to connect to MQTT Broker....")
    else:
        print ("Connected with MQTT Broker: " + str(MQTT_Broker))
def on_publish(client, userdata, mid):
    pass
def on_disconnect(client, userdata, rc):
    if rc !=0:
        pass
```

```

#configuração Velocidade do vento
count = 0
radius_cm = 14.7 #Radius of the anemometer
interval = 45 #How often to report speed
ADJUSTMENT = 2.3 #Adjustment of weight of cups
CM_IN_A_KM = 100000.0
SECS_IN_AN_HOUR = 3600

```

```

#contador MM de chuva
count_mm = 0

```

```

#atribuição do sensor BMP180
sensor_bmp = BMP085.BMP085()

```

```

#Configuração SPI bus
spi = spidev.SpiDev()
spi.open(0,0)
spi.max_speed_hz = 1000000
canal_dir_vento = 0
canal_sensorUV = 1

```

```

#leitura do valor de entrada do MCP3008
def leitura(channel):
    if channel > 7 or channel <0:
        return -1
    r = spi.xfer([1, (8 + channel) << 4, 0])
    data = ((r[1] & 3) << 8) + r[2]
    percent = int(round(data/10.24))
    return data

```

```

#Conversão do valor de entrada do MCP3008
def convertVoltage(bitValue, decimalPlaces=2):
    voltage = bitValue*(5.0/float(1023))

```

```
voltage = round(voltage, decimalPlaces)
return voltage
```

#função que retorna a direção do Vento

```
def direcao():
    dados = leitura(canal_dir_vento)
    voltagem = convertVoltage(dados)
    if (voltagem<=0.27):
        Winndir = 315
        SentidoVento = 'NO'
        return SentidoVento
    elif (voltagem<=0.32):
        Winndir = 270
        SentidoVento = 'O'
        return SentidoVento
    elif (voltagem<=0.38):
        Winndir = 225
        SentidoVento = 'SO'
        return SentidoVento
    elif (voltagem<=0.45):
        Winndir = 180
        SentidoVento = 'S'
        return SentidoVento
    elif (voltagem<=0.57):
        Winndir = 135
        SentidoVento = 'SE'
        return SentidoVento
    elif (voltagem<=0.75):
        Winndir = 90
        SentidoVento = 'E'
        return SentidoVento
    elif (voltagem<=1.25):
        Winndir = 45
        SentidoVento = 'NE'
```

```
        return SentidoVento
    else:
        Winndir = 0
        SentidoVento = 'N'
        return SentidoVento
```

#Função que calcula o nível de Radiação UV

```
def Calcula_nivel_UV():
    uv_valor=leitura(canal_sensorUV)
    tensao = (uv_valor * (5.0 / 1023.0)) * 1000
    if (tensao > 0 and tensao < 50):
        UV_index = 0
        return UV_index
    elif (tensao > 50 and tensao <= 227):
        UV_index = 0
        return UV_index
    elif (tensao > 227 and tensao <= 318):
        UV_index = 1
        return UV_index
    elif (tensao > 318 and tensao <= 408):
        UV_index = 2
        return UV_index
    elif (tensao > 408 and tensao <= 503):
        UV_index = 3
        return UV_index
    elif (tensao > 503 and tensao <= 606):
        UV_index = 4
        return UV_index
    elif (tensao > 606 and tensao <= 696):
        UV_index = 5
        return UV_index
    elif (tensao > 696 and tensao <= 795):
        UV_index = 6
        return UV_index
```

```

elif (tensao > 795 and tensao <= 881):
    UV_index = 7
    return UV_index
elif (tensao > 881 and tensao <= 976):
    UV_index = 8
    return UV_index
elif (tensao > 976 and tensao <= 1079):
    UV_index = 9
    return UV_index
elif (tensao > 1079 and tensao <= 1170):
    UV_index = 10
    return UV_index
elif (tensao > 1170):
    UV_index = 11
    return UV_index
else:
    return 0

# Função que calcula a velocidade do vento
def calculate_speed(time_sec):
    global count
    circumference_cm = (2 * math.pi) * radius_cm
    rotations = count
    dist_km = (circumference_cm * rotations)/CM_IN_A_KM
    km_per_sec = dist_km / time_sec
    km_per_hour = km_per_sec * SECS_IN_AN_HOUR
    return km_per_hour * ADJUSTMENT

