



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO**  
**CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE CARAÚBAS**  
**CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**FELLIPE FONSECA BASTOS**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA**  
**AUTOMÁTICA DE BAIXO CUSTO**

**CARAÚBAS - RN**  
**2017**

**FELLIPE FONSECA BASTOS**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA  
AUTOMÁTICA DE BAIXO CUSTO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
ao Centro Multidisciplinar de Caraúbas da  
Universidade Federal Rural do Semiárido,  
como parte dos requisitos para obtenção do  
título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador:

Prof. Dr. Marcelo Roberto Bastos Guerra Vale

**CARAÚBAS - RN**

**2017**

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

B327 Bastos, Fellipe Fonseca.  
Desenvolvimento de uma estação meteorológica  
automática de baixo custo / Fellipe Fonseca  
Bastos. - 2017.  
99 f. : il.

Orientador: Marcelo Roberto Bastos Guerra  
Vale.

Monografia (graduação) - Universidade Federal  
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia  
Elétrica, 2017.

1. Estação Meteorológica Automática. 2.  
Monitoramento Remoto. 3. Sensores. 4. Anemômetro.  
5. Pluviômetro. I. Vale, Marcelo Roberto Bastos  
Guerra, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

**FELLIPE FONSECA BASTOS**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA  
AUTOMÁTICA DE BAIXO CUSTO**

Este trabalho de conclusão de curso foi julgado adequado para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo Centro Multidisciplinar de Caraúbas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

Mossoró, 20 de outubro de 2017.

Assinatura dos membros da Banca Examinadora.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Marcelo Roberto Bastos Guerra Vale - UFERSA  
Presidente da banca e Orientador

  
\_\_\_\_\_  
Prof.ª Dr. Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella Guerra - UFERSA  
Primeiro-Membro

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Me. Ednardo Pereira da Rocha - UFERSA  
Segundo Membro

  
\_\_\_\_\_  
Prof.ª Ma. Romênia Gurgel Vieira - UFERSA  
Terceiro Membro

Dedico,

Aos meus pais.

Aos meus irmãos.

Aos meus amigos e familiares.

E a todos que contribuíram e apoiaram no desenvolvimento deste trabalho.

## RESUMO

Neste projeto foi desenvolvido uma Estação Meteorológica Automática (EMA) de baixo custo e baixo consumo de energia, composta de sensores e dispositivos para o monitoramento remoto de variáveis meteorológicas como temperatura do ar, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, velocidade do vento, pluviosidade e índice de radiação ultravioleta. O desenvolvimento da estação foi centrado na aplicação de técnicas que minimizam o consumo de energia do sistema de controle, sensores e demais dispositivos que compõem a estação. Neste projeto também foi desenvolvido o anemômetro e o pluviômetro utilizados na captação de dados. A estação efetua a transmissão de dados por comunicação sem fio e para isso foi desenvolvido um supervisor em C/C++ para receber, mostrar e salvar os dados captados e enviados pela estação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estação Meteorológica Automática, Monitoramento Remoto, Sensores, Anemômetro, Pluviômetro.

## **ABSTRACT**

*In this project, a low-cost, low-power consumption Automatic Weather Station (AWS) was developed, consisting of sensors and devices for the remote monitoring of meteorological variables such as air temperature, relative air humidity, atmospheric pressure, wind speed, rainfall and ultraviolet radiation index. The development of the station was centered on the application of techniques that minimize the power consumption of the control system, sensors and other devices that make up the station. In this project, the anemometer and the rain gauge used in data acquisition were also developed. The station transmits data by wireless communication and for this a C / C++ supervisory has been developed to receive, display and save the data sent by the station.*

**KEY-WORDS:** Automatic Weather Station, Remote Monitoring, Sensors, Anemometer, Rain Gauge.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Diagrama de blocos da EMA. ....                                      | 31 |
| Figura 2 - Diagrama elétrico da EMA. ....                                       | 32 |
| Figura 3 – Arduino Pro Mini. ....                                               | 35 |
| Figura 4 – Sensor BME280 da Bosch. ....                                         | 36 |
| Figura 5 – Módulo RTC. ....                                                     | 37 |
| Figura 6 – Interruptor de lâminas. ....                                         | 39 |
| Figura 7 – Receptor GNSS. ....                                                  | 40 |
| Figura 8 – Módulo transceptor. ....                                             | 42 |
| Figura 9 – Módulo SD. ....                                                      | 43 |
| Figura 10 – Sensor UV. ....                                                     | 44 |
| Figura 11 – Anemômetro feito com materiais de fácil acesso. ....                | 45 |
| Figura 12 – Sensor magnético e ímãs de neodímio no anemômetro. ....             | 46 |
| Figura 13 – Princípio de funcionamento do pluviômetro. ....                     | 48 |
| Figura 14 – Funcionamento de um pluviômetro de caçamba. ....                    | 49 |
| Figura 15 – Pluviômetro de caçamba. ....                                        | 49 |
| Figura 16 – Desenhando as partes necessárias para a construção da caçamba. .... | 50 |
| Figura 17 – Partes da caçamba já cortadas. ....                                 | 51 |
| Figura 18 – Caçamba montada. ....                                               | 51 |
| Figura 19 – Caçamba fixada na base. ....                                        | 52 |
| Figura 20 – Caçamba e base com sensor magnético e ímã. ....                     | 53 |
| Figura 21 – Pluviômetro pronto. ....                                            | 53 |
| Figura 22 – Gráfico Icc x Frequência do Atmega328p. ....                        | 54 |
| Figura 23 – Consumo do Arduino Pro mini. ....                                   | 55 |
| Figura 24 – Circuito eletrônico do Arduino Pro Mini. ....                       | 56 |
| Figura 25 – Modo de economia de energia com WatchDog. ....                      | 57 |
| Figura 26 – Teste de consumo em sleep mode sem LED. ....                        | 58 |
| Figura 27 – Circuito de montagem do sensor BME280. ....                         | 59 |
| Figura 28 – Configuração do BME280. ....                                        | 60 |
| Figura 29 – Circuito eletrônico mínimo do DS3231. ....                          | 60 |
| Figura 30 – Circuito do módulo com DS3231. ....                                 | 61 |
| Figura 31 – Componentes a serem removidos. ....                                 | 62 |



|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 32 – Relação entre tensão em mV e índice UV. ....                               | 63 |
| Figura 33 – Reed switch usando no anemômetro e no pluviômetro.....                     | 64 |
| Figura 34 – Lógica de configuração para o anemômetro e pluviômetro.....                | 64 |
| Figura 35 – Esquema de ligação do transceptor. ....                                    | 65 |
| Figura 36 – Programação básica para o módulo transmissor. ....                         | 66 |
| Figura 37 – Configuração básica para o módulo receptor.....                            | 67 |
| Figura 38 – Configuração do conjunto conversor – bateria.....                          | 68 |
| Figura 39 – Abrigo da EMA. ....                                                        | 69 |
| Figura 40 – Instruções para encontrar o Vendor ID e Product ID de um dispositivo. .... | 70 |
| Figura 41 – Alcance máximo em máxima potência. ....                                    | 71 |
| Figura 42 – Perda de sinal. ....                                                       | 72 |
| Figura 43 – Alcance máximo com potência mínima. ....                                   | 72 |
| Figura 44 – Resultado do abrigo com sensores, controlador e transmissor.....           | 73 |
| Figura 45 – Estrutura de fixação da estação. ....                                      | 74 |
| Figura 46 – Proteção para o Sensor UV. ....                                            | 74 |
| Figura 47 – Receptor de dados.....                                                     | 75 |
| Figura 48 – Supervisório em C/C++. ....                                                | 76 |
| Figura 49 – Distância entre estações. ....                                             | 77 |
| Figura 50 – Dados de temperatura do ar. ....                                           | 78 |
| Figura 51 – Dados de temperatura do ar da estação A318.....                            | 79 |
| Figura 52 – Dados obtidos para umidade relativa do ar.....                             | 80 |
| Figura 53 – Dados de umidade relativa do ar da estação A318 do INMET.....              | 81 |
| Figura 54 – Relação entre temperatura do ar e umidade relativa do ar. ....             | 82 |
| Figura 55 – Dados obtidos para pressão atmosférica. ....                               | 83 |
| Figura 56 – Melhor visualização dos dados de pressão atmosférica. ....                 | 83 |
| Figura 57 – Dados de pressão atmosférica da estação A318 do INMET.....                 | 84 |
| Figura 58 – Dados obtidos para a velocidade do vento em m/s.....                       | 85 |
| Figura 59 – Dados de velocidade do vento da estação A318 do INMET. ....                | 86 |
| Figura 60 – Velocidade máxima do vento na estação A318 do INMET. ....                  | 86 |
| Figura 61 – Dados obtidos para o Índice UV.....                                        | 87 |
| Figura 62 – Dados de IUUV fornecidos pelo DSA-CPTEC-INPE.....                          | 88 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Especificações da placa Arduino Pro Mini. ....                        | 33 |
| Tabela 2 – Características do Chip DS3231. ....                                  | 38 |
| Tabela 3 – Características do DS3231 quando alimentado pela bateria reserva..... | 38 |
| Tabela 4 – Modos de economia de energia do Atmega328p. ....                      | 55 |
| Tabela 5 – Configuração do BME280 indicada para a EMA . ....                     | 58 |
| Tabela 6 – Custos totais com os materiais usados na EMA.....                     | 89 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|                  |                                            |
|------------------|--------------------------------------------|
| ASK              | Amplitude Shift Keying                     |
| FSK              | Frequency Shift-Keying                     |
| CI               | Circuito Integrado                         |
| EMA              | Estação Meteorológica Automática           |
| GFSK             | Gaussian Frequency Shift-Keying            |
| GNSS             | Global Navigation Satellite System         |
| I <sup>2</sup> C | Inter-Integrated Circuit                   |
| INMET            | Instituto Nacional de Meteorologia         |
| ISM              | Industrial, Scientific and Medical         |
| IUV              | Índice Ultravioleta                        |
| LLUV             | Laboratório de Luz Ultravioleta            |
| LNA              | Low-Noise Amplifier                        |
| MCU              | Microcontroller Unit                       |
| NMEA             | National Marine Electronics Association    |
| PA               | Power Amplifier                            |
| RTC              | Real Time Clock                            |
| RTD              | Resistance Temperature Detector            |
| SPI              | Serial Peripheral Interface                |
| TCXO             | Temperature Compensated Crystal Oscillator |
| WHO              | World Health Organization                  |
| WMO              | World Meteorological Organization          |

## SUMÁRIO

|                                                            |           |
|------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>LISTA DE FIGURAS.....</b>                               | <b>13</b> |
| <b>LISTA DE TABELAS.....</b>                               | <b>15</b> |
| <b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....</b>                | <b>16</b> |
| <b>SUMÁRIO .....</b>                                       | <b>17</b> |
| <b>1 INTRODUÇÃO.....</b>                                   | <b>15</b> |
| 1.1 OBJETIVOS .....                                        | 16        |
| 1.1.1 Objetivo Geral .....                                 | 16        |
| 1.1.2 Objetivos Específicos.....                           | 16        |
| 1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....                          | 17        |
| <b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>                         | <b>18</b> |
| 2.1 CONTEXTO HISTÓRICO .....                               | 18        |
| 2.2 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS.....                           | 19        |
| 2.2.1 Estação Meteorológica Convencional.....              | 20        |
| 2.2.2 Estação Meteorológica Automática .....               | 20        |
| 2.3 VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS.....                          | 21        |
| 2.3.1 Temperatura do ar .....                              | 21        |
| 2.3.2 Umidade relativa do ar.....                          | 22        |
| 2.3.3 Índice ultravioleta .....                            | 22        |
| 2.3.4 Pluviosidade.....                                    | 23        |
| 2.3.5 Velocidade do Vento .....                            | 23        |
| 2.4 MICROCONTROLADORES E PLATAFORMAS MICROCONTROLADAS..... | 23        |
| 2.5 SENSORES.....                                          | 24        |
| 2.5.1 Sensores de temperatura .....                        | 25        |
| 2.5.2 Sensores de umidade .....                            | 27        |
| 2.5.3 Sensores de pressão .....                            | 27        |
| 2.5.4 Sensores de Radiação Ultravioleta.....               | 27        |

|          |                                                             |           |
|----------|-------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.5.5    | <b>Anemômetro</b>                                           | 28        |
| 2.6      | <b>TRANSMISSÃO DE DADOS</b>                                 | 28        |
| 2.7      | <b>RECEPTOR GNSS</b>                                        | 28        |
| <b>3</b> | <b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>                                  | <b>30</b> |
| 3.1      | <b>DIAGRAMA DA ESTAÇÃO METEORÓLOGICA AUTOMÁTICA (EMA)</b>   | 30        |
| 3.1.1    | <b>Diagrama em Blocos</b>                                   | 30        |
| 3.1.2    | <b>Diagrama Elétrico</b>                                    | 32        |
| 3.2      | <b>COMPONENTES DA EMA</b>                                   | 33        |
| 3.2.1    | <b>Plataforma microcontrolada</b>                           | 33        |
| 3.2.2    | <b>BME280</b>                                               | 35        |
| 3.2.3    | <b>RTC</b>                                                  | 36        |
| 3.2.4    | <b>Anemômetro</b>                                           | 38        |
| 3.2.5    | <b>Pluviômetro</b>                                          | 39        |
| 3.2.6    | <b>Receptor GNSS</b>                                        | 39        |
| 3.2.7    | <b>Transceptor nRF24L01+</b>                                | 40        |
| 3.2.8    | <b>Módulo com cartão de memória</b>                         | 42        |
| 3.2.9    | <b>Sensor UV</b>                                            | 43        |
| 3.3      | <b>MONTAGEM DOS DISPOSITIVOS DA ESTAÇÃO</b>                 | 44        |
| 3.3.1    | <b>Montagem do Anemômetro</b>                               | 44        |
| 3.3.2    | <b>Montagem do Pluviômetro</b>                              | 47        |
| 3.3.3    | <b>Modificação do Arduino para baixo consumo de energia</b> | 54        |
| 3.3.4    | <b>Configuração e montagem do BME280</b>                    | 58        |
| 3.3.5    | <b>Configuração e montagem do RTC</b>                       | 60        |
| 3.3.6    | <b>Configuração e montagem do Sensor UV</b>                 | 62        |
| 3.3.7    | <b>Programação do Anemômetro e Pluviômetro</b>              | 63        |
| 3.3.8    | <b>Configuração dos módulos transceptores</b>               | 65        |
| 3.3.9    | <b>Configuração do módulo GNSS</b>                          | 67        |

|        |                                                  |    |
|--------|--------------------------------------------------|----|
| 3.3.10 | Configuração do circuito de alimentação.....     | 67 |
| 3.3.11 | Montagem do abrigo de proteção .....             | 68 |
| 3.3.12 | Supervisório para recepção de dados.....         | 69 |
| 4      | RESULTADOS .....                                 | 71 |
| 4.1    | TESTE DE ALCANCE DOS MÓDULOS TRANSCEPTORES ..... | 71 |
| 4.2    | ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA.....            | 73 |
| 4.3    | SUPERVISÓRIO DA ESTAÇÃO .....                    | 75 |
| 4.4    | ANÁLISE DOS DADOS RECEBIDOS.....                 | 76 |
| 4.4.1  | Temperatura do Ar .....                          | 77 |
| 4.4.2  | Umidade relativa do ar .....                     | 79 |
| 4.4.3  | Temperatura x Umidade .....                      | 81 |
| 4.4.4  | Pressão .....                                    | 82 |
| 4.4.5  | Velocidade do vento .....                        | 84 |
| 4.4.6  | Índice UV.....                                   | 87 |
| 4.4.7  | Pluviosidade .....                               | 89 |
| 4.5    | CUSTOS TOTAIS .....                              | 89 |
| 5      | CONCLUSÃO .....                                  | 91 |
| 6      | TRABALHOS FUTUROS .....                          | 93 |
|        | REFERÊNCIAS .....                                | 94 |
|        | ANEXO 1.....                                     | 98 |
|        | ANEXO 2.....                                     | 99 |

## 1 INTRODUÇÃO

Com o avanço tecnológico nas áreas da microeletrônica, eletrônica embarcada e o surgimento de sensores mais precisos, juntamente com a recente baixa nos custos de tais equipamentos, vêm-se observando a substituição da instrumentação mecânica das estações meteorológicas convencionais por sistemas mais compactos, precisos e automáticos usando dispositivos eletrônicos e plataformas microcontroladas ou microprocessadas.

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), até junho de 2017, possuía 706 estações meteorológicas, sendo 416 delas estações meteorológicas automáticas (INMET, 2017). No entanto, este número é muito pequeno para um país com um território tão extenso como o Brasil.

O desenvolvimento de estações meteorológicas automáticas (EMA's) de baixo custo podem ajudar a melhorar este quadro nacional, permitindo melhores análises sobre o clima, o tempo e outros dados úteis para o entendimento de uma determinada região.

As EMA's de baixo custo também podem ajudar em pesquisas acadêmicas em locais específicos ou também auxiliar na aquisição de dados sobre uma determinada região onde estações profissionais não estão disponíveis ou não estão próximas o suficiente para uma aquisição de dados mais precisa sobre o local de interesse.

O desenvolvimento de EMA's de baixo custo podem viabilizar projetos com recursos financeiros limitados, já que o custo de uma EMA profissional pode variar, aproximadamente, entre R\$800 e R\$54000, dependendo de suas características e alcance na transmissão de dados (Da Rocha Jr et al. 2005).

As EMA's são sistemas microcontrolados ou microprocessados, compostos por diversos sensores capazes de extrair determinados dados de um local. Estes dados são processados localmente e transformados em informações úteis, como temperatura, umidade, pressão, etc. Depois de processadas, as informações geralmente são armazenadas e enviadas para um supervisor, que pode ser um programa de supervisão instalado em um computador ou até mesmo no celular.

No entanto, para o perfeito funcionamento de uma EMA é necessário garantir seu suprimento de energia, sendo necessário dimensionar um sistema que forneça energia de forma independente da rede elétrica. Geralmente, tais estações são

compostas por um conjunto de baterias ou bateria e placas fotovoltaicas, dessa forma seu funcionamento autônomo está garantido.

Existe também a necessidade de configurar o sistema de controle e os sensores da EMA para seus modos de baixo consumo de energia, dessa forma é possível garantir um maior período entre as recargas da bateria, aumentando a vida útil da mesma.

Para garantir o funcionamento correto de uma EMA é necessário a construção de um sistema de abrigo para os sensores e demais dispositivos, de forma a protegê-los da radiação solar e da chuva, mas ao mesmo tempo permitir a captação das variáveis meteorologias sem interferência.

Outro ponto importante no desenvolvimento de uma EMA é garantir a transmissão de dados sem fio e também garantir que os dados sejam armazenados em casos de surtos ou impossibilidade no envio sem fio.

Os pontos apresentados nesta introdução serão detalhados e configurados durante o desenvolvimento deste trabalho.

## 1.1 OBJETIVOS

Os objetivos que caracterizam a análise e o desenvolvimento deste trabalho podem ser divididos em objetivos gerais e objetivos específicos. Nos tópicos seguintes tais objetivos são detalhados.

### 1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral o desenvolvimento de uma estação meteorológica, microcontrolada, automática, portátil, com suprimento à bateria e com comunicação sem fio com supervisor desenvolvido em C/C++.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Este trabalho também possui alguns objetivos específicos fundamentais para a construção da estação meteorológica automática. Os objetivos específicos são:



- Desenvolvimento do anemômetro para a medição da velocidade do vento;
- Desenvolvimento do pluviômetro para medição da quantidade de chuva;
- Comunicação e obtenção de dados entre os sensores;
- Dimensionamento do sistema de alimentação;
- Desenvolvimento do supervisor em C/C++;
- Desenvolvimento do firmware de controle do microcontrolador;
- Desenvolvimento do sistema de comunicação entre supervisor e estação.

## 1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A organização deste trabalho é detalhada a seguir:

O capítulo 2 apresenta um referencial teórico sobre as estações meteorológicas, tecnologias e dispositivos usados em sua construção.

O capítulo 3 descreve os materiais utilizados neste trabalho e a metodologia utilizada na construção da estação meteorológica automática e da metodologia adotada para diminuir o consumo de energia dos dispositivos que compõem a estação.

O capítulo 4 reúne os resultados experimentais obtidos neste trabalho, relatando os dados obtidos com os diversos sensores e os resultados obtidos nas técnicas adotadas para diminuir o consumo de energia da estação.

Em seguida, o capítulo 5 apresenta as conclusões obtidas no trabalho e destaca algumas propostas de trabalhos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será apresentado alguns aspectos teóricos sobre as estações meteorológicas, contexto histórico, construção, sensores, proteção dos dispositivos, controle e transmissão dos dados.

### 2.1 CONTEXTO HISTÓRICO

O primeiro pluviômetro padronizado foi inventado em 1441 na Dinastia Joseon da Coreia pelo filho do Rei Sejong, o príncipe Munjong, cerca de duzentos anos antes da invenção do pluviômetro de báscula por Christopher Wren (SULIT-BRAGANZA, 2005).

O primeiro anemômetro que se tem história foi inventado pelo matemático Italiano Leone Battista Alberti em 1450. Sua invenção era um anemômetro de placa oscilante, sendo constituído de um disco colocado perpendicularmente ao vento. Com base no ângulo de inclinação do disco era medida a velocidade do vento (JACOBSON, 2005).

O barômetro de mercúrio foi inventado em 1643 pelo físico e matemático italiano Evangelista Torricelli, sendo o primeiro a medir a pressão atmosférica (JACOBSON, 2005). Segundo Oliveria (2009), Torricelli observou que ao encher um tubo com mercúrio, com abertura apenas em uma extremidade, quando invertido em uma vasilha, cheia da mesma substância, a coluna de mercúrio no tubo não descia completamente, estabelecendo-se um equilíbrio entre o peso da coluna e a pressão atmosférica.

Em relação à temperatura, em 1607, Galileu Galilei construiu o primeiro termoscópio, dispositivo que estimava a temperatura de acordo com a expansão do ar.

A primeira rede de observação do tempo foi estabelecida por Ferdinando II de Medici em 1654. A rede era composta por estações meteorológicas espalhadas por algumas cidades italianas e de outros países. Os dados de cada estação eram enviados para Florença em intervalos regulares (OLIVEIRA, 2009).

Em 1714, o físico alemão Gabriel Fahrenheit desenvolveu o primeiro termômetro de mercúrio e a escala Fahrenheit. Já em 1742, o astrônomo sueco

Anders Celsius desenvolveu a escala de grau centígrado, predecessora da atual escala Celsius (OLIVEIRA, 2009; JACOBSON, 2005).

O primeiro higrômetro, instrumento de medição de umidade atmosférica, a base de cabelo foi demonstrado pelo físico suíço Horace-Bénédict de Saussure em 1783. Horace Benedict observou que o cabelo se expande quando exposto a umidade e contrai quando a umidade diminui. O Higrômetro de cabelo ainda é usado atualmente.

Segundo Jacobson (2005), o modelo de anemômetro de copos, ainda muito utilizado hoje em dia, foi inventado em 1846 pelo físico irlandês John Thomas Romney. Seu anemômetro era constituído de quatro copos hemisféricos fixados ao centro por eixos verticais.

No Brasil, com criação do Imperial Observatório do Rio de Janeiro, em 1827 iniciaram os procedimentos científicos nessa área. Já em 1886, foi iniciada no Observatório do Rio de Janeiro a organização de uma rede de estações meteorológicas com o objetivo de cobrir todo o território nacional (OLIVEIRA, 2009).

A Marinha Brasileira, por meio de seus navios hidrográficos, já realizavam observações meteorológicas regulares na zona costeira e nas bacias hidrográficas navegáveis desde 1862 (OLIVEIRA, 2009).

Segundo Oliveira (2009), em 1909 o presidente Nilo Peçanha assinou o decreto que determinou a unificação das atividades do Observatório com as redes de observação da Marinha e do Telégrafo Nacional, surgindo assim a Diretoria de Meteorologia e Astronomia, vinculada ao Ministério de Agricultura, Indústria e Comércio da época, surgindo assim o Serviço Meteorológico Nacional, atual Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

## 2.2 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS

A estação meteorológica é uma estrutura composta por um conjunto de equipamentos que permitem um observador fazer avaliações de um ou mais elementos meteorológicos em um determinado instante. Entre os tipos de estações meteorológicas, existem as Estações Convencionais e as Estações Meteorológicas Automáticas (EMA).

### **2.2.1 Estação Meteorológica Convencional**

Uma estação meteorológica convencional é constituída por uma estrutura, geralmente de madeira, que permite a entrada e saída do ar, servindo como abrigo para vários sensores, mecânicos ou digitais, que registram de forma contínua as variáveis meteorológicas. Os dados dos sensores são coletados manualmente por um observador, geralmente um técnico em meteorologia, em intervalos pré-definidos durante o dia. Os dados são enviados pelo observador para um centro de monitoramento ou dispostos online.

### **2.2.2 Estação Meteorológica Automática**

Segundo o INMET (2017), uma Estação Meteorológica Automática (EMA) é um dispositivo capaz de coletar automaticamente as informações meteorológicas como temperatura, pressão atmosférica, umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar e a direção e velocidade do vento dentro de um intervalo de tempo, obtendo valores representativos da área em que a EMA se encontra.

Segundo o INMET (2011), uma EMA pode ser dividida basicamente em quatro subsistemas, sendo eles:

- Subsistema de coleta de dados;
- Subsistema de controle e armazenamento;
- Subsistema de energia;
- Subsistema de comunicação.

A coleta de dados é feita através de sensores e dispositivos voltados para a medição dos parâmetros meteorológicos de interesse como temperatura, umidade, velocidade do vento, entre outros. Informações sobre a estação também são coletadas como tensão na bateria e temperatura do sistema de medição (INMET, 2011).

Já o subsistema de armazenamento e processamento é composto por uma plataforma microcontrolada ou microprocessada como um Arduino, Beagle Bone Black, Raspberry Pi ou uma placa de circuito impresso com um microcontrolador desenvolvida especialmente para o sistema. É comumente adicionado uma unidade de memória para armazenar os dados coletados pelos sensores até serem

transmitidos. A unidade de armazenamento pode ser um cartão sd ou até mesmo um HD.

Segundo o INMET (2011), o subsistema de energia visa permitir o funcionamento autônomo da estação, permitindo sua instalação em lugares remotos e isolando do sistema da rede elétrica convencional, permitindo que funcione mesmo com falta de energia da concessionária local. Para isso, é necessário a implantação de um banco de baterias ou um conjunto com bateria e sistema fotovoltaico.

O subsistema de comunicação é a parte da estação destinada a transmissão dos dados adquiridos, armazenados previamente em uma memória física do próprio microcontrolador ou em memória externa. A transmissão pode ser feita via dispositivos de rádio frequência para distâncias curtas ou via telefonia e satélites para distâncias maiores (INMET, 2011).

## 2.3 VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

As principais variáveis meteorológicas coletadas por uma estação meteorológica automática são apresentados nas seções 2.3.1 à 2.3.3.

### 2.3.1 Temperatura do ar

A temperatura é uma grandeza física escalar que caracteriza o estado térmico de um corpo ou sistema, ou seja, indica o grau de agitação das moléculas de um determinado corpo ou sistema. Quanto maior a temperatura, maior o estado de agitação das moléculas e vice-versa.

A medição correta da temperatura é muito importante em várias áreas de atuação, seja na meteorologia, física, química, etc, uma vez que propriedades como a densidade, pressão, condutividade elétrica, entre outras, e também as propriedades dos materiais dependem da temperatura. A temperatura também é um fator determinante no desenvolvimento de plantas e animais.

A temperatura relativa do ar ou temperatura do ar à superfície são expressões equivalentes que visam traduzir a temperatura em um determinado ponto da atmosfera próximo à superfície terrestre (Varejão-Silva, 2006).

A temperatura do ar é um dos principais dados coletados pelas diversas estações meteorológicas espelhadas pelo mundo.

Wylie e Lalas (1992), em nota técnica à Organização Mundial de Meteorológica (WMO), definem a temperatura do ar como "a temperatura indicada por um termômetro exposto ao ar em um lugar protegido da radiação solar direta".

### **2.3.2 Umidade relativa do ar**

A Umidade Relativa do Ar (URA) é a razão, em um determinado instante, entre a quantidade de vapor de água em um volume de ar e a quantidade de vapor que o mesmo volume teria se o ar estivesse saturado à mesma temperatura e pressão. A URA é expressa em porcentagem. Quando o ar está saturado, a URA atinge 100%.

Segundo Grimm (2017), a umidade relativa do ar indica o quão próximo o ar está de seu estado saturado, ao invés de indicar a quantidade de vapor de água real do ar.

A URA depende, além da quantidade de vapor contido no ar, da temperatura do ar, sendo a URA inversamente proporcional à temperatura do ar. Segundo a SBMET (2017), a URA apresenta um ciclo com máximos durante a madrugada e início da manhã, e mínimos no início da tarde (SBMET, 2017).

### **2.3.3 Índice ultravioleta**

O índice ultravioleta (IUV) é um índice internacional que indica a intensidade da radiação ultravioleta de um local num determinado instante. Segundo a Organização Mundial da Saúde (WHO na sigla em inglês) (2017), quanto mais alto o índice ultravioleta (IUV), maior é o potencial de danos causados a pele e aos olhos e menor é o tempo de exposição ao sol necessário para ocorrer os danos. O IUV também é um dado importante para conscientização sobre os riscos de exposição excessiva à radiação ultravioleta e a necessidade de adotar medidas de proteção (WHO, 2017).

O IUV é um índice composto por números inteiros iniciando no zero e sobe de acordo com a intensidade da radiação solar. Segundo o LLUV - Laboratório de Luz Ultravioleta (2017), uma pessoa de pele branca pode desenvolver um eritema em apenas 6 minutos se exposta ao sol em um horário com IUV igual a 10. De acordo

com o LLUV (2017), IUV entre 0 e 2 são considerados baixos, IUV entre 3 e 5 são considerados moderados, IUV entre 6 e 7 são considerados altos, IUV entre 8 e 10 são considerados muito altos e IUV 11 ou maior são considerados extremos.

#### **2.3.4 Pluviosidade**

A pluviosidade ou índice pluviométrico é uma variável meteorológica que representa a quantidade de chuva ou a medida da precipitação sobre uma determinada região em um determinado intervalo de tempo. A pluviosidade é indicada em milímetros (mm) e é medida, geralmente, com um pluviômetro.

Segundo o INMET(2017c), existem vários modelos de pluviômetros, mas, basicamente, o instrumento é constituído de um funil de captação e básculas (caçambas) que enviam sinais elétricos para uma estação meteorológica.

#### **2.3.5 Velocidade do Vento**

Segundo o COMET (2017), a velocidade do vento é, teoricamente, a distância horizontal percorrida por uma partícula de ar durante um intervalo de tempo, sendo dados em metros por segundo (m/s) para fins climatológicos ou em nós para fins sinóticos. A velocidade do vento indica a distância percorrida pelo vento em um determinado intervalo de tempo.

Segundo Sentelhas e Angelocci (2017), a velocidade do vento aumenta com a altura de forma exponencialmente, devido a redução do atrito em relação ao fluxo de ar e a superfície.

O anemômetro é o instrumento utilizado na medição da velocidade do vento. Os anemômetros mais utilizados são os: anemômetros de caneca, anemômetros de hélice e os anemômetros universais.

### **2.4 MICROCONTROLADORES E PLATAFORMAS MICROCONTROLADAS**

Os Microcontroladores (MCU) são Circuitos Integrados (CI) programáveis que permitem controlar e automatizar diversos processos. Segundo Bignell e Donovan (2010), o microcontrolador pode ser descrito como um computador dentro de um chip,

já que são compostos por CPU, RAM, ROM, dispositivos de entrada e saída e etc, tudo embutido em uma única pastilha de silício. Os microcontroladores estão presentes em grande parte dos equipamentos digitais como calculadoras, celulares, players de música, pequenos robôs, entre outros (Miyadaira, 2009).

O uso de microcontroladores requer o desenvolvimento de um circuito básico para o seu perfeito funcionamento e uma noção razoável de linguagens de programação como, por exemplo, Assembly ou C. Por muito tempo essas características, de certa forma, foram empecilhos que dificultaram o uso de tais dispositivos. No entanto, diversas empresas vêm, nos últimos anos, desenvolvendo plataformas compostas por microcontroladores e seus circuitos básicos de operação em conjunto com instruções para programação mais simplificadas. Tais plataformas facilitaram o uso dos microcontroladores e fizeram com que o mercado desse um grande salto nessa área. Uma dessas plataformas microcontroladas é o Arduino.

Arduino é um plataforma microcontrolada *open source* que permite facilmente desenvolver aplicações que necessitam do uso de um microcontrolador. Além de conter tudo que é necessário para o seu uso em uma única placa, o Arduino é integrado com um código base (bootloader) que torna a sua programação mais fácil e compatível com diversas bibliotecas em C/C++. O Arduino nasceu no Instituto de Design de Interação de Ivrea, na Itália, como uma ferramenta simples e rápida para prototipagem, permitindo que estudantes com pouco ou nenhum conhecimento em eletrônica pudessem utilizar (Arduino.cc, 2017).

Como o custo de um microcontrolador é baixo e muitos fabricantes oferecem em seus *sites* amostras gratuitas de microcontroladores, o desenvolvimento de plataformas microcontroladas se tornou prática comum, sendo possível encontrar diversos projetos independentes com facilidade na internet. Muitos desses projetos utilizam microcontroladores da família PIC, ATmega, 8051, entre outras.

## 2.5 SENSORES

Os sensores são, juntamente com o microcontrolador, os dispositivos centrais no desenvolvimento de uma estação meteorológica automática. São eles que captam os dados brutos do meio em que estão instalados e depois fornecem ao microcontrolador ou microcomputador para serem transformados em informação



como temperatura, umidade, velocidade, entre outros. Os principais sensores usados em um EMA são apresentados a seguir:

- Sensores de temperatura;
- Sensores de umidade;
- Sensores de pressão;
- Sensores para medição da velocidade do vento;
- Sensores para medição de radiação solar.

### 2.5.1 Sensores de temperatura

Existem vários tipos de termômetros, os principais são: os termômetros de líquido em vidro, os termômetros mecânicos e os termômetros elétricos e eletrônicos. Os principais termômetros elétricos e eletrônicos são: as termorresistências, termistores e termopares.

Segundo a WMO (2014), os instrumentos elétricos e eletrônicos são muito utilizados na meteorologia pelo fato de fornecerem sinais de saída que podem ser usados em aplicações remotas, transmitidos e gravados.

As termorresistências (RTD do inglês Resistance Temperature Detector), são dispositivos de alta precisão e repetitividade. O princípio de medição de temperatura por meio de RTD é baseado na variação da resistência elétrica de um fio metálico em função da temperatura. As termorresistências são constituídas, na grande maioria, de um fio de platina, níquel ou cobre.

A relação matemática entre a resistência do fio metálico e sua temperatura é dada pela Equação 1.

$$R = R_0 * (1 + \alpha T) \quad (1)$$

onde  $R$  é a resistência elétrica do material na temperatura a ser medida,  $R_0$  é a resistência à 0°C,  $\alpha$  é o coeficiente térmico da resistência e  $T$  é a temperatura.

Para altas temperaturas, a Equação 2 expressa a relação entre temperatura e resistência de forma mais precisa WMO (2014).

$$R = R_0 * (1 + \alpha + T + \beta + T^2) \quad (2)$$

onde o coeficiente  $\beta$  pode ser encontrado na calibragem do dispositivo.

Já os termistores são semicondutores cerâmicos que, assim como as termorresistências, variam sua resistência ao serem submetidos a variação de temperatura. No entanto, os termistores possuem coeficientes térmicos maiores que as termorresistências. Os termistores são constituídos de misturas de óxidos metálicos sintetizados, prensados na forma de filamentos e encapsulados em epóxi ou vidro. Os termistores pode ser do tipo PTC ou NTC, quando possuem coeficientes de temperatura positivos ou negativos respectivamente.

Segundo a WMO (2014), a função de transferência para o termistor pode ser descrita de acordo com a Equação 3.

$$R = \alpha^{\frac{\beta}{T}} \quad (3)$$

onde  $\alpha$  e  $\beta$  são constantes e  $T$  é a temperatura do termistor em kelvin.

Existem também os termopares ou par termoeletrônicos, dispositivos de medição de temperatura com ampla aplicação industrial e também utilizados em aplicações meteorológicas. O termopar é composto pela junção de dois materiais metálicos diferentes. O princípio de funcionamento do termopar é baseado no Efeito Seebeck, que descreve o surgimento de uma diferença de potencial entre a junção dos dois materiais metálicos e as extremidades livres.

O termopar também pode ser descrito como um conversor de energia termelétrica, mas sua aplicação é basicamente destinada a aplicações em medição de temperatura, uma vez que possui baixa eficiência como fonte de energia.

Existem também outros tipos de sensores de temperatura, digitais e analógicos, um dos mais utilizados é o sensor digital DS18B20, da Maxim, antiga Dallas Semiconductor.

O DS18B20 é um sensor de temperatura digital que permite medições com resolução entre 9 e 12 bits e permite setar um valor de temperatura internamente para atuar como alarme. O sensor trabalha com o protocolo 1-Wire, da Maxim, necessitando de apenas um único fio para transmissão de dados e um terra (Maxim, 2017a).

Outro sensor de temperatura digital muito utilizado em aplicações meteorológicas é o BME280, pois permite calibração interna (Bosch, 2017).

### **2.5.2 Sensores de umidade**

Entre os sensores de umidade, o mais conhecido é o DHT11, por ser simples, de baixo custo e ter uma boa resolução. O DHT11 é um sensor genérico, produzido por diversos fabricantes. Ele é um sensor digital e permite fazer leituras de umidade entre 20 e 80%, com até 5% de erro (DFRobot, 2017).

Outro sensor de umidade muito utilizado é o BME280 da Bosch. Este sensor, além da unidade de medição de temperatura, conta com uma unidade para medição de URA com, sendo uma opção muito utilizada.

### **2.5.3 Sensores de pressão**

Para medir pressão atmosférica pode ser usado o sensor BMP180, devido ser um sensor acessível e com boa precisão. Com este sensor é possível medir também a altitude e a temperatura. O BMP180, é um sensor digital de pressão atmosférica desenvolvido pela Bosch Sensortek, que permite medir um range de 300 a 1100hPa, com resolução de 0,06hPa. O sensor opera com tensão de 1.8 a 3.6V, com 5uA, sobre o protocolo I2C (Bosch, 2017a). Outro sensor da Bosch indicado para aplicações meteorológicas é o BME280. Este sensor permite coletar dados sobre temperatura, umidade e pressão (Bosch, 2017b).

### **2.5.4 Sensores de Radiação Ultravioleta**

A radiação ultravioleta pode ser mensurada usando, por exemplo, sensores à base de fotodiodos sensíveis à faixa de comprimento de onda entre 100 e 400 Nanômetros (nm). O fotodiodo ao ser submetido à uma fonte de radiação ultravioleta permite a passagem de corrente elétrica entre seus terminais. A corrente elétrica, neste caso, é proporcional à radiação ultravioleta e sua escala de variação depende do fotodiodo utilizado. No entanto, esse sinal é muito pequeno, na casa dos Nanoampère (nA).

### 2.5.5 Anemômetro

Já a velocidade do vento pode ser medida por um anemômetro feito à base de sensores ópticos, sensores magnéticos e ultrassônicos. Também é possível utilizar pequenos geradores de energia. No entanto, o mais comum em projetos de baixo custo é a utilização de anemômetros compostos por sensores magnéticos e ímãs, já nas estações profissionais, são utilizados anemômetros à base de pequenos geradores, onde o nível de tensão de saída é proporcional à velocidade do vento.

## 2.6 TRANSMISSÃO DE DADOS

Em projetos de baixo custo com transmissão de dados entre estação e supervisor, é comum o uso de transmissores e receptores de rádio frequência que operam sobre modulação por Chaveamento de Amplitude (ASK, na sigla em inglês para Amplitude Shift Keying), modulação por Chaveamento de Frequência (FSK, na sigla em inglês para Frequency-shift keying) ou modulação Gaussiana FSK (GFSK, na sigla em inglês para Gaussian Frequency Shift Keying) e também por dispositivos como o ESP8266, que permite, entre outras opções, a transmissão de dados via protocolo WiFi.

## 2.7 RECEPTOR GNSS

GNSS (na sigla em inglês para *Global Navigation Satellite System*) são sistemas de navegação por satélite que oferecem cobertura em toda a superfície terrestre. Também é o termo usado para representar os vários sistemas de navegação por satélite. Os sistemas GNSS mais conhecidos são:

- GPS - Sistema militar desenvolvido pelos Estados Unidos.
- Glonass - Sistema militar desenvolvido pela Rússia.
- Galileo - Sistema civil europeu.
- Compass - Sistema militar desenvolvido pela China.

O GPS, Glonass e Compass são sistemas de uso militar, mas também são disponibilizados para o uso civil de forma gratuita. No entanto, o sinal destes sistemas são disponibilizados sem garantias e podem ser interrompidos ou mesmo modificados pelos países detentores de cada sistema. O sistema Galileo é justamente uma resposta a esse impasse.

Os receptores GNSS são dispositivos capazes que receber sinais de um ou mais sistemas GNSS, conseguindo obter uma série de dados sobre o próprio receptor em relação aos satélites e também informações dos próprios satélites. Além das aplicações convencionais, estes sensores conseguem receber dados uteis para aplicações meteorológicas e podem ser utilizado como sensores meteorológicos de umidade, mais precisamente como sensores para monitoramento do vapor d'água integrado na atmosfera (IWV – Integrated Water Vapor) (Monico e Sapucci, 2003).

Atualmente a grande maioria dos celulares possuem sistemas GNSS capazes de receber sinais tanto do GPS quanto do Glonass. O interesse por receptores GNSS por leigos vem crescendo recentemente devido a popularização dos drones entre hobistas e estudantes que utilizam tais veículos para aplicações de controle ou como ferramenta para outros estudos.

Os dados que os receptores GNSS recebem dos sistemas GNSS são disponibilizados pelo receptor via protocolo NMEA, desenvolvido pela National Marine Electronics Association inicialmente como um padrão para comunicação entre dispositivos náuticos (NMEA, 2017).

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

Neste capítulo serão apresentados os materiais utilizados para a construção da estação meteorológica automática e dos métodos utilizados na montagem dos circuitos. Como foi mencionado no capítulo de introdução, o objetivo principal deste trabalho visa desenvolver uma estação meteorológica automática com materiais e dispositivos de baixo custo e de fácil acesso, propiciando uma metodologia de construção acessível e com um custo/benefício satisfatório. Por esse motivo, em alguns tópicos deste capítulo será dado prioridade ao uso de materiais recicláveis ou não convencionais em uma estação profissional.

Neste trabalho também será dado maior atenção aos dispositivos com menor consumo de energia e aos métodos que permitam uma melhor economia de energia dos sensores e demais dispositivos. O objetivo é proporcionar maior autonomia do sistema, diminuindo o máximo possível seu consumo de energia para que a bateria tenha um intervalo de recarga maior e que se possa utilizar baterias de fácil acesso como as baterias de cerca elétrica, alarmes, motocicletas ou baterias utilizada em drones, uma vez que estão cada vez mais acessíveis e difundidas.

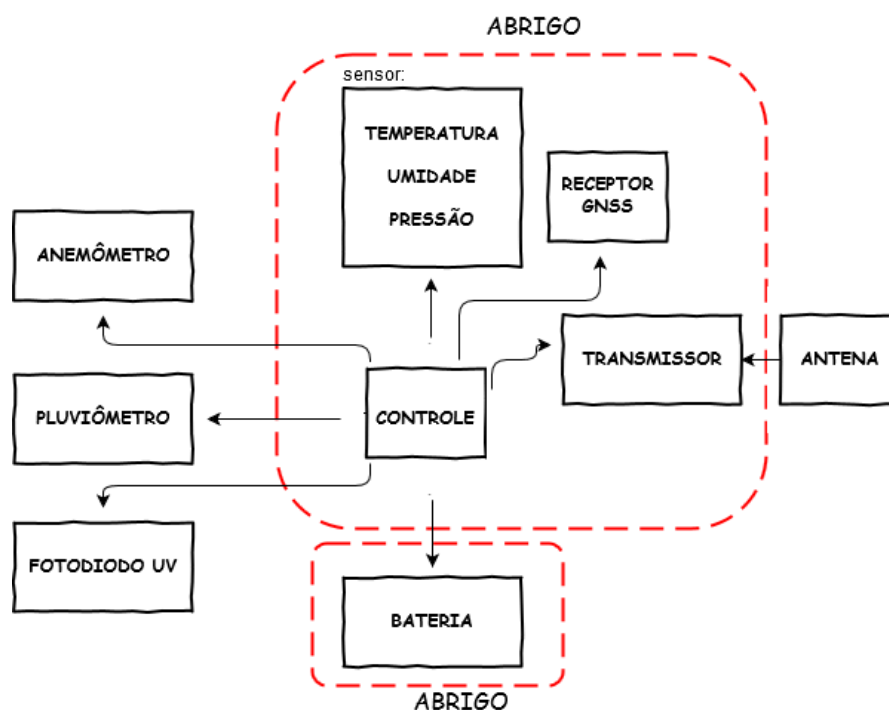
#### **3.1 DIAGRAMA DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA (EMA)**

Este tópico apresenta o diagrama de blocos e o diagrama elétrico da EMA de baixo custo e baixo consumo propostos por este trabalho.

##### **3.1.1 Diagrama em Blocos**

A estação será composta por nove blocos, cada um dotado de características e funções específicas como é demonstrado na Figura 1.

Figura 1 - Diagrama de blocos da EMA.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como indica o diagrama de blocos, a EMA efetuará a coleta dos seguintes dados:

- Temperatura do ar;
- Humidade relativa do ar;
- Índice ultravioleta;
- Velocidade do vento;
- Intensidade de chuva em milímetro;
- Pressão atmosférica;
- Latitude;
- Longitude;
- Tensão na bateria.

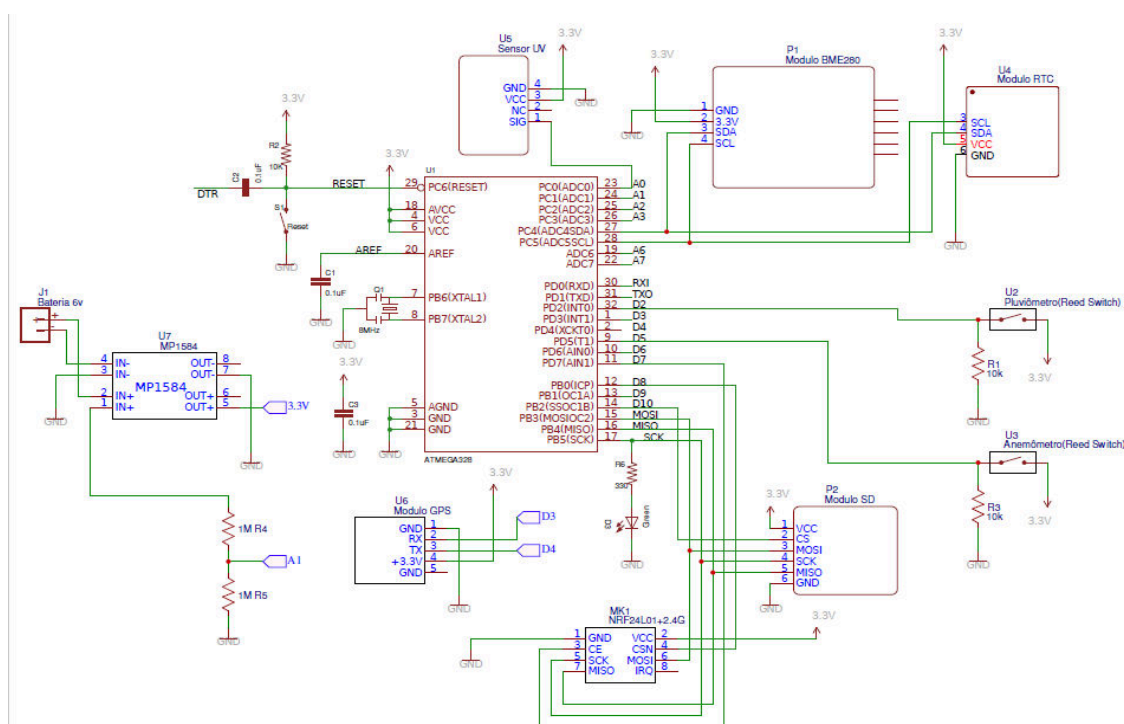
Além dos sensores para coleta destes dados, a estação conta com: uma unidade de alimentação composta por uma bateria e um conversor buck; um abrigo contra radiação solar e contra chuva para alojar os sensores; uma unidade de recepção e transmissão de dados composta por um transceptor e antena; um receptor GNSS; estrutura do anemômetro; estrutura do pluviômetro e uma estrutura de fixação de todos os dispositivos citados.

Nos próximos tópicos serão detalhados os sensores e demais componentes utilizados para a coleta de cada dado informado a cima, como também sua disposição no circuito, funcionamento e características.

### 3.1.2 Diagrama Elétrico

O diagrama elétrico da EMA com os sensores utilizados em sua construção é representado na Figura 2.

Figura 2 - Diagrama elétrico da EMA.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Note que no diagrama elétrico apresentado na Figura 2 os sensores estão retratados como blocos devido serem partes de módulos com diversos componentes. No próximo tópico os sensores utilizados serão apresentados e seus circuitos elétricos serão detalhados.

No diagrama elétrico, o anemômetro e o pluviômetro foram retratados com os sensores que atuam realmente na captação dos dados. No entanto, estes sensores fazem parte de uma estrutura maior que será descrita durante a metodologia. Na estação, o circuito contendo o microcontrolador, o módulo sd, o transmissor



nRF24L01+ e o módulo BME280 foram alojados em um mesmo abrigo, como retrata o diagrama de blocos. Os demais dispositivos foram alojados em estruturas individuais construídas de acordo com as características de cada dispositivo. Essas características serão detalhadas durante a explicação da metodologia de montagem adotada.

## 3.2 COMPONENTES DA EMA

Neste tópico serão apresentados todos os componentes utilizados na construção da EMA de forma individual. Também serão apresentados os materiais e equipamentos usados na sua construção.

### 3.2.1 Plataforma microcontrolada

Para este trabalho, foi escolhido a plataforma microcontrolada Arduino Pro Mini 3.3V/8MHz, versão não oficial disponível no *site* Banggood (2017) por um baixo custo.

O Arduino Pro Mini é uma plataforma microcontrolada baseada no microcontrolador ATmega328P, o mesmo usado em outras placas Arduino como o Arduino Uno e Nano. O Pro Mini é composto por 14 portas de entrada e saída de uso geral, 8 entradas analógicas, um regulador de tensão, cristal oscilador, botão de reset, leds e componentes passivos. Essa plataforma não possui circuito para comunicação USB/Serial instalado na placa (Arduino, 2017).

Na Tabela 1 está destacado as características principais de um Arduino Pro Mini original.

Tabela 1 - Especificações da placa Arduino Pro Mini.

| Especificações Arduino Pro Mini    |            |
|------------------------------------|------------|
| Microcontrolador                   | ATmega328p |
| Tensão de alimentação              | 3.35 – 12V |
| Tensão de operação                 | 3.3V       |
| Portas de entrada e saída digitais | 14         |
| Portas PWM                         | 6          |

|                       |                                   |
|-----------------------|-----------------------------------|
| UART                  | 1                                 |
| SPI                   | 1                                 |
| I2C                   | 1                                 |
| Entradas analógicas   | 8                                 |
| Interrupções externas | 2                                 |
| Corrente DC por pino  | 40mA                              |
| Memória Flash         | 32KB, sendo 2KB para o bootloader |
| SRAM                  | 2KB                               |
| EEPROM                | 1KB                               |
| Clock                 | 8MHz                              |

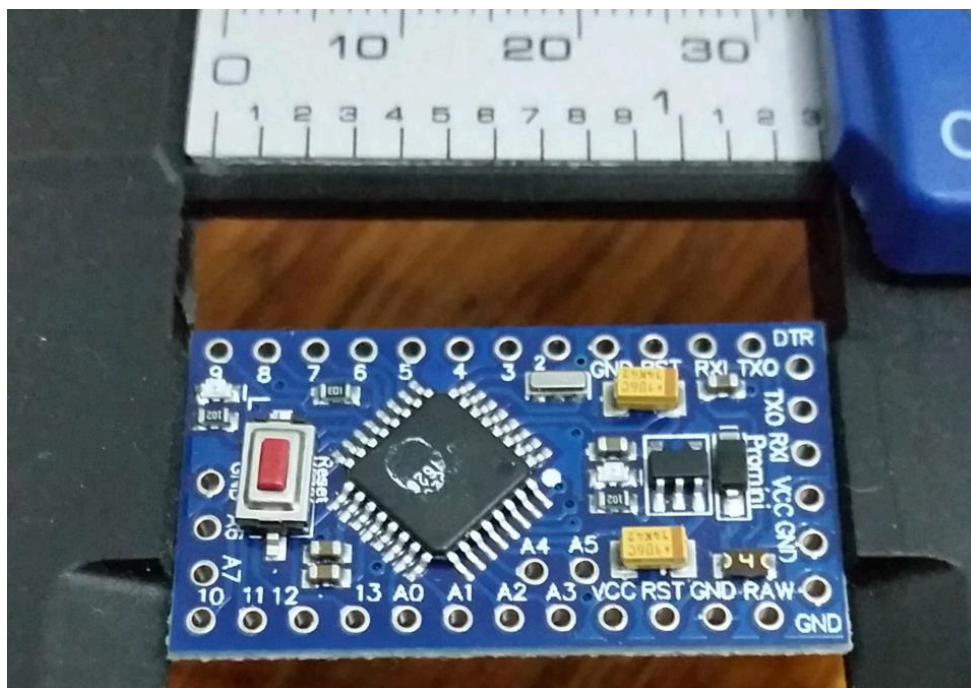
Fonte: Arduino (2017).

Inicialmente foi escolhido utilizar o microcontrolador ATmega328P diretamente, montando seu circuito mínimo de operação. No entanto, o valor a ser gasto na compra do microcontrolador e dos componentes para montar seu circuito mínimo de operação, mostrou-se superior ao do custo da plataforma já pronta. Por outro lado, para que a plataforma microcontrolada utilizada se adeque ao objetivo deste trabalho, será necessário fazer algumas modificações em seu circuito para diminuir ainda mais seu consumo de energia.

Originalmente a plataforma microcontrolada Arduino Pro Mini é composta por um regulador de tensão para 3.3V que permite seu funcionamento com fontes de alimentação de até 12V, no caso dos Arduinos originais. No caso da placa usada neste trabalho, que utiliza um regulador RT9193 da Richtek, a tensão máxima suportada pelo regulador é de até 6V.

Para diminuir o consumo de energia da placa Arduino utilizada, o Led que indica que a placa está ligada e o regulador de tensão serão removidos. A placa Arduino utilizada pode ser visualizada na Figura 3.

Figura 3 – Arduino Pro Mini.



Fonte: Arquivo próprio.

Este modelo é vendido com os pinos não soldados, característica que facilita a implementação em projetos, pois diminui espaço e permite soldar somente os pinos de interesse.

### 3.2.2 BME280

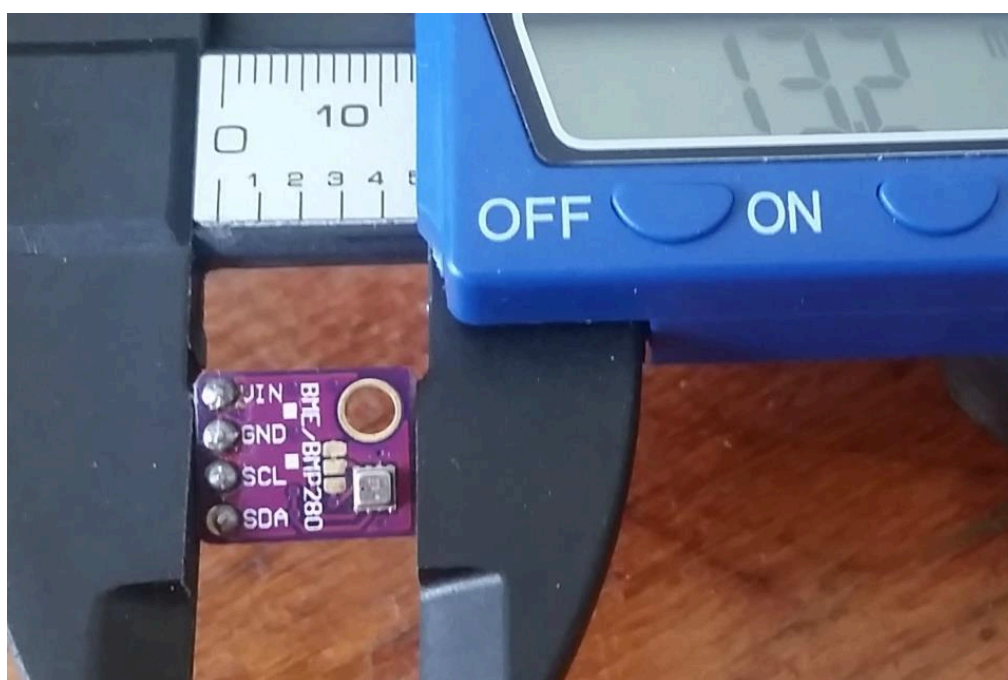
O BME280 é um sensor de baixo consumo de energia desenvolvido pela Bosch Sensortech que permite a coleta de dados referente à temperatura, umidade e pressão. O BME280 combina sensores digitais de pressão, humidade e temperatura com alta linearidade e precisão (Bosch, 2017). Este sensor foi projetado especialmente para atender os requisitos de aplicações móveis