

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE BAIXO CUSTO UTILIZANDO ESP32

Douglas Correia Salazar e Jonas Forte Silva

Prof. Msc. Felipe José Carbone (Orientador)

DOURADOS-MS

2019

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE BAIXO CUSTO UTILIZANDO ESP32

Douglas Correia Salazar e Jonas Forte Silva

Este exemplar corresponde à redação final da monografia da disciplina: Projeto Final de Curso devidamente corrigida. Defendida por Douglas Correia Salazar e Jonas Forte Silva e aprovada pela Banca Examinadora, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Computação.

DOURADOS-MS 2019

Prof. Msc. Felipe José Carbone
(Orientador)

Engenharia de Computação
Universidade Federal da Grande Dourados

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE BAIXO CUSTO UTILIZANDO ESP32

Douglas Correia Salazar e Jonas Forte Silva

Junho 2019

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Rodrigo Yoshikawa Oeiras

Prof. Msc. Evanise Araujo Caldas

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem Ele jamais chegaria até aqui.

Aos meus pais, Maria Cristina e Osmar Francisco que me proporcionaram apoio durante minha graduação. Aos meus amigos que sempre me ajudaram em tudo durante a graduação e que me incentivaram a continuar.

Ao Professor, Felipe José Carbone pela orientação e incentivo dado para o término desse trabalho.

E a todos os demais Professores que contribuíram para o sucesso desse trabalho.

Jonas Forte Silva

Agradeço primeiramente a Deus, pois graças a Ele que tudo se tornou possível.

Aos meus pais, Regina Aparecida Correia e Candido Salazar que sempre me apoiaram, se esforçaram e não mediram esforços para que eu chegasse até a esta etapa de minha vida. A Gabriella Lucia Caneppele Pereira que sempre esteve ao meu lado me incentivando a concluir mais essa etapa da minha vida.

Aos meus amigos que sempre me ajudaram em tudo durante a graduação e que me incentivaram a continuar.

Aos Professores, Felipe José Carbone pela orientação e incentivo que possibilitou o término desse trabalho.

E a todos os demais Colegas e Professores que contribuíram para o sucesso desse trabalho.

Douglas Correia Salazar

RESUMO

Neste trabalho foi desenvolvido uma estação meteorológica de pequeno porte, baixo custo, conectada à internet e com um portal de acesso para todas as informações. Foi utilizado um conjunto de sensores com o microcontrolador ESP32 na construção física da estação meteorológica. No sistema web desenvolvido foi utilizado a linguagem JavaScript para o back-end, HTML com CSS para o front-end e um banco de dados noSQL que armazenas as leituras da estação.

Em uma tentativa de unir os conceitos de internet das coisas e cidades inteligentes com meteorologia, foi desenvolvido um sistema web com o foco de fornecer um portal com informações climáticas para aqueles que frequentam a região do campus 2 da Universidade Federal da Grande Dourados.

Para que fosse possível o desenvolvimento de uma estação meteorológica, integrada com a internet, com boa precisão e um baixo custo de produção, foi necessário integrar tecnologias atuais de hardware, como os microcontroladores de fácil prototipação com as tecnologias atuais de desenvolvimento de software web, como os interpretadores de linguagem Java script e os pacotes necessários para essa comunicação.

O texto desse trabalho reúne informações sobre os conceitos necessários para entender o funcionamento de uma estação meteorológica, bem como traz uma descrição e análise de um protótipo desenvolvido com a união desses conceitos.

Nesse trabalho foi desenvolvido um protótipo funcional para a estação meteorológica, com um abrigo resistente e hardware adequado. Foram realizadas coletas de informações dos sensores e armazenadas no banco de dados, permitindo a comparação dos valores encontrados com outras fontes de meteorologia.

ABSTRACT

In this work a small meteorological station was developed, low cost, connected to the internet and with an access portal for all the information. A set of sensors with the ESP32 microcontroller was used in the physical construction of the meteorological station. In the developed web system, we used the JavaScript language for the back end, HTML with CSS for the front end and a noSQL database that stores the readings of the station.

In an attempt to unite the internet of things and intelligent cities concepts with meteorology, a web system was developed with the aim of providing a portal with climatic information for those who frequent the Campus 2 region of the Federal University of Grande Dourados.

To be able to develop a weather station, integrated with the internet, with good precision and a low cost of production, it was necessary to integrate current hardware technologies, such as microcontrollers with easy prototyping with current web software development technologies, such as the Java script language interpreters and the packages required for this communication.

The text of this paper gathers information about the concepts necessary to understand the working of a meteorological station, as well as a description and analysis of a prototype developed with the union of these concepts.

In this paper a functional prototype was developed for the meteorological station, with a resistant shelter and adequate hardware. Data were collected from the sensors and stored in the database, allowing the comparison of the values found with other meteorological sources.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1 INTERNET DAS COISAS.....	13
2.2 CIDADES INTELIGENTES	14
2.3 ESTAÇÃO METEOROLÓGICA	16
2.3.1 ABRIGO	18
2.3.2 INSTRUMENTOS METEOROLÓGICOS	19
2.4 TRABALHOS RELACIONADOS.....	21
3. DESENVOLVIMENTO	22
3.1 PROJETO DO ABRIGO	22
3.2 PROJETO DE HARDWARE DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA.....	25
3.2.1 SENSORES	27
3.2.1.1 DHT 22	27
3.2.1.2 BMP 280	28
3.2.1.3 CHUVA E SOLO.....	29
3.2.2 CIRCUITO ELÉTICO	29
3.2.3 FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO	31
3.3 PROJETO SISTEMA WEB	32
3.3.1 CASOS DE USO	32
3.3.2 CLASSES	33
3.3.3 ATIVIDADE	35
3.3.4 FERRAMENTAS E TECNOLOGIA	36
3.3.5 ARQUITETURA MVC.....	36
3.3.6 BACK-END.....	37
3.3.7 FRONT-END	38
3.4 CUSTO DO PROJETO	38
4. IMPLEMENTAÇÃO	39
4.1 HARDWARE	40
4.2 SOFTWARE.....	42
5. ANÁLISE DE DADOS	46
5.1 TESTE DE PRECISÃO	47
5.2 TESTES DE ENFICIÊNCIA ENERGÉTICA	50
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de atuação da IoT.....	14
Figura 2 - Geo Distribuição De Cidades Inteligentes	15
Figura 3 -Estação Meteorológica Embrapa Dourados	17
Figura 4 -Abrigo da estação meteorológica convencional do INMET em Vitória/ES.....	18
Figura 5 - 41002 12 Plate Gill Radiation	19
Figura 6 - Projeto estação meteorológica por componente	23
Figura 7 - Projeto estação meteorológica estrutura fechada.....	24
Figura 8 - ESP32	26
Figura 9 - Circuito Estação meteorológica.....	30
Figura 10 - Imagem IDE	31
Figura 11 - Diagrama de Casos de Uso.....	32
Figura 12 - Diagrama de classes	33
Figura 13 - Diagrama de Classes Estação	34
Figura 14 - Diagrama de Classes Usuário.....	34
Figura 15 - Diagrama de Atividades	35
Figura 16 - Modelo MVC	36
Figura 17 - Tele de exibição do clima (Visão através do dispositivo móvel)	44
Figura 18 - Tele de exibição do histórico (Visão através de dispositivo móvel)	46
Figura 19 - Localização EMBRAPA e Estação Meteorológica	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações ESP32	27
Tabela 2 - Especificações DHT 22.....	28
Tabela 3 - Especificações elétricas DHT 22.....	28
Tabela 4 - Especificações elétricas BMP280	29
Tabela 5 - Especificações elétricas sensor capacitivo	29
Tabela 6 - Custo de produção.....	39
Tabela 7 - Comparação de dados (EMBRAPA x Estação Meteorológica) 11/05/2019.....	48
Tabela 8 - Comparação de dados (EMBRAPA x Estação Meteorológica) 12/05/2019.....	49
Tabela 9 - Coletas entre 17:00 e 18:00.....	50

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

IOT	Internet Of Things
EEPROM	Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory
MVC	Model View Controller
PVC	Polyvinyl chloride
CLP	Controlador lógico programável
TSMC	Taiwan Semiconductor Manufacturing Company
SPI	Serial Peripheral Interface
I2C	Inter-Integrated Circuit
GND	Graduated neutral density filter
SDA	Serial Data
SCL	Serial Clock
AD	Analógico digital
IDE	Integrated Development Environment
UML	Unified Modeling Language
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
JSON	JavaScript Object Notation
HTML	HyperText Markup Language
CSS	Cascading Style Sheets
TIC	Tecnologia da informação e comunicação
UFGD	Universidade Federal da Grande Dourados

1. INTRODUÇÃO

Os serviços meteorológicos e hidrológicos trabalham o tempo todo para fornecer informações meteorológicas e climáticas em todo mundo. Com as informações é possível obter alertas precoces, qualidade do ar, variabilidade e mudança do clima, sendo assim possível tomar decisões e acionar alertas a população sobre riscos climáticos. Com essas advertências é possível salvar vidas, propriedades, recursos e meio ambiente, auxiliando no crescimento socioeconômico (OMW, 2018).

Segundo o (INMET, 2018) são cerca de 189 países membros e territórios que participam da *World Meteorological Organization*, responsável por coletar esses dados gerados pelos membros e efetuar o processamento e análise, gerando assim previsões e alertas. Esses dados são coletados por estações meteorológicas espalhadas por todo o mundo, dispositivos esses, situados em terra, mar, ar e espaço. Uma estação meteorológica é composta por diversos sensores que coletam informações como direção do vento, pressão atmosférica, radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento.

É com frequência cada vez maior que encontramos a tecnologia ajudando e servindo a sociedade civil. Com a proporção de conectividade que vivemos é comum pensar na automatização e informatização de sistemas coletivos, como um grupo de pessoas, um espaço, uma cidade, porém não é com frequência que vemos investimento tecnológico no ambiente público. Esse trabalho tem como fundamental estudo, a integração de recursos tecnológicos na sociedade para fornecer um serviço de meteorologia à comunidade universitária de Dourados.

Segundo (Komninos & Sefertzi, 2009) as iniciativas para cidades inteligentes focalizam o uso das Tecnologia de Informação e Comunicação (TIC) para transformar a vida e o trabalho dentro de uma região, de forma significativa e fundamental, mais do que de forma incremental, explorando os recursos da cidade digital de maneira inovadora e colaborativa. Dentro do contexto de cidades inteligentes temos as universidades inteligentes, que segue os mesmos preceitos de utilizar a tecnologia em prol da sociedade.

Uma estação meteorológica no campus universitário visa a construção e implantação do equipamento e a comunicação com a internet, servindo assim todas as pessoas que se deslocam para lá, gerando uma condição de previsibilidade do clima local, principalmente nos horários comuns de transporte. Essa aplicação conta com a inteligência na comunicação e interação com o usuário ao entregar a informação, podendo conscientizar para o trânsito, a saúde e bem-estar.

Este trabalho foi desenvolvido para implantar no ambiente da cidade universitária de Dourados uma estação meteorológica integrada com a internet. Tem como objetivo atingir também um resultado de baixo custo, utilizando o microcontrolador ESP32 como a base do hardware da estação meteorológica e um sistema web responsivo, desenvolvido em NodeJS e banco de dados Mongo (noSQL).

O texto desse trabalho está dividido em 4 capítulos principais. Inicialmente, inteiramos o leitor aos fundamentos necessários para compreensão do desenvolvimento do projeto na fundamentação teórica, em seguida, o capítulo protótipo descreve como foi desenvolvida fisicamente a primeira versão da estação meteorológica, já a construção lógica mostra como os algoritmos e códigos são explicados em implementação e finalizando, a análise de dados que traz ao leitor, os resultados de testes e comparações com outros serviços meteorológicos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para desenvolver o projeto foi necessário o aprofundamento de alguns conceitos teóricos que foram essenciais para aplicação e desenvolvimento do mesmo, sendo assim, o Capítulo 2 aborda alguns conceitos fundamentais como: Internet das Coisas, Cidades Inteligentes e Meteorologia.

2.1 INTERNET DAS COISAS

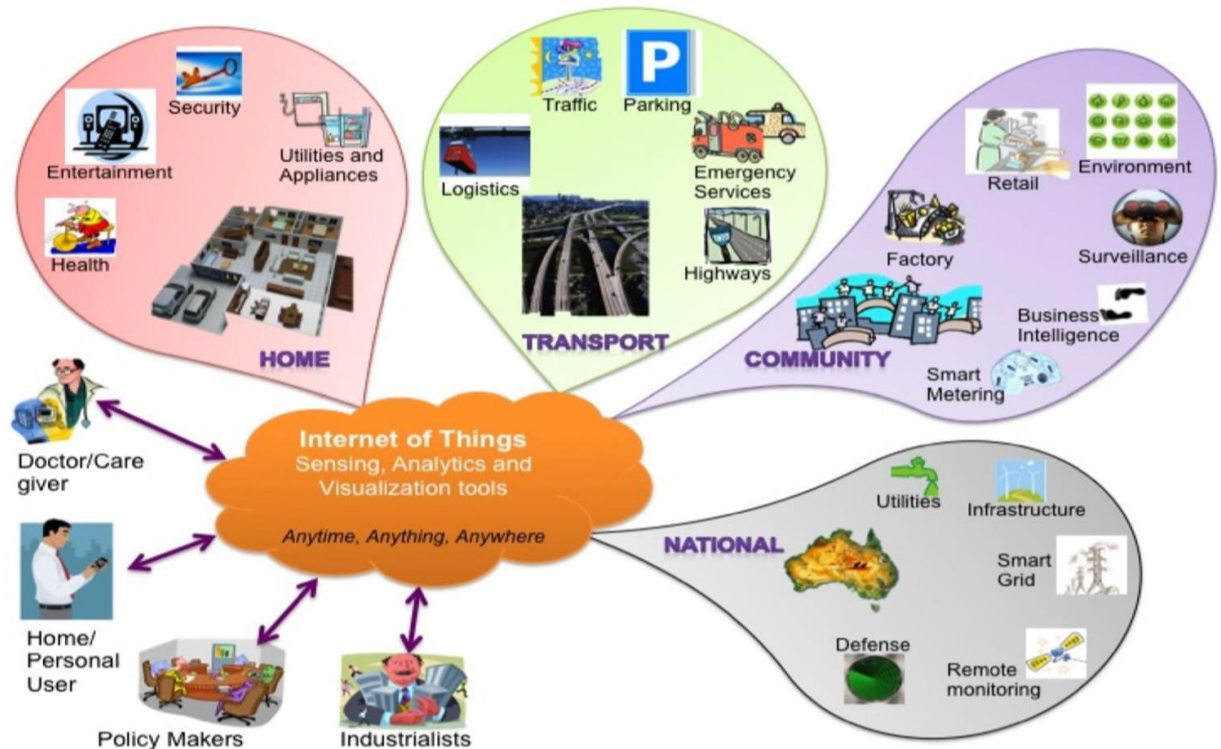
A próxima onda na era da computação estará fora do âmbito do desktop tradicional. No paradigma da Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT), muitos dos objetos que nos cercam estarão na rede de uma forma ou de outra. (Buyya, 2013)

Ainda, segundo Buyya (Buyya, 2013), conectividade inteligente em conjunto com as redes existentes e computação direcionada para os recursos de rede são uma parte indispensável da IoT. Com a crescente presença de Wi-Fi e 4G-Lte para acesso à Internet sem fio, a evolução para uma rede de informação e comunicação onipresente já é evidente.

Internet das coisas é um novo paradigma de tecnologia imaginado como uma rede global de máquinas e dispositivos capazes de interagir uns com os outros. A IoT é reconhecida como uma das áreas mais importantes da tecnologia futura e está ganhando grande atenção de uma ampla gama de indústrias. (Kyoochun, 2015)

Na figura 1 podemos observar os meios e ambientes em que a internet das coisas está presente, ao redor do mundo é comum encontrarmos aplicações IoT para diversas finalidades entre essas está o uso pessoal para um ambiente de casa com aplicações no entretenimento, segurança, saúde e objetos. Também é comum aplicações no transporte público e privado envolvendo tráfego, estacionamento, logística e serviços de emergência. No setor público nacional esse paradigma é aplicado na defesa nacional, infraestrutura, utilidades públicas e monitoramento remoto. E por fim o setor comunitário que se beneficia da internet das coisas de maneira ampla nas fábricas, inteligência de negócios, vigilância, varejo e medições inteligentes.

Figura 1 - Esquema de atuação da IoT.



Fonte: (Buyya, 2013)

2.2 CIDADES INTELIGENTES

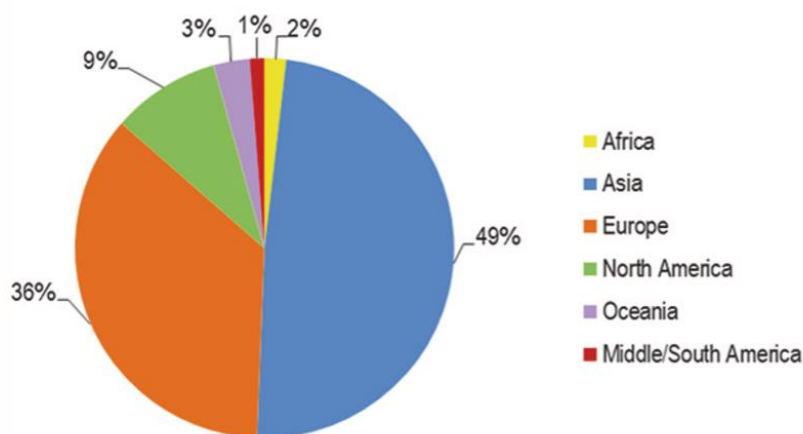
(Cocchia, 2014) Durante os últimos anos do século XX, dois fenômenos importantes surgiram: urbanização e tecnologias de informação e comunicação (por exemplo, TIC). [...] No contexto internacional, para alcançar os objetivos estabelecidos no Protocolo de Kyoto, o conceito Smart City nasceu e foi adotado por muitas instituições (por exemplo, Comissão Europeia, Setis-UE, OCDE, etc.).

A abordagem de cidades inteligentes inclui tecnologias que promovem maior eficiência energética e otimização na produção de bens e serviços; sistemas inteligentes para o monitoramento e gerenciamento das infraestruturas urbanas. (Marcos Cesar Weiss, 2013)

Na figura 2 podemos observar que a distribuição desse conceito ao redor do mundo é predominante na Ásia e Europa, isso acontece por conta dos investimentos em tecnologia e

comunicação em cada região. O Brasil e toda a América Latina é responsável por apenas 1% das implantações de cidades inteligentes no mundo.

Figura 2 - Geo Distribuição De Cidades Inteligentes



Fonte: (Cocchia, 2014)

No Brasil poucos casos de aplicação dos conceitos citados acima ocorreram, pois, os investimentos ainda são precários em áreas de infraestrutura básica como educação e saúde, passando assim para segundo plano a tecnologia. Um caso de estudo recente é a cidade de Porto Alegre que passou por uma reforma no gerenciamento de serviços e infraestrutura, adotando conceitos de cidades inteligentes. Como vemos em (Marcos Cesar Weiss, 2013) o caso não é tão simples por se tratar de um grande investimento, necessitando de um estudo aprofundado na aplicabilidade e rentabilidade nesse processo, como em toda aplicação de cidades inteligentes.

Cidades inteligentes englobam sistemas de vários tamanhos, podemos incluir nesse conceito um sistema destinado apenas aos campus universitários, chamado de SmartCampus a automação e integração de sistemas dentro de um ambiente universitário mostra-se mais possível e acessível dentro dos padrões de Cidades inteligentes. No jornal da USP em Ribeirão Preto a Universidade de São Paulo é um caso de sucesso na aplicação dos conceitos citados nessa seção, com diversos projetos e investimentos na Cidade Universitária Inteligente beneficia-se cerca de 20.000 pessoas diariamente, viabilizando e enfatizando a eficácia da implantação dos conceitos aqui abordados. (Talamone)

Em nosso trabalho a proposta é apresentar uma estação meteorológica conectada a internet, para que as milhares de pessoas que frequentam sua área de instalação acessem as informações meteorológicas. Também desenvolver um projeto de baixo custo, já que como citado anteriormente, o investimento e sua rentabilidade são as maiores dificuldades na implantação do conceito de cidades inteligentes. Em outros lugares desenvolvimentos como esse se mostraram assertivos, portais com informações de climatologia local são bem acessados ao redor do mundo, muitas informações podem ser disponibilizadas na internet criando um portal de acesso.

2.3 ESTAÇÃO METEOROLÓGICA

A terra passa por diversas variações, variações essas que podem se dar pelo clima, solo, relevo, rios, vegetação fauna, flora etc. Entre esses vários agentes naturais, o clima assume um significado expressivo sobre a paisagem externa, pois o mesmo vem a interferir em outros elementos como vegetação, o solo e relevo (Torres & de Oliveira Machado, 2011).

O conceito de clima é dado como “um estado médio dos elementos atmosféricos durante um período relativamente longo, sobre um ponto de superfície terrestre”. Contudo para que possa ser mensurado cientificamente esses elementos, é necessário a utilização de instrumentos que possibilitem a captação desses dados. No início do século XVII Galileu inventou o primeiro termômetro, porém até o começo do século XVIII ainda não existia termômetros precisos, com líquido em recipientes de vidro e escala calibrada. (Barry & J., 2013).

Em seguida começou surgir diversos instrumentos para captar esses dados, Torricelli em 1643 inventou o barômetro, Saussure em 1780 inventou o higrógrafo de cabelo (Barry & J., 2013) e assim foi evoluindo até os dias atuais.

Segundo (INMET, 2018) “a meteorologia é definida como a ciência que estuda os fenômenos que ocorrem, e está relacionada ao estado físico, dinâmico e químico da atmosfera, as interações entre elas e a superfície terrestre subjacente”. Com isso possibilitando mensurar o clima em certas instancias, criando assim a possibilidade de prever certos fatores do clima.

Tendo em vista a importância do clima e de sua previsão para a sociedade, segundo (Costa M. M., 2008) a meteorologia tem um papel muito importante na aviação, influenciando assim as rotas das aeronaves, procedimentos de pouso e decolagem, na agricultura (Sentelhas

& Eduardo, 2009) aponta que os elementos meteorológicos afetam não só o processo de desenvolvimento das plantas, mas também está diretamente relacionado aos processos de produção e atividades no campo. Assim além dos setores citados, podemos citar a construção civil, marinha, pescadores, a população em geral pois com o auxílio da meteorologia é possível, se prevenir de imprevistos, tomar decisões sobre deslocamento etc.

Os serviços meteorológicos têm finalidade, de coletar os dados e registros de todos os fatores climáticos, em determinados locais e horários. Com o intuito de prever mudanças de tempo que estão ocorrendo nas estações meteorológicas e analisar dados unitários afim de obter estatísticas meteorológicas e climatológicas. (INMET, 2018)

Para efetuar a análise do clima, previsões, alertas etc. é necessário efetuar a coleta dos dados sobre o mesmo. Essa coleta se dá a partir de estações meteorológicas espalhadas por todo o globo, classificadas como estações meteorológicas de superfície, convencionais ou automáticas contam com diversos sensores que são responsáveis por coletar dados como pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento, etc.

As estações meteorológicas superficiais automáticas têm como característica integrar minuto a minuto os valores observados e a cada hora disponibiliza em uma central “data logger”, já as estações convencionais os dados são lidos e anotados por um observador e a cada intervalo de tempo é enviado a um centro coletor (INMET, 2018).

Figura 3 -Estação Meteorológica Embrapa Dourados



Fonte: (EMBRAPA, 2018)

2.3.1 ABRIGO

Para garantir a precisão de alguns sensores é crucial que estejam dentro de um abrigo, responsável por proteger componentes elétricos contra influência da chuva e radiação solar direta, porém é necessário que permita a entrada de ventilação natural e radiação solar difusa, possibilitando assim, uma coleta de dados mais precisa sobre as condições no lado externo do abrigo. Como mostra a **Figura 4** um abrigo da estação meteorológica convencional do INMET em Vitória/ES. (INCAPER, 2018)

Figura 4 -Abrigo da estação meteorológica convencional do INMET em Vitória/ES



Fonte: (INCAPER, 2018)

Atualmente existem mini abrigos que tem como característica seu tamanho reduzido, porém garantindo a mesma precisão do abrigo mostrado na **Figura 4**. Na **Figura 5** abordamos o modelo 41002 12 Plate Gill Radiation (SCIENTIFIC, 2018), utilizaremos esse modelo como base para a produção do abrigo, levando em consideração o baixo custo, sem perder as características e funcionalidades de um abrigo certificado.

Figura 5 - 41002 12 Plate Gill Radiation



Fonte: (SCIENTIFIC, 2018)

2.3.2 INSTRUMENTOS METEOROLÓGICOS

Para a coleta dos dados nas estações meteorológicas, são necessários instrumentos que são sensores responsáveis por coletar diversos dados sobre o ambiente ao seu redor. Entre eles estão: (INMET, 2018)

- Anemógrafo - Registra continuamente a direção (em graus) e a velocidade instantânea do vento (em m/s), a distância total (em km) percorrida pelo vento com relação ao instrumento e as rajadas (em m/s).
- Anemômetro - Mede a velocidade do vento (em m/s) e, em alguns tipos, também a direção (em graus).
- Barógrafo - Registra continuamente a pressão atmosférica em milímetros de mercúrio (mm Hg) ou em milibares (mb).
- Barômetro de Mercúrio - Mede a pressão atmosférica em coluna de milímetros de mercúrio (mm Hg) e em hectopascal (hPa).

- Evaporímetro de Piche - Mede a evaporação - em mililitro (ml) ou em milímetros de água evaporada - a partir de uma superfície porosa, mantida permanentemente umedecida por água.
- Heliógrafo - Registra a insolação ou a duração do brilho solar, em horas e décimos.
- Higrógrafo - Registra a umidade do ar, em valores relativos, expressos em porcentagem (%).
- Microbarógrafo - Registra continuamente a pressão atmosférica - em milímetros de mercúrio (mm Hg) ou em hectopascal (hPa), numa escala maior que a do Barógrafo, registrando as menores variações de pressão, o que lhe confere maior precisão.
- Piranógrafo - Registra continuamente as variações da intensidade da radiação solar global, em $\text{cal.cm}^2.\text{mm}^{-1}$.
- Piranômetro - Mede a radiação solar global ou difusa, em $\text{cal.cm}^2.\text{mm}^{-1}$.
- Pluviógrafo - Registra a quantidade de precipitação pluvial (chuva), em milímetros (mm).
- Pluviômetro - Mede a quantidade de precipitação pluvial (chuva), em milímetros (mm).
- Psicrômetro - Mede a umidade relativa do ar - de modo indireto - em porcentagem (%). Compõe-se de dois termômetros idênticos, um denominado termômetro de bulbo seco, e outro com o bulbo envolvido em gaze ou cadarço de algodão mantido constantemente molhado, denominado termômetro de bulbo úmido.
- Tanque Evaporimétrico Classe A - Mede a evaporação - em milímetros (mm) - numa superfície livre de água.
- Termógrafo - Registra a temperatura do ar, em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$).
- Termohigrógrafo - Registra, simultaneamente, a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e a umidade relativa do ar (%).
- Termômetros de Máxima e Mínima - Indicam as temperaturas máxima e mínima do ar ($^{\circ}\text{C}$), ocorridas no dia.
- Termômetros de Solo - Indicam as temperaturas do solo, a diversas profundidades, em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

2.4 TRABALHOS RELACIONADOS

Podemos destacar trabalhos semelhantes no escopo de estação meteorológica com placas de fácil prototipação e conexão com a internet, porém é muito mais comum projetos controlados por um Arduino, diferente do nosso caso como será mostrado no capítulo seguinte. Em (PIÑERES-ESPITIA, CAMA-PINTO, Morrón, & Francisco) é descrito um trabalho muito interessante onde os resultados são semelhantes aos obtidos aqui, desenvolvido em Arduino. É um trabalho que também tem como objetivo uma estação de baixo custo. Os resultados mostraram uma precisão parecida com a que obtivemos nesse trabalho, pois foram utilizados praticamente os mesmos sensores. A análise e resultados desse trabalho foram distribuídos em tabelas e gráficos que relaciona a estação desenvolvida com uma vendida pronta. No texto o autor cita que o custo da estação pronta é de cerca de 75 dólares, enquanto a estação desenvolvida economiza 60% desse valor, com os mesmo componentes de medição.

Em (Katyal, 2016) vemos um trabalho simples com o mesmo objetivo de construção de uma estação meteorológica, onde os sensores utilizados e o abrigo construído seguiram os mesmo princípios e técnicas que serão descritas nos capítulos seguintes. Esse trabalho conta com a adição de um fator de medição muito importante, o sensor LDR faz análise da luminosidade do local.

Existem inúmeras referências de trabalhos semelhantes que auxiliaram e inspiraram o desenvolvimento de nossa estação meteorológica, em (Costa M. D., 2013) por exemplo, os resultados apresentados foram aprimorados para que pudéssemos criar um protótipo estável e funcional. Algumas diferenças entre o projeto desenvolvido aqui e todos os outros estudados foram o hardware utilizado, onde o ESP32 tem uma conexão com a internet nativa, é mais robusto e preciso, além do abrigo ter sido construído com um material mais barato e funcional do que nos outros trabalhos estudados. Já no software o diferencial desse trabalho foi o uso inteligente de tecnologias atuais como a linguagem e frameworks, trazendo usabilidade e escalabilidade para o sistema como um todo.

3. DESENVOLVIMENTO

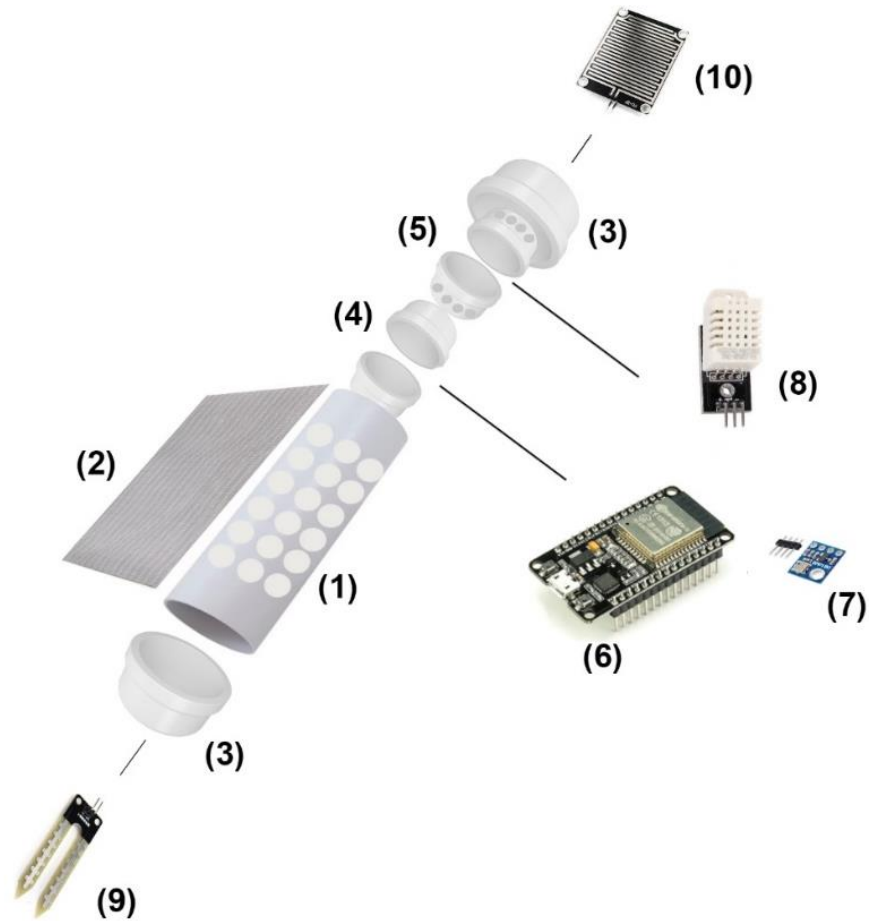
Neste capítulo será apresentado o protótipo desenvolvido no projeto. Partimos da construção do abrigo que comportará com segurança o hardware mencionado no Capítulo 2, o microcontrolador ESP32 combinado com o um sensor de temperatura e umidade, pressão atmosférica, chuva e umidade do solo. A estação será conectada com a internet e um sistema web inteligente, responsivo e de simples utilização. Esse será responsável por receber os dados da estação meteorológica e exibir aos usuários do portal relatórios atualizados, bem como criar uma base de dados com as informações geradas pela estação.

3.1 PROJETO DO ABRIGO

A estação meteorológica tem como conceito o baixo custo, seguindo as características de uma estação automática. A construção do abrigo terá como base o modelo 41002 12 Plate Gill Radiation, com algumas modificações. Foi utilizado um tubo de PVC de 100mm de espessura x 30 cm de comprimento com diversos furos revestido com uma tela do tipo sombrite, para garantir a integridade dos componentes elétricos. Esse recipiente será responsável também por abrigar o recipiente interno que é dividido por dois compartimentos de tubo de PVC de 80mm x 20 cm de comprimento. No compartimento inferior é armazenado o microcontrolador e o sensor de pressão BMP280, especificado no item 3.2.1.2, este compartimento tem isolamento total de umidade e altas temperaturas. No compartimento superior o cano PVC contém furos para a circulação de ar, pois ali está posicionado o sensor de temperatura e umidade DHT22, especificado no item 3.2.1.1.

O abrigo será fixado em uma estrutura de metal na altura de um metro e meio e a estrutura terá dois metros de altura total. Na **Figura 6** demonstra o esquema da estação, mostrando a lateral externa e interna do mesmo.

Figura 6 - Projeto estação meteorológica por componente



Fonte: Próprio autor

Conforme mostrado na **Figura 6** a estação é composta por:

1. Tubo de PVC de 100mm x 30 cm de comprimento com diversos furos para garantir a circulação de vento;
2. Sombrit envolta do tubo de 100mm garantindo a proteção contra chuvas;
3. Tampa de PVC 100mm;
4. Tubo de PVC de 80mm x 20 cm com tampa de 80mm para armazenar o sensor BMP280, ESP32 e todas as conexões;

5. Tampa de PVC de 80mm com diversos furos que armazena o sensor DHT22;
6. ESP32;
7. BMP280;
8. DHT22;
9. Sensor de umidade do solo;
10. Sensor de chuva;

Figura 7 - Projeto estação meteorológica estrutura fechada



Fonte: Próprio autor

3.2 PROJETO DE HARDWARE DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA

Uma estação meteorológica pode ter diversos formatos e aplicações, o mais comum em projetos de pequeno e médio porte é que um CLP automatize o processamento de informações climáticas. Nessa secção será apresentado o esquema elétrico e propriedades do microcontrolador e também os sensores utilizados.

O circuito idealizado para a estação meteorológica segue o conceito de *plug and play* por se tratar de um protótipo com alto nível de alterações e regulagens periódicas. Um bom resultado na medição meteorológica depende de um circuito bem montado e um abrigo confiável. Ressaltamos então a importância das características como tamanho, peso e formato dos componentes.

Existem muitos fabricantes de microcontroladores de fácil prototipação, a empresa Espressif é responsável por produzir e comercializar placas de desenvolvimentos para esse fim. A placa ESP 32 é um exemplo de microcontrolador desse fabricante com um preço acessível e configuração robusta, esse microcontrolador se mostra interessante para aplicação discutida nesse trabalho pois vem integrado com conexão à internet sem fio, bluetooth e muito mais poder de processamento e armazenamento de dados que famosos concorrentes como o Arduino.

O ESP32 é um chip de design único que combina as tecnologias WiFi e Bluetooth com o TSMC, ultra-low-power, outra tecnologia empregada no chip. Desenvolvido para a melhor performance em energia e RF, mostrando robustez, versatilidade e aplicabilidade em uma grande variedade de aplicações. (System, 2018).

O ESP32 é uma solução altamente integrada para aplicações de IoT com WiFi e Bluetooth, com cerca de 20 componentes externos. O ESP é integrado com troca de antenas, balanceamento RF, amplificador de energia, amplificador e receptor com baixo ruído, filtros e módulos de gerenciamento de energia.

Figura 8 - ESP32

Fonte: (System, 2018)

A escolha dessa placa de desenvolvimento para projetos de internet das coisas recentemente tem se tornado muito vantajosa pelo seu preço e conectividade. A placa esp32 pode ser encontrada no mercado a partir de R\$ 30 trazendo um ótimo custo-benefício quando comparado com seus concorrentes. Ela vem integrada com conexão de rede sem fio de fácil configuração e ótima potência, bastando apenas uma biblioteca nativa para realizar a configuração e conexão.

Um outro aspecto interessante é a presença de um processador robusto com dois núcleos permitindo um processamento de dados mais rápido e eficiente, e a implementação de programação paralela com *multithreads*. Além desse processador principal essa placa de desenvolvimento conta com um processador de baixo consumo de energia, possibilitando ao programador executar tarefas básicas com pouco consumo de energia enquanto o processador principal encontra-se no modo *Deepsleep*. Sendo assim é fato que esses recursos fazem a melhor opção para o *Maker IoT* já que em geral é usado baterias ou sistemas de alimentação com baixa capacidade. Na **Tabela 1** abaixo está disposto algumas das especificações da placa ESP32-DevKit disponibilizadas pelo seu fabricante no site.

Tabela 1 - Especificações ESP32

Especificações ESP32	
MCU	Xtensa Dual-core 32-bit LX6
802.11 b/g/n Wi-Fi	HT40
Bluetooth	Bluetooth 4.2
Frequência típica	160 Mhz
SRAM	512 kBytes
Flash	16 Mbytes
GPIO	36
Hardware / Software PWM	1 / 16 Canais
SPI / I2C / I2S/ UART	4 / 2 / 2 / 2
ADC	1
Interface MAC	1
Temperatura operante	-40°C 125°C

3.2.1 SENSORES

Um conjunto de sensores será integrado ao microcontrolador para realizar a medição de determinados aspectos climáticos. O sensor primordial da estação meteorológica é o de temperatura, no caso o sensor instalado é o DHT22 um sensor digital de temperatura e umidade.

Acompanhando esse sensor instalamos um sensor de detecção de chuva, esse por sua vez tem uma grande importância para gerar alertas e estatísticas em tempo real sobre a precipitação no local instalado. Um outro fator climatológico que auxilia a estação com informações básicas é a pressão atmosférica, diretamente ligada à umidade e temperatura, podendo aprimorar os dados lidos nos sensores. Na estação meteorológica essa leitura é feita pelo barômetro BMP280.

3.2.1.1 DHT 22

Produzido pela Sparkfun esse sensor realiza a medição da temperatura e da umidade, a partir dessas medições também é possível calcular o ponto de orvalho, a sensação térmica e o estado de conforto por meio da biblioteca disponibilizada pelo fabricantes. Esse sensor possui um pequeno tamanho, sua calibragem é feita de maneira digital, tem uma transmissão de longa

distância, um consumo baixo de energia e conta com o chip único de 8 bits que realiza a medição e computa os valores de saída do sensor. Suas especificações técnicas e valores de alimentação e consumo respectivamente podem ser descritas com as tabelas apresentadas abaixo.

Tabela 2 - Especificações DHT 22

Especificações DHT22	
Alimentação	3.3 - 6V
Sinal de saída	Sinal Digital
Elemento sensitivo	Capacitor de polímero
Faixa de operação	Umidade 0 - 100% / Temperatura -40 - 80 Celsius
Precisão	Umidade +-2% / Temperatura +- 0.5 Celsius
Sensibilidade e resolução	Umidade 0.1% / Temperatura 0.1 Celsius
Período sensitivo	Cerca de 2 segundos
Dimensão	14 * 18 * 5.5 mm

Tabela 3 - Especificações elétricas DHT 22

Especificações elétricas DHT22					
Item	Condição	Min.	Típica	Max.	Unidade
Voltagem	DC	3.3	5	6	V
Corrente	Funcionando	1		1.5	mA
	Stand-by	40	nulo	50	uA
Período de coleta	Segundos		2		Segundos

3.2.1.2 BMP 280

Esse sensor é produzido pela empresa Bosch sensortec e comercializado pela adafruit, trata-se de um sensor digital específico para medição de pressão atmosférica desenvolvido especialmente para aplicações móveis ou portáteis extremamente compacto o sensor conta com 8 pinos de entrada e conexões do tipo I2C e SPI. Com a biblioteca disponibilizada pelo distribuidor é possível além de medir a pressão atmosférica local estipular a altura em relação ao mar e a altura real do local, além disso o sensor conta com um módulo para medição de temperatura. A sua precisão é de 0.12 hPa tendo um intervalo de trabalho de 300 a 1100 hPa (equivalente a +9000m de altitude até -500m de altitude. A seguir será apresentado uma tabela com as especificações técnicas e características de consumo e alimentação energética.

Tabela 4 - Especificações elétricas BMP280

Especificações BMP280	
Dimensão	2 x 2.5 mm
Voltagem mínima (alimentação)	1.71 V
Voltagem mínima (E/S)	1.2 V
Consumo de corrente	2.7 uA
Ruído RMS	1,3 Pa
Precisão de pressão	0.16 Pa
Precisão de temperature	0.01 °C
Interface	PC & SPI
Modo de medição	Forçado ou Periódico
Frequencia de medição	até 157 Hz
Filtros	5 larguras de banda

3.2.1.3 CHUVA E SOLO

Ambos os sensores, tanto de chuva quanto sensor de umidade do solo são sensores analógicos que trabalham de maneira capacitiva. Como são estruturas bem simples, serão apresentadas apenas suas especificações elétricas. É válido lembrar que ambos devem ser utilizados preferencialmente com a presença de um conversor de sinal analógico para digital a fim de melhorar sua sensibilidade e modo de operação.

Tabela 5 - Especificações elétricas sensor capacitivo

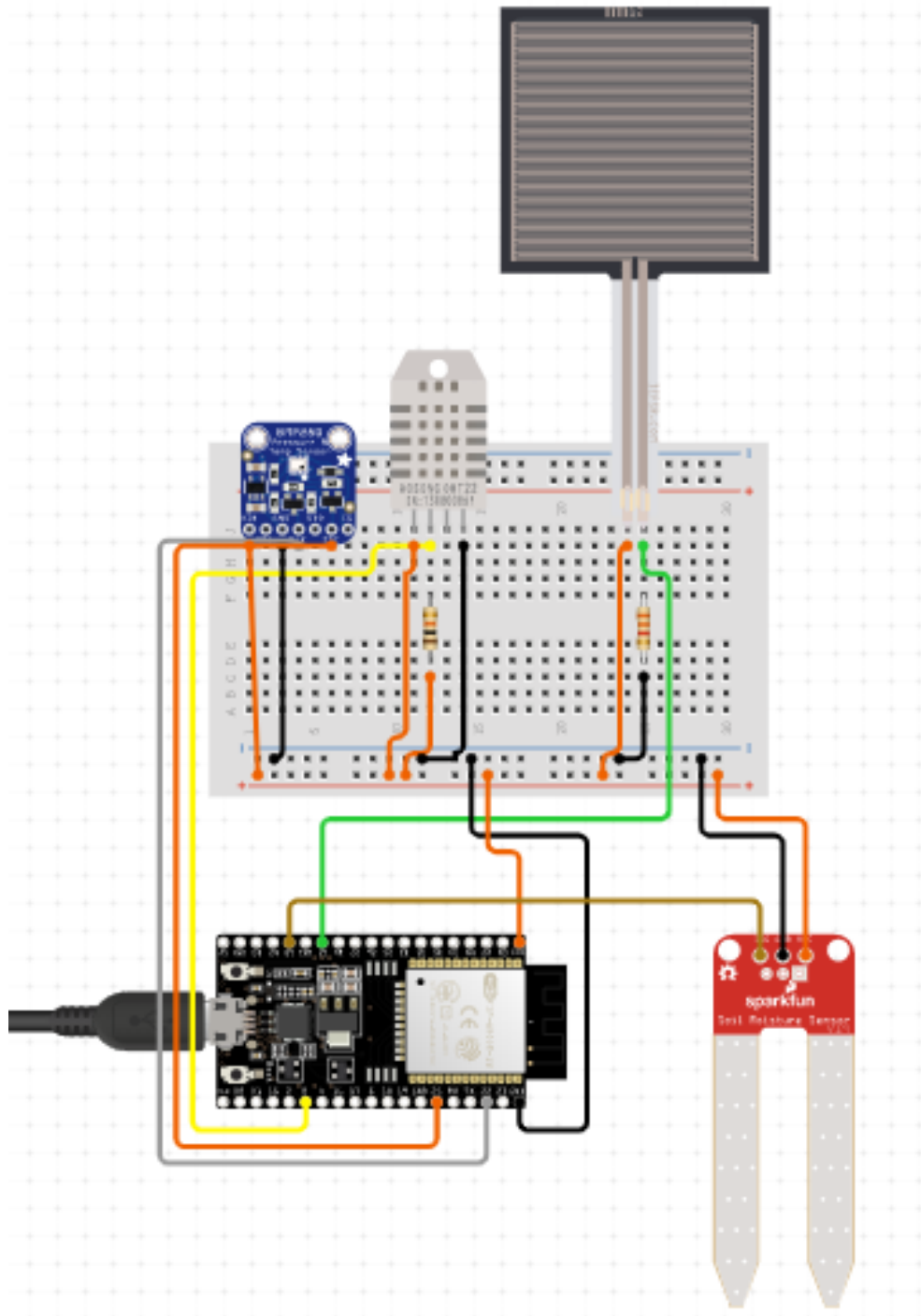
Especificações elétricas	
Voltagem de alimentação	até 12 VDC
corrente de alimentação típica	150 mA
corrente de alimentação máxima	260 mA
corrente de alimentação modo desl.	25 mA
Potência do sensor	0.5 - 2.3 W
Tipo do sensor	Capacitivo

3.2.2 CIRCUITO ELÉTICO

Nesse trabalho foi utilizado um modelo de fácil prototipação, com isso, obtivemos um circuito final enxuto, partindo da alimentação do microcontrolador ESP32, uma via única de alimentação dos sensores foi definida para o pino 3,3V e GND. O primeiro sensor instalado é o

BMP280 pela conexão I2C utilizando duas portas para a conexão, a porta SDA e a porta SCL. Logo após em seu compartimento reservado o DHT22 é instalado utilizando uma porta única e por fim o sensor de chuva e umidade do solo que são instalados em um conversor AD cada e esses consequentemente são ligados a uma única porta do ESP32.

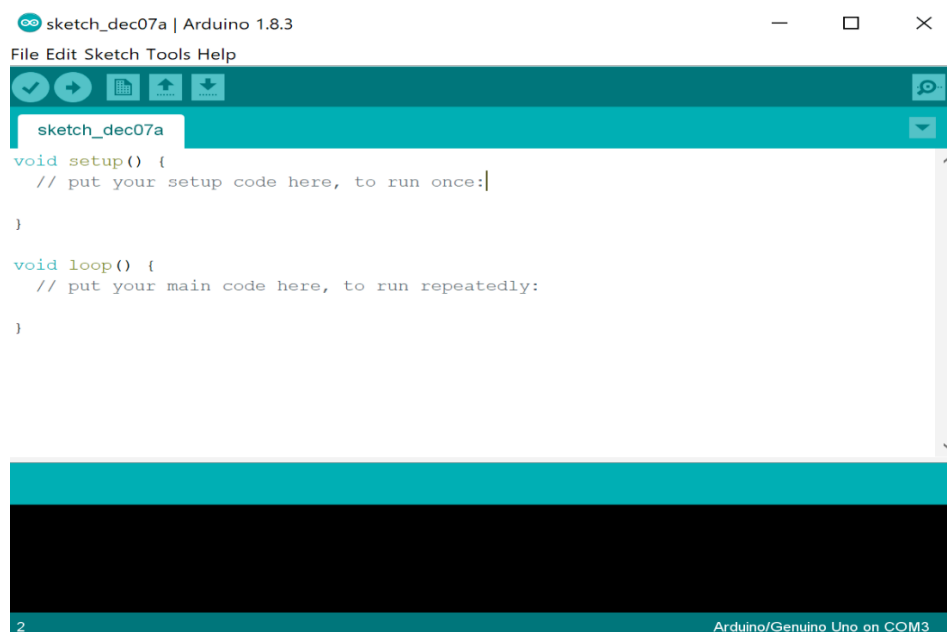
Figura 9 - Circuito Estação meteorológica



3.2.3 FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO

Todo o desenvolvimento do código proposto para a estação meteorológica pode ser feito na IDE Arduino, simples e sucinta tem um ambiente de desenvolvimento complementado pela simples instalação de bibliotecas específicas, assim como a rápida compilação com suporte à várias linguagens, e suporte em outras arquiteturas e placas.

Figura 10 - Imagem IDE



Fonte: (Arduino, 2018)

Nesse projeto iremos trabalhar com dois desenvolvimentos paralelos, primeiramente o desenvolvimento da rotina principal do microcontrolador, programação realizada em linguagem C e JavaScript que comanda a leitura dos sensores e o processamento de informação na estação física. Outro desenvolvimento é o portal de acesso na web para tornar o uso desses dados acessível, escalável e móvel, será desenvolvido em linguagem JavaScript com o intuito de criar um ambiente inteligente e poderoso; este será discutido e especificado no próximo item.

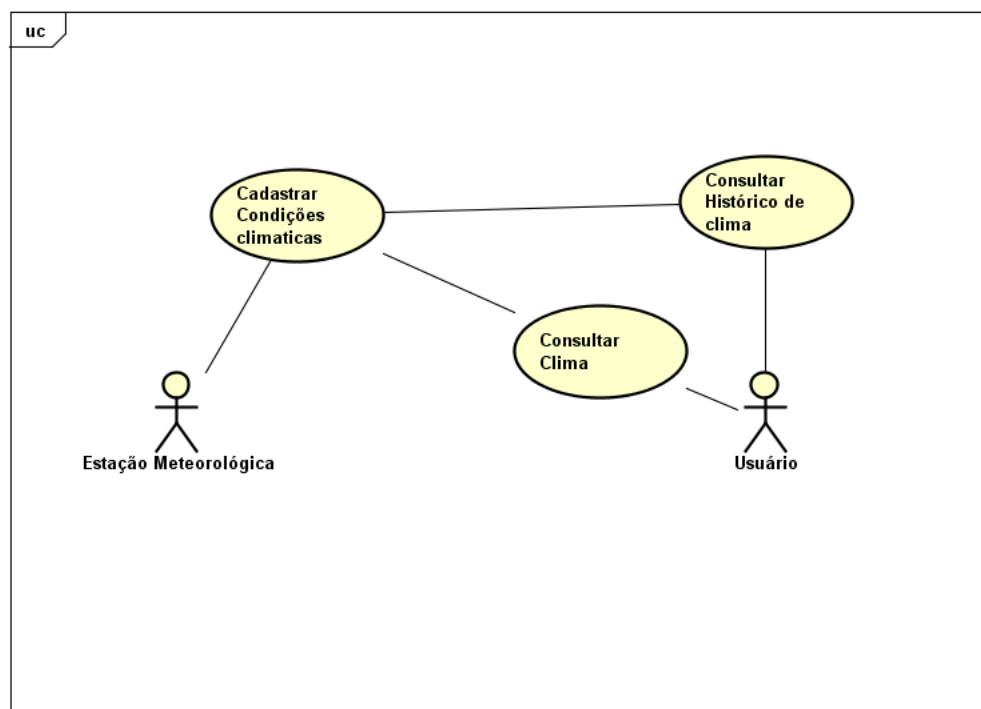
3.3 PROJETO SISTEMA WEB

Para documentação do software utilizamos alguns diagramas definidos pela UML, demonstrando o processo de desenvolvimento do sistema Web.

3.3.1 CASOS DE USO

A partir do levantamento de requisitos de funcionalidade do sistema, foi possível identificar os casos de uso e os autores. Podemos observar que na **Figura 11** possuímos dois atores, onde um é a estação metereológica que é responsável por coletar as informações sobre o clima e enviar para o banco de dados, e a outra, o usuário do sistema que tem a possibilidade de consultar as condições climáticas em tempo real ou o histórico.

Figura 11 - Diagrama de Casos de Uso

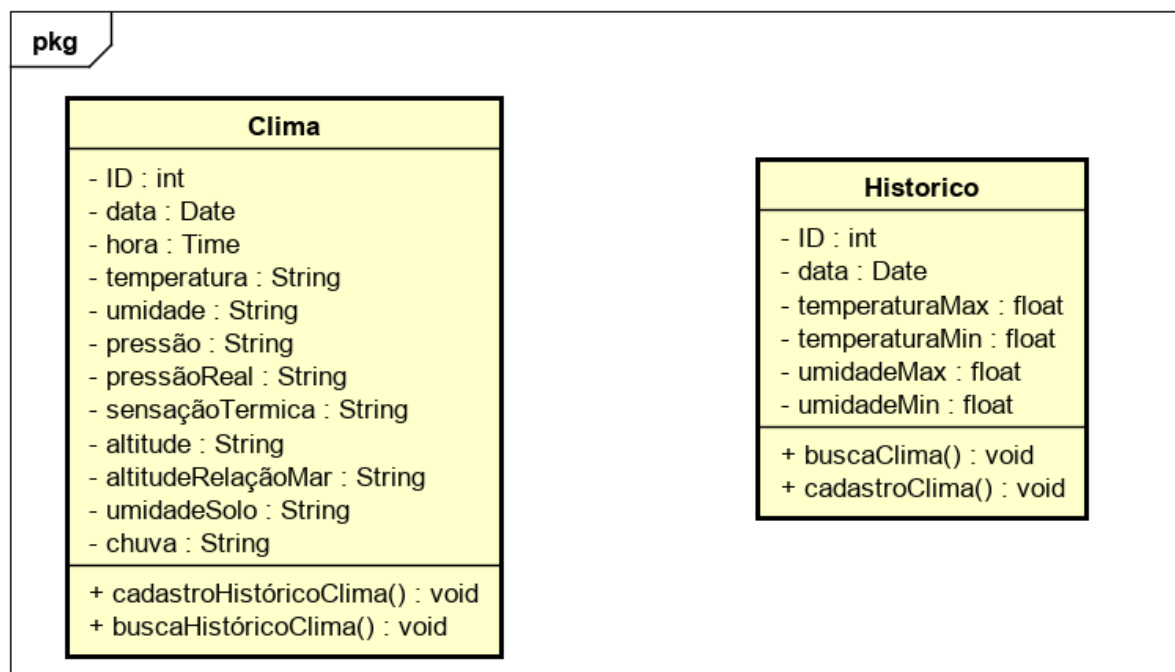


Fonte: Próprio Autor

3.3.2 CLASSES

Com o levantamento dos casos de uso foi possível definir o modelo das classes a serem implementadas. Na **Figura 12** podemos observar as duas classes utilizadas pelo sistema, aonde a classe Clima será responsável por armazenar os dados coletados pela estação meteorológica no banco de dados e a classe histórico armazenará no banco as informações de máximas e mínimas comparando a cada cadastro de nova leitura do clima.

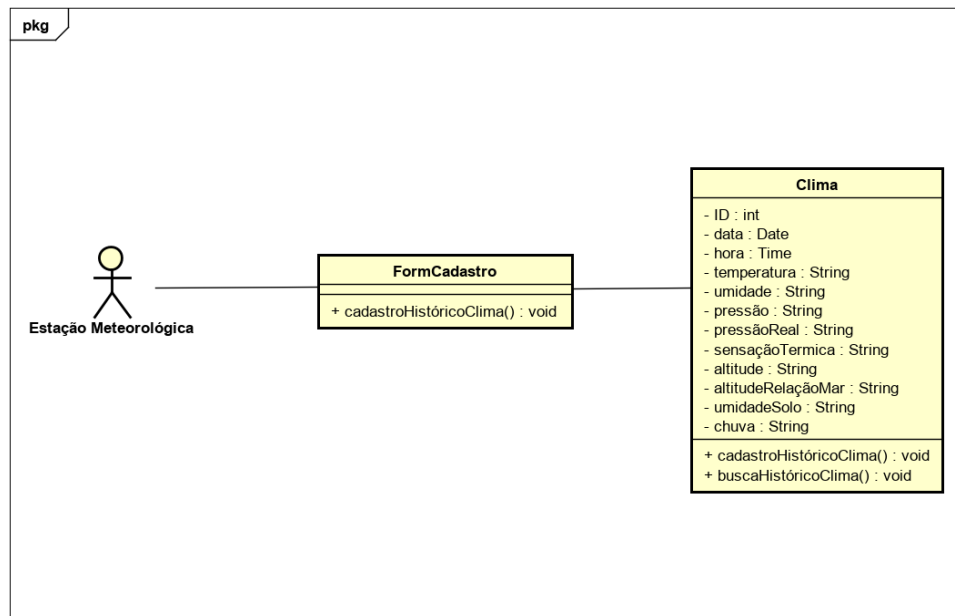
Figura 12 - Diagrama de classes



Fonte: Próprio Autor

Na **Figura 13** é possível acompanhar o relacionamento entre o ator e a classe, onde o ator consegue repassar os dados coletados através de um *form* de cadastro, esses dados são os dados meteorológicos coletados pela estação.

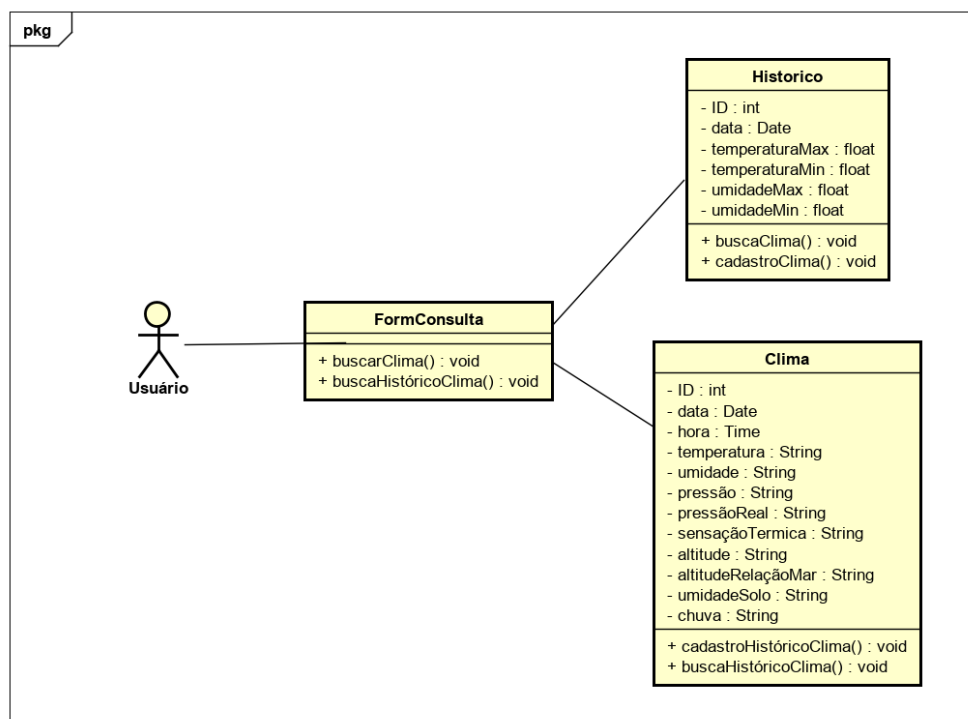
Figura 13 - Diagrama de Classes Estação



Fonte: Próprio Autor

Já na **Figura 14** conseguimos acompanhar a interação do usuário com o sistema através de um *form* de consulta, esse form é responsável por buscar as informações de leituras realizadas pela estação, máximas e mínimas.

Figura 14 - Diagrama de Classes Usuário

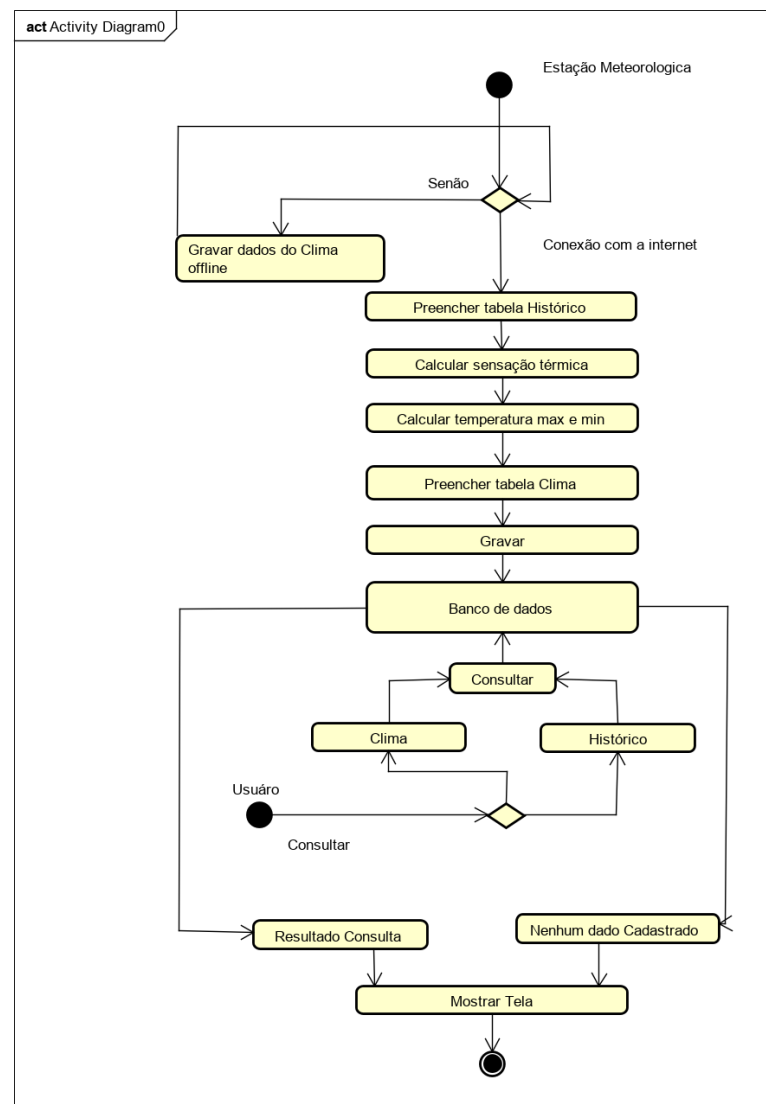


Fonte: Próprio Autor

3.3.3 ATIVIDADE

Na **Figura 15** podemos observar todo o processo de execução do software. Inicialmente as informações são coletadas pela estação meteorológica, então é verificado a conexão com a internet, caso não esteja conectada, a estação armazenará os dados fisicamente no microcontrolador, caso tenha conexão, será possível executar o método de tratamento de dados e finalmente ser gravado no banco de dados. A segunda visão do software será por parte do usuário final, que terá a possibilidade de consultar as condições climáticas em tempo real ou o histórico de clima, caso não haja nenhuma informação no banco de dados o mesmo retornará uma mensagem informando que não há dados.

Figura 15 - Diagrama de Atividades



Fonte: Próprio Autor

3.3.4 FERRAMENTAS E TECNOLOGIA

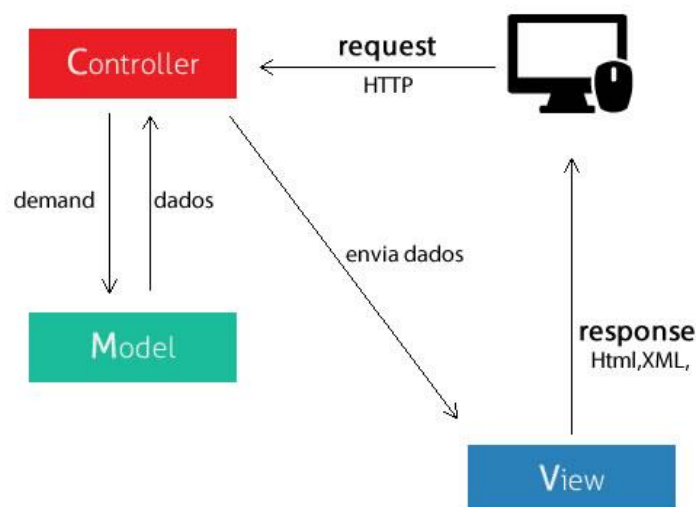
Para o desenvolvimento do sistema web foi necessário o uso de algumas ferramentas que auxiliaram no processo de criação, foi adotado arquitetura Modelo Visão Controle (MVC). Visando o grande número de acessos simultâneos para o desenvolvimento, será utilizado o interpretador Node.js que possibilita utilizar a linguagem JavaScript do lado servidor back-end, conta também com um modelo baseado I/O direcionada a evento não bloqueante, possibilitando assim múltiplos acessos sem bloqueio de processos. (NodeJS, 2018)

No desenvolvimento Front-end será utilizado a framework Bootstrap, uma plataforma de desenvolvimento de interfaces que possibilita agilidade e organização no processo, já que o mesmo conta com componentes, templates, diretivas, roteamento, módulos, animações etc.

3.3.5 ARQUITETURA MVC

Normalmente utilizado em interfaces que interagem com usuário, esse padrão pode ser separado em três camadas: a camada de modelo que é responsável por fazer o tratamento de dados como validações, leituras e escrita; a camada de visualização ou apresentação que trata-se da camada de interface com o usuário coletando as entradas e exibindo os resultados; por fim a camada de controle que é responsável por interpretar as entradas e direcionar informações para a janela de visualização. Em outras palavras o controle recebe todas as requisições dos usuários, controlando qual o modelo usar e qual visualização será mostrada ao usuário.

Figura 16 - Modelo MVC



Fonte: (Tableless, 2019)

3.3.6 BACK-END

Seus próprios desenvolvedores descrevem o *node.js* como um ambiente de desenvolvimento em tempo de execução de *JavaScript*, de código aberto e multiplataforma. É uma ferramenta popular para quase todo tipo de projeto, um aplicativo desenvolvido com esse interpretador é executado em um único processo, sem criar uma nova *thead* para cada solicitação. O *node* fornece um conjunto de primitivas de entrada e saída assíncronas em sua biblioteca padrão o que impede que o código *JavaScript* bloqueie durante a execução. Esse paradigma de programação de não bloqueio faz com que até em suas bibliotecas que são desenvolvidas de maneira similar, não bloqueante, executem de maneira mais simples e fluida permitindo a manipulação de milhares de conexões simultâneas.

Uma característica importante do interpretador utilizado nesse trabalho é a variedade de bibliotecas disponibilizadas para os diversos tipos de aplicação. No aplicativo web desenvolvido para estação meteorológica o *node.js* foi auxiliado por um banco de dados *noSQL*, o *Mongo DB*, que trata-se de um software de banco de dados orientado a documentos livres de código aberto e multiplataforma também. A escolha desse banco de dados se deu pela familiaridade do *Mongo DB* com documentos do tipo *Json*, ou seja, *Javascript Object Notation*, que é um formato compacto de padrão aberto de troca de dados simples e rápida entre sistemas.

Para comunicação entre o interpretador e o banco de dados citados acima foi utilizado uma biblioteca chamada *Mongoose*, que tem a fundamental característica de proporcionar uma solução baseada em esquemas para modelar os dados da aplicação. Ele possui sistema de conversão de tipos, validação, criação de consultas e hooks para lógica de negócio. É basicamente tradução dos dados para objetos *Java scripts* que possam ser utilizados na aplicação.

Ainda no *back-end* mais duas bibliotecas foram integradas ao sistema, o *Express JS* e *EFS*. A primeira biblioteca é responsável por criar abstrações de rotas, *middleware* e muitas outras funções que facilitam a criação de uma API, *Express JS* está voltado para criação e obtenção de dados a partir do seu servidor independente da linguagem utilizada. Já segunda biblioteca trata-se de um sistema de arquivos para facilitar e organizar a manipulação de dados.

3.3.7 FRONT-END

Nesse projeto a interação do usuário com sistema é simples, sendo basicamente consultas e requisições de relatório, com design simples e prático. A aplicação da estação meteorológica tem como objetivo oferecer um portal meteorológico de fácil compreensão para todos os usuários da comunidade do campus universitário de Dourados. No desenvolvimento de interface gráfica foi utilizado uma *Framework* chamada *Bootstrap* que facilita e melhora o desenvolvimento do *front-end* da aplicação.

Com seu código-fonte aberto para desenvolvimento de componentes de interface e *front-end* para sites e aplicações web, o *Bootstrap* utiliza do HTML, CSS e *JavaScript* para oferecer uma série de estilos SASS. O *Bootstrap* oferece um conjunto de folhas de estilo que facilita a definição de estilos para todos os principais componentes HTML, esses fornecem uma aparência amigável para formatação de textos, tabelas e elementos de formulário. Além dos elementos HTML essa *Framework* se encarrega de implementar componentes como classes CSS, para favorecer a disposição gráfica e o design da aplicação. Por fim essa ferramenta é ainda complementada com funcionalidades e componentes do *JavaScript* por meio da biblioteca de integração *JQuery*, possibilitando automatizar e melhor relacionar os elementos HTML com funções *JavaScript*.

3.4 CUSTO DO PROJETO

O desenvolvimento do projeto foi norteado pela condição de baixo custo. No mercado existem empresas e desenvolvedores que disponibilizam um produto muito similar ao qual desenvolvemos. Assim é fácil correlacionar o preço final da estação e suas utilidades, com as ofertas presentes no mercado. A escolha dos componentes eletrônicos e estruturais do projeto levaram em consideração dois fatores, primeiramente o fator de recursos mínimos dos componentes, como por exemplo a precisão de um sensor ou o poder de processamento do microcontrolador, outro fator foi o custo dos componentes. Estabelecendo essa relação foi possível chegar na configuração geral do projeto apresentada aqui neste trabalho.

No Brasil o preço de uma estação meteorológica com características semelhantes a que foi desenvolvida nesse projeto pode variar de R\$ 600 até R\$ 5000 (consultas no primeiro semestre de 2019), sendo esses preços correspondentes a estação genérica desenvolvida para

Arduino e a Estação Meteorológica Davis Instruments 6250 respectivamente. A estação meteorológica desenvolvida para Arduino utiliza os mesmos sensores desse projeto com a adição de um pluviômetro e anemômetro, porém ela é vendida à 600 reais e não vem com o microcontrolador para qual foi desenvolvida nem conta com uma conexão wireless deixando o comprador responsável por instalar os sensores e uma eventual placa de conectividade. Já a estação Davis mede os mesmos fatores climatológicos que a anterior, porém com sensores muito mais precisos, o sistema de conexão é feito por rádio frequência que envia as informações da estação para um dispositivo físico com display lcd.

A seguir apresentaremos uma tabela de custos de produção da estação meteorológica desenvolvida neste projeto. Os custos foram divididos entre estrutura física e hardware. Todos os custos de mão de obra do projeto físico e os custos do desenvolvimento do software foram desconsiderados dessa análise.

Tabela 6 - Custo de produção

Custo de produção da estação meteorológica			
Componente	Quantidade	Valor Unit.	Valor total
Estrutura física			
Tubo de PVC 100mm	1/3	12,99	4,33
Tubo de PVC 80mm	1/3	9,99	3,33
Tampa de PVC 100mm	2	14,99	29,98
Tampa de PVC 80mm	4	12,99	51,96
Tela / Sombrite	2	15,99	31,98
Hardware			
ESP 32 DevKit	1	40	40
DHT 22'	1	32	32
BMP 280	1	48	48
Conversor A/D + Potenciômetro	2	10	20
Sensor capacitivo	2	15,99	31,98
Fios e solda	1	10	10
TOTAL	-	-	278,58

4. IMPLEMENTAÇÃO

Neste capítulo será abordado a implementação bem como as ferramentas necessárias para tornar a estação meteorológica funcional. Como descrito anteriormente a implementação algorítmica foi dividida em duas linguagens. No desenvolvimento do hardware usou-se a linguagem C++ e no desenvolvimento da aplicação web *JavaScript*.

4.1 HARDWARE

O código desenvolvido realiza o processamento das informações no microcontrolador de maneira orientado a eventos, com o objetivo de estabelecer uma boa autonomia energética para o circuito, ele controla a leitura dos sensores, o armazenamento interno, a conexão com a internet e a comunicação com o servidor. Para otimizar o código foi implementado a divisão de processamento entre os núcleos do processador do esp32.

Uma thread coleta os valores dos sensores e os compara com a última leitura realizada, a cada 15 minutos sempre que uma interrupção for causada por um timer pré-definido. Caso essa comparação mostre uma variação máxima no valor da precisão do sensor, é realizada uma nova inserção no armazenamento interno. O algoritmo a seguir demonstra o funcionamento do processo citado acima.

Algoritmo: Leitura e armazenamento

Entrada: sensores, tabela_de_leituras;

Saída: bool_status;

Início

Se *Inicializa*(sensores) **então**

Se *Leitura*(sensores) != tabela_de_leitura[última] **então**

Armazena(sensores);

Retorna 1;

fimSe

Retorna 0;

fimSe

Fim

A outra thread é responsável por realizar a conexão com a internet e a comunicação com o servidor. Esse processo por sua vez é criado a partir do momento que uma alteração é feita na tabela de leituras do armazenamento interno. O processo de conexão pode ter um tempo de execução inesperado, por isso o uso de uma tarefa específica.

Algoritmo: Conexão e comunicação

Entrada: tabela_de_leituras, ssid, senha, ip_servidor;

Saída: código_http;

Início

Liga_radio_wireless ();

Se *Conecta* (ssid, senha) **então**

Monta_JSON (tabela_de_sensores);

código_http = *Envia_requisição* (ip_servidor);

fimSe

Desliga_radio_wireless ();

Retorna código_http;

Fim

A necessidade da implementação nesse modelo se deu por conta da conexão e comunicação com a internet. Em muitos casos percebemos a divergência de horário na leitura dos sensores e gravação no armazenamento interno para com as informações enviadas para o servidor. Como citado anteriormente a gravação local dos dados é feita pelo controle de um timer com isso a tarefa 1 fica Livre para sempre realizar as leituras dos sensores. Já a tarefa 2 é dependente de uma boa conexão com a internet e comunicação com servidor para ser liberada, muitas das vezes algumas das funções das bibliotecas utilizadas para conexão e comunicação fazem com que o processo demore mais para ser finalizado.

Algoritmo: Processamento paralelo

Entrada: tarefa1, tarefa2;

Saída: nulo;

Início

Pausa (15 minutos);

Se tarefa1 == livre **então:**

Se *Cria_processo* (tarefa1, Leitura e armazenamento) == 1 &&

tarefa2 == livre **então**

Se *Cria_processo* (tarefa2, Conexão e comunicação) == 200 **então**

Informação gravada com sucesso

Senão

Falha ao gravar informação

fimSe

fimSe

fimSe

Fim

4.2 SOFTWARE

O sistema foi elaborado pensando em atender as necessidades dos acadêmicos e dos frequentadores da Unidade II UFGD. O sistema foi desenvolvido utilizando o interpretador de código *nodejs* que possibilita utilizar a linguagem de programação *javascript* no *back-end*. Foi adotado como padrão de desenvolvimento o modelo MVC e o banco de dados *mongodb*, para o desenvolvimento *front-end* foi utilizado a *framework bootstrap 4*.

O sistema web ficou responsável por gerenciar todas as interações entre os usuários, estação meteorológica e o banco de dados. Para efetuar a comunicação da estação com o banco, foi desenvolvido um método HTTP POST que envia um JSON para a aplicação, que efetua o tratamento, verificando a temperatura, umidade máxima e mínima. Abaixo o algoritmo Cadastro Clima, que representa todo o processo de leitura e gravação.

Algoritmo: Cadastro do Clima

Entrada: Json_Clima;**Início****Try:**Data = *dataAtual()*;Historico = *buscaBanco*(Data);**Se** Historico == vazio **então:**

Historico.temperaturaMin = Json_Clima.temperatura;

Historico.temperaturaMax = Json_Clima.temperatura;

Historico.umidadeMin = Json_Clima.umidade;

Historico.umidadeMax = Json_Clima.umidade;

Historico.data = Data;

gravarBancoHistorico(Historico);*gravarBancoLeituras*(Json_Clima);**retorne** Json_Clima;**Senão;****Se** Historico.temperaturaMin > Json_Clima.temperatura:

Historico.temperaturaMin = Json_Clima.temperatura;

Senão Se Historico.temperaturaMax < Json_Clima.temperatura:

Historico.temperaturaMax = Json_Clima.temperatura;

Senão Se Historico.umidadeMin > Json_Clima.umidade:

Historico.umidadeMin = Json_Clima.umidade;

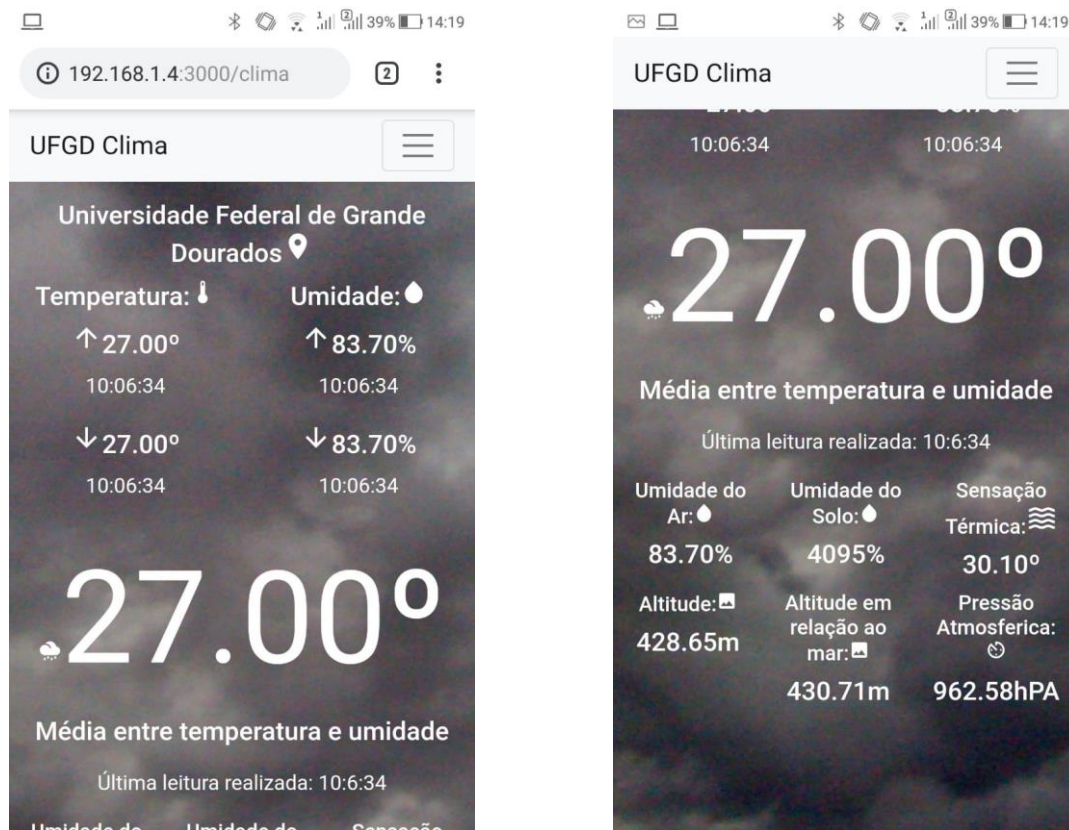
Senão Se Historico.umidadeMax < Json_Clima.umidade:

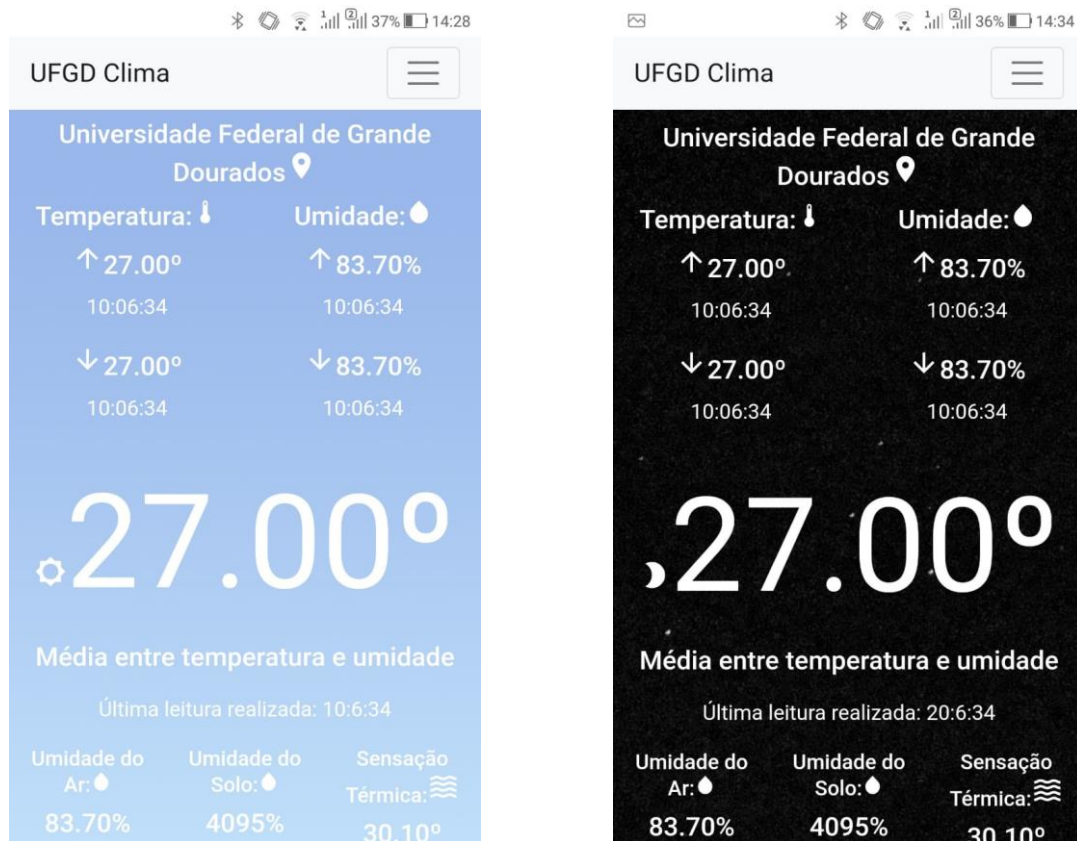
Historico.umidadeMax = Json_Clima.umidade;

fimSe*gravarBancoHistorico*(Historico);*gravarBancoLeituras*(Json_Clima);**retorne** Json_Clima;**Catch:****retorne** ERRO;**Fim**

O sistema web conta com duas telas responsivas que se adequam de acordo com o aparelho que está sendo usado, a primeira tela é responsável por exibir as leituras realizadas no dia, inclusive as máximas e mínimas de temperatura e umidade. Essa tela também conta com uma característica de alterar o background de acordo com a situação da leitura, ou seja, quando está chovendo, dia ou noite a imagem é adequada de acordo com cada situação.

Figura 17 - Tela de exibição do clima (Visão através do dispositivo móvel)





Fonte: Próprio Autor

A segunda tela tem como funcionalidade exibir todos os dados armazenados no banco, utilizando como parâmetro de pesquisa a data inicial e final. As informações são mostradas em uma tabela que também é responsiva, facilitando o acesso a dispositivos móveis.

Figura 18 - Tela de exibição do histórico (Visão através de dispositivo móvel)

UFGD Clima

Histórico de Leituras

Data inicial
01/05/2019

Data final
18/05/2019

Pesquisar

Show 10 entries
Search:

Data ↑↓	Temperatura ↑↓	Umidade
10-5-2019 0:15:28	28.30°	80.80%
10-5-2019 0:16:58	28.30°	82.00%
10-5-2019 0:18:3	28.20°	80.90%

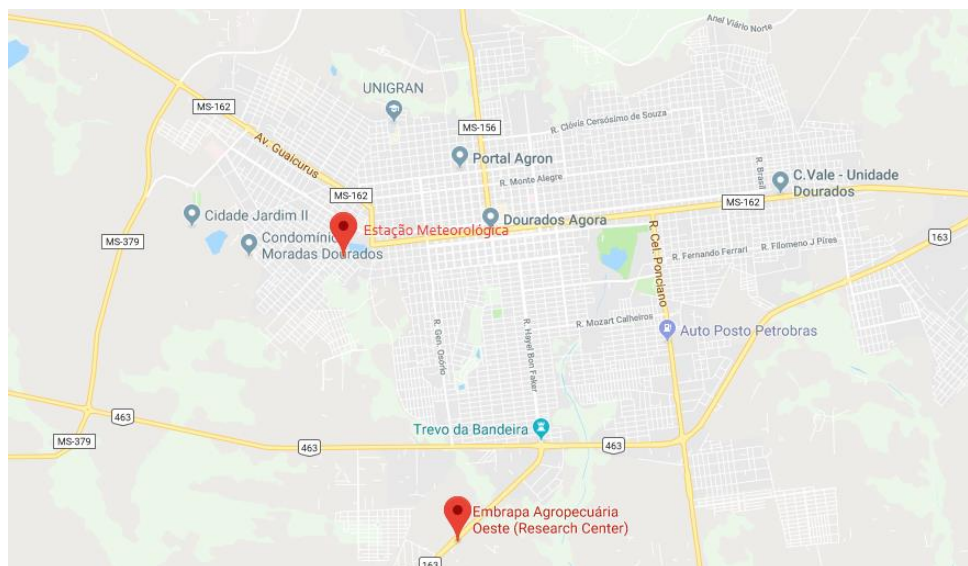
Fonte: Próprio Autor

5. ANÁLISE DE DADOS

Nesse capítulo será abordado a análise dos dados produzidos pela estação meteorológica durante o período de estudo e desenvolvimento. Para o teste e análise do projeto foram simuladas diversas condições de operação como por exemplo: o uso a céu aberto em intenso calor e sol, o uso na chuva e o uso em um clima frio durante o período de 30 dias. Os testes feitos foram elaborados para obter informações a respeito da eficiência energética, precisão dos sensores e informações de coleta. Para realizar algumas comparações com os valores obtidos usamos de referência a Embrapa por possuir uma estação meteorológica local na mesma região

em que realizamos os testes. Na **Figura 19** apresentamos a localização da Embrapa e de onde foi realizado os testes da estação meteorológica.

Figura 19 - Localização EMBRAPA e Estação Meteorológica



Fonte: (Maps, 2019)

5.1 TESTE DE PRECISÃO

Para esse teste utilizamos as informações exportadas em formato de tabela pelo site tanto da Embrapa quanto a do projeto apresentado neste trabalho. A estação meteorológica da Embrapa utiliza o modelo de leitura horária, ou seja, uma leitura a cada hora, começando a leitura 01:00 e terminando 00:00, a consulta nos retorna uma tabela com informações completas da condição climática.

Na estação desenvolvida por esse trabalho o tempo de coleta funciona de maneira diferente, as coletas aqui são realizadas a cada 15 minutos, porém a quantidade de informação alocada na tabela varia conforme descrito no algoritmo apresentado no item 4.1, dependendo da variação climática. Afim de comparar a precisão da medição isolamos as 24 leituras mais próximas dos horários das leituras horárias realizadas pela Embrapa em um mesmo dia.

A seguir seguem duas tabelas mostrando leituras meteorológicas de hora em hora no dia 11/5 e no dia 12/5 respectivamente. A escolha dos dois dias foi feita para mostrar uma maior variação climática e englobar no teste diferentes condições que podem ser medidas.

Tabela 7 - Comparação de dados (EMBRAPA x Estação Meteorológica) 11/05/2019

EMBRAPA					ESTAÇÃO METEOROLÓGICA					VARIAÇÃO				
DATA	HORA	TEMP	UR	PRESSÃO	DATA	HORA	TEMP	UR	PRESSÃO	DATA	TEMP	UR	PRESSÃO	
11/05/2019	01:00	24,30	82	963	11/05/2019	01:13	24,00	78,40	960,41	11/05/2019	0,30	3,60	2,59	
11/05/2019	02:00	23,70	84	963	11/05/2019	02:01	23,90	79,10	960,55	11/05/2019	0,20	4,90	2,45	
11/05/2019	03:00	23,40	84	962	11/05/2019	03:03	23,70	82,50	960,55	11/05/2019	0,30	1,50	1,45	
11/05/2019	04:00	22,80	87	962	11/05/2019	04:11	22,70	88,20	960,77	11/05/2019	0,10	1,20	1,23	
11/05/2019	05:00	22,40	88	962	11/05/2019	05:30	22,20	88,80	961,04	11/05/2019	0,20	0,80	0,96	
11/05/2019	06:00	22,10	90	963	11/05/2019	06:09	22,10	89,00	961,20	11/05/2019	0,00	1,00	1,80	
11/05/2019	07:00	22,10	90	963	11/05/2019	07:08	22,00	87,90	961,27	11/05/2019	0,10	2,10	1,73	
11/05/2019	08:00	23,40	85	964	11/05/2019	08:18	23,30	85,60	961,26	11/05/2019	0,10	0,60	2,74	
11/05/2019	09:00	24,20	82	965	11/05/2019	09:07	24,40	78,50	961,48	11/05/2019	0,20	3,50	3,52	
11/05/2019	10:00	26,40	75	965	11/05/2019	10:05	26,50	78,80	961,73	11/05/2019	0,10	3,80	3,27	
11/05/2019	11:00	28,80	66	965	11/05/2019	11:04	28,50	64,70	961,92	11/05/2019	0,30	1,30	3,08	
11/05/2019	12:00	29,40	61	965	11/05/2019	12:03	29,50	62,50	962,00	11/05/2019	0,10	1,50	3,00	
11/05/2019	13:00	30,10	57	964	11/05/2019	13:00	29,90	59,70	962,07	11/05/2019	0,20	2,70	1,93	
11/05/2019	14:00	30,70	51	964	11/05/2019	14:16	30,30	56,90	962,09	11/05/2019	0,40	5,90	1,91	
11/05/2019	15:00	30,40	50	964	11/05/2019	15:12	30,10	54,40	960,45	11/05/2019	0,30	4,40	3,55	
11/05/2019	16:00	29,60	52	964	11/05/2019	16:19	29,40	62,70	960,88	11/05/2019	0,20	10,70	3,12	
11/05/2019	17:00	26,60	71	965	11/05/2019	17:01	29,50	65,30	962,29	11/05/2019	2,90	5,70	2,71	
11/05/2019	18:00	24,20	86	966	11/05/2019	18:05	28,40	78,20	962,31	11/05/2019	4,20	7,80	3,69	
11/05/2019	19:00	23,80	89	967	11/05/2019	19:08	26,20	79,00	963,10	11/05/2019	2,40	10,00	3,90	
11/05/2019	20:00	21,90	83	968	11/05/2019	20:02	25,80	74,90	964,38	11/05/2019	3,90	8,10	3,62	
11/05/2019	21:00	20,20	93	969	11/05/2019	21:05	24,10	81,70	965,64	11/05/2019	3,90	11,30	3,36	
11/05/2019	22:00	20,10	95	969	11/05/2019	22:10	22,40	86,40	966,22	11/05/2019	2,30	8,60	2,78	
11/05/2019	23:00	19,90	96	969	11/05/2019	23:14	21,30	88,60	963,33	11/05/2019	1,40	7,40	5,67	
11/05/2019	00:00	19,90	96	969	11/05/2019	00:08	20,20	90,90	962,52	11/05/2019	0,30	5,10	6,48	

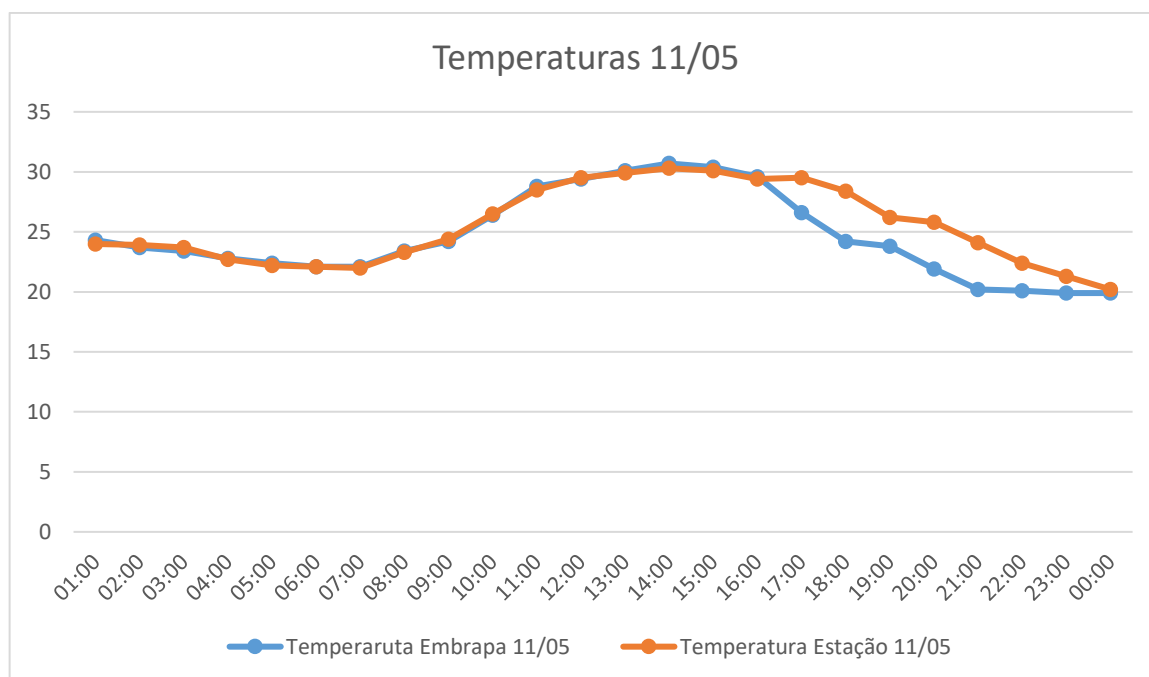
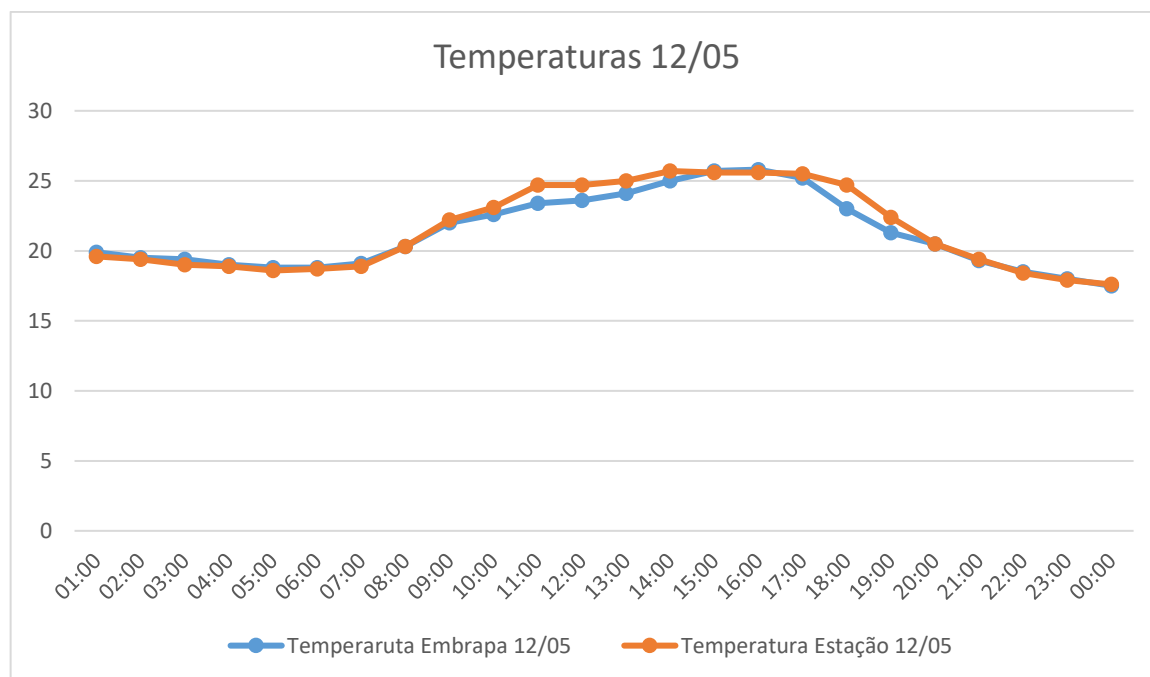


Tabela 8 - Comparação de dados (EMBRAPA x Estação Meteorológica) 12/05/2019

EMBRAPA					ESTAÇÃO METEOROLÓGICA					VARIAÇÃO			
DATA	HORA	TEMP	UR	PRESSÃO	DATA	HORA	TEMP	UR	PRESSÃO	DATA	TEMP	UR	PRESSÃO
12/05/2019	01:00	19,90	96,00	969,00	11/05/2019	01:06	19,60	91,60	967,73	11/05/2019	0,30	4,40	1,27
13/05/2019	02:00	19,50	96,00	969,00	11/05/2019	01:58	19,40	92,00	967,70	11/05/2019	0,10	4,00	1,30
14/05/2019	03:00	19,40	96,00	968,00	11/05/2019	03:14	19,00	96,50	965,80	11/05/2019	0,40	0,50	2,20
15/05/2019	04:00	19,00	96,00	968,00	11/05/2019	04:03	18,90	96,60	965,68	11/05/2019	0,10	0,60	2,32
16/05/2019	05:00	18,80	97,00	968,00	11/05/2019	05:02	18,60	95,10	965,74	11/05/2019	0,20	1,90	2,26
17/05/2019	06:00	18,80	97,00	969,00	11/05/2019	06:12	18,70	93,50	965,93	11/05/2019	0,10	3,50	3,07
18/05/2019	07:00	19,10	97,00	970,00	11/05/2019	07:01	18,90	95,10	966,08	11/05/2019	0,20	1,90	3,92
19/05/2019	08:00	20,30	94,00	970,00	11/05/2019	08:09	20,30	87,90	966,19	11/05/2019	0,00	6,10	3,81
20/05/2019	09:00	22,00	84,00	971,00	11/05/2019	09:01	22,20	88,50	966,36	11/05/2019	0,20	4,50	4,64
21/05/2019	10:00	22,60	82,00	971,00	11/05/2019	10:07	23,10	79,20	966,62	11/05/2019	0,50	2,80	4,38
22/05/2019	11:00	23,40	79,00	971,00	11/05/2019	11:03	24,70	77,10	967,69	11/05/2019	1,30	1,90	3,31
23/05/2019	12:00	23,60	77,00	971,00	11/05/2019	12:06	24,70	75,20	966,85	11/05/2019	1,10	1,80	4,15
24/05/2019	13:00	24,10	75,00	970,00	11/05/2019	13:05	25,00	70,30	966,96	11/05/2019	0,90	4,70	3,04
25/05/2019	14:00	25,00	72,00	969,00	11/05/2019	14:04	25,70	70,20	967,10	11/05/2019	0,70	1,80	1,90
26/05/2019	15:00	25,70	70,00	969,00	11/05/2019	15:12	25,60	72,50	967,11	11/05/2019	0,10	2,50	1,89
27/05/2019	16:00	25,80	68,00	969,00	11/05/2019	16:01	25,60	70,90	967,91	11/05/2019	0,20	2,90	1,09
28/05/2019	17:00	25,20	73,00	969,00	11/05/2019	17:00	26,50	76,50	967,37	11/05/2019	1,30	3,50	1,63
29/05/2019	18:00	23,00	84,00	970,00	11/05/2019	18:03	24,70	80,00	967,43	11/05/2019	1,70	4,00	2,57
30/05/2019	19:00	21,30	87,00	970,00	11/05/2019	19:07	22,40	88,70	967,61	11/05/2019	1,10	1,70	2,39
31/05/2019	20:00	20,50	89,00	971,00	11/05/2019	20:10	20,50	88,80	967,76	11/05/2019	0,00	0,20	3,24
01/06/2019	21:00	19,30	90,00	972,00	11/05/2019	21:09	19,40	88,80	967,76	11/05/2019	0,10	1,20	4,24
02/06/2019	22:00	18,50	89,00	972,00	11/05/2019	22:09	18,40	88,80	965,74	11/05/2019	0,10	0,20	6,26
03/06/2019	23:00	18,00	89,00	972,00	11/05/2019	23:08	17,90	88,80	967,72	11/05/2019	0,10	0,20	4,28
04/06/2019	00:00	17,50	89,00	972,00	11/05/2019	00:13	17,60	86,40	967,74	11/05/2019	0,10	2,60	4,26



Podemos observar que na tabela relacionada a estação, os horários de coleta e inserção no banco de dados não foram regulares por conta do tempo de conexão e eventuais esperas no servidor. Já na estação da Embrapa sabemos que as leituras são pontuais, então existe uma diferença no horário de coleta. Mesmo com essa diferença podemos notar graficamente uma

proximidade nos valores de temperatura, umidade relativa e pressão. Esses valores divergem no máximo em cinco pontos na temperatura e um pouco mais na umidade relativa por conta das diferentes condições climáticas em cada localização das estações e o tempo de coleta. Esse padrão seguiu em toda análise feita no período de teste de 30 dias.

5.2 TESTES DE ENFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Da maneira que o sistema foi desenvolvido, o tempo de coleta e o período entre as coletas são fatores fundamentais para o desempenho energético, já que todas as vezes que é feito alguma coleta, existe o aumento do consumo energético durante o período em que os periféricos precisam ser alimentados. As fontes energéticas utilizadas nos testes foram baterias e fontes fixas, onde o tipo de bateria utilizada foi um *PowerBank* com uma porta USB fornecendo 5 volts e 6.300 miliamperes de capacidade nominal, enquanto a fonte fixa utilizada foi uma fonte de 3,6 volts e 1 ampere. O período médio entre as coletas adotadas nesse projeto é de 15 minutos, pensado assim para ser um sistema com maior precisão nas medições, pois com os dias de teste notou-se que a variação na temperatura pode chegar a 3 graus Celsius no período de uma hora, para umidade o valor máximo notado é de 10 pontos na porcentagem e na pressão até 100 hPa. A seguir será mostrado um exemplo de uma grande variação climática em um curto período de tempo.

Tabela 9 - Coletas entre 17:00 e 18:00

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA				
DATA	HORA	TEMP	UR	PRESSÃO
11/05/2019	17:00:40	21,00	85,40	965,98
11/05/2019	17:09:46	23,20	88,20	965,78
11/05/2019	17:18:49	23,50	90,00	965,81
11/05/2019	17:27:53	23,70	90,00	965,71
11/05/2019	17:36:59	23,90	90,00	965,52
11/05/2019	17:46:03	24,00	88,10	965,39
11/05/2019	17:55:08	25,00	92,96	965,22

Pela estação meteorológica consumir um valor abaixo de 1 ampere a fonte fixa não teve problemas para alimentar todo o hardware necessário. Já com a bateria, os testes realizados mostraram um rendimento satisfatório para a quantidade de leituras realizada. Com uma leitura

a cada 15 minutos e levando em consideração que a maior parte dessas leituras sejam gravadas no banco de dados, a bateria utilizada conseguiu alimentar estação meteorológica durante duas semanas, aproximadamente 330 horas. Levando em consideração que o maior custo energético é justamente no período de leitura e comunicação com a internet, foram realizados testes com intervalos maiores de coleta. Com coletas realizadas a cada 30 minutos a bateria utilizada alimentou a estação meteorológica por aproximadamente 420 horas. No teste realizado com coletas a cada 60 minutos a bateria utilizada não consegue alimentar a estação meteorológica, pois após um determinado tempo em modo de baixo consumo, a estação não pode ser detectada pela bateria que para a alimentação.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho apresentou a idealização e construção de uma estação meteorológica de baixo custo, afim de informatizar e implantar no ambiente da Universidade Federal da Grande Dourados, um serviço de climatologia inteligente e integrado com a internet. É evidente a necessidade de investimentos e melhorias na infraestrutura pública de diversos setores, a tendência é agregar inteligência e simplicidade em processos básicos por meio da tecnologia. O conceito de cidades inteligentes apresentado nesse trabalho é uma maneira efetiva de iniciar o processo de implantação e automatização de áreas urbanas, no escopo já apresentado da universidade.

Foi possível desenvolver uma estação meteorológica dentro dos objetivos estabelecidos nesse trabalho, já que os dados gerados pela estação meteorológica foram comparados com os dados da Embrapa, garantindo uma certa precisão e baixo custo de produção. Junto a estação foi desenvolvido um sistema web que possibilita visualizar os dados em tempo real, além de ser possível consultar todas as leituras armazenadas no banco. Comparando com outras estações, apresentou um custo muito baixo, incluindo todas as funcionalidades de leitura e exibição de dados.

Além de desenvolver o protótipo e testar sua eficácia, esse trabalho teve como objetivo implantar a estação nas dependências da UFGD, objetivo esse que não foi cumprido, pois houve dificuldades em encontrar espaços oferecidos pela universidade para esse fim e também problemas com o tempo de desenvolvimento e testes, pois no período de teste e análise, foi importante manter a estação próxima ao local de desenvolvimento.

Após a conclusão do projeto foi possível identificar possíveis atualizações e melhorias. Com isso podemos citar como implementações futuras, levando em conta a estação meteorológica atual, a construção e integração de um anemômetro que será responsável por identificar a velocidade e a direção do vento, instalar um pluviômetro que possibilitará verificar os milímetros de chuva em determinado período e implantar uma placa fotovoltaica e uma bateria garantindo assim a sustentabilidade e a mobilidade da estação.

Já no sistema web pode ser considerado como implementações futuras, o desenvolvimento de uma dashboard que garanta melhor visualização e análise dos dados coletados com gráficos e diagramas, desenvolver também uma funcionalidade de notificações ao usuário, quando por exemplo estiver chovendo na região, além de englobar uma funcionalidade de previsão do tempo, tendo como base alguma instituição de previsão do tempo externa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arduino. (2018). *Arduino*. Fonte: Arduino: <https://www.arduino.cc/>
- Barry, R. G., & J., R. C. (2013). *Atmosfera Tempo e Clima*. Porto Alegre: Bookman.
- Bootstrap. (2019). *Bootstrap*. Fonte: Bootstrap: <https://getbootstrap.com/docs/4.0/getting-started/introduction/>
- Buyya, R. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer System*.
- Buzan, T. (2002). *How to mind map*. Harpers Collins Publichers.
- Cocchia, A. (2014). Smart and Digital City: A Systematic Literature Review. *Springer*.
- Costa, M. D. (2013). Central meteorológica microcontrolada de baixo custo. *UTFPR*.
- Costa, M. M. (2008). A Meteorologia Aeronáutica no Aeroporto de Guarulhos. São Paulo: Sitraer.
- EMBRAPA. (2018). *EMBRAPA*. Fonte: www.embrapa.br
- INCAPER. (2018). *INCAPER*. Fonte: <https://incaper.es.gov.br/>
- INMET, I. N. (2018). *INMET*. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia: <http://www.inmet.gov.br>
- IO, C. (2019). *Circuito IO*. Fonte: Circuito IO: <https://www.circuito.io/>
- Katyal, A. (abril de 2016). Wireless Arduino Based Weather Station. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*.
- Komninos, N., & Sefertzi, E. (2009). Intelligent cities: R&D offshoring, Web 2.0 product development and globalization of innovation systems. Shenzhen: World Capital Institute.
- Kyoochun, L. (2015). *The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises*. Fonte: science direct: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007681315000373?via%3Dihub>
- Maps, G. (2019). *Google Maps*. Fonte: Google Maps: <https://www.google.com.br/maps>
- Marcos Cesar Weiss, R. C. (2013). Cidades inteligentes como nova prática para o gerenciamento dos serviços e infraestruturas urbanas. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*.
- MongoDB. (2019). *MongoDB*. Fonte: MongoDB: <https://www.mongodb.com/>
- NodeJS. (2018). Fonte: NodeJS: <https://nodejs.org/en/about/#about-node-js>
- NPM. (2019). *NPM*. Fonte: NPM: <https://www.npmjs.com/>
- OMW. (2018). *World Meteorological Organization*. Fonte: World Meteorological Organization: <https://public.wmo.int/en/our-mandate/what-we-do>

- PIÑERES-ESPITIA, G., CAMA-PINTO, A., Morrón, D. D., & Francisco. (s.d.). Design of a low cost weather station for. *revista espacios*.
- SCIENTIFIC, C. (2018). *CAMPBELL SCIENTIFIC*. Fonte: <https://www.campbellsci.cc/41303-shield>
- Sentelhas, P. C., & Eduardo, J. B. (2009). Agrometeorologia dos Cultivos. Brasília : INMET.
- Silva, E. M. (2005). Análise Climática do Município de Patrocínio (MG). *Caminhos de Geografia* , 93-108.
- Silva, J. P. (2014). Estação inteligente de coleta e transmissão de dados meteorológicos em áreas de risco. *UniCEUB*.
- Suzan, T. (2002). *how to mind map*. Harpers Collins.
- System, E. (2018). ESP 32 Series: DataSheet.
- Tableless. (2019). *Tableless*. Fonte: Tableless: <https://tableless.com.br/mvc-afinal-e-o-que/>
- Talamone, R. (s.d.). USP implanta conceito de cidade inteligente no campus. *Jornal da USP*.
- Torres, F. T., & de Oliveira Machado, P. J. (2011). *Introdução à Climatologia*. São Paulo: Cengage Learning.