#procedimento que faz a contagem de quantas voltas o sensor de vento deu
def spin():
    global count
    count = count + 1
    print(count)

```

```
#procedimento que faz a contagem de quantas vezes o sensor de chuva foi
acionado
```

```
#Cada vez que é acionado é contado 0.25 mm de chuva
```

```
def mm():
```

```
    global count_mm
```

```
    count_mm = count_mm + 0.25
```

```
    print(count_mm)
```

```
def bmp():
```

```
    temperatura = sensor_bmp.read_temperature()
```

```
    pressao = sensor_bmp.read_pressure()
```

```
    altitude = sensor_bmp.read_altitude()
```

```
    pressao_Mar = sensor_bmp.read_sealevel_pressure()
```

```
    return temperatura, pressao, altitude, pressao_Mar
```

```
    print ('Temp = {0:0.2f} *C'.format(temperatura)) # Temperature in Celcius
```

```
    print ('Pressure = {0:0.2f} Pa'.format(pressao)) # The local pressure
```

```
    print ('Altitude = {0:0.2f} m'.format(altitude)) # The current altitude
```

```
    print ('Sealevel Pressure = {0:0.2f} Pa'.format(pressao_Mar)) # The sea-
```

```
level pressure
```

```
def DHT():
```

```
    h,t = dht.read_retry(dht.DHT22,4)
```

```
    print ('Temp={0:0.1f}*C Humidity={1:0.1f}%'.format(t,h))
```

```
#inicializando o mqtt
```

```
mqttc = mqtt.Client()
```

```
mqttc.on_connect = on_connect
```

```
mqttc.on_disconnect = on_disconnect
```

```
mqttc.on_publish = on_publish
```

```
def publish_To_Topic(topic, message):
```

```
    mqttc.publish(topic, message)
```

```
    print("Published: " + str(message) + " " + "on MQTT Topic: " + str(topic))
```

```
print ("")
```

```
#Função que publica os dados no servidor
```

```
#Os dados são enviados em formato JSON para o servidor
```

```
def publish_Sensor_Values_to_MQTT(count_ml, count_km):
```

```
    temperatura, pressao, altitude, pressao_Mar = bmp()
```

```
    SensorMet_Data = {}
```

```
    SensorMet_Data['Sensor_ID'] = Id_Sensor
```

```
    SensorMet_Data['VolumeChuva'] = count_ml
```

```
    SensorMet_Data['VelocidadeVento'] = count_km
```

```
    SensorMet_Data['DirecaoVento'] = direcao()
```

```
    SensorMet_Data['NivelRadiacao'] = Calcula_nivel_UV()
```

```
    SensorMet_Data['Temperatura'] = temperatura
```

```
    SensorMet_Data['PressaoAr'] = pressao
```

```
    SensorMet_Data['Altitude'] = altitude
```

```
    SensorMet_Data['PressaoMar'] = pressao_Mar
```

```
    Dados_Sensor = json.dumps(SensorMet_Data)
```

```
    print("Publishing Sensor values.... ")
```

```
    mqttc.connect(MQTT_Broker, int(MQTT_Port), int(Keep_Alive_Interval))
```

```
    publish_To_Topic(MQTT_Topic_SensorMet, Dados_Sensor)
```

```
Sensor_chuva = DigitalInputDevice(26)
```

```
Sensor_chuva.when_activated = mm
```

```
wind_speed_sensor = DigitalInputDevice(27)
```

```
wind_speed_sensor.when_activated = spin
```

```
while True:
```

```
    count = 0
```

```
    count_mm = 0
```

```
    sleep(45)
```

```
    try:
```

```
        publish_Sensor_Values_to_MQTT()
```

```
    except:
```

```
    print 'Nao consegui enviar...'  
pass  
print('chuva total; ', count_mm)  
print(round(calculate_speed(45),2), "Kph")  
print('Direcao do Vento', direcao())  
print('Radiacao UVA ', Calcula_nivel_UV())  
bmp()  
DHT()
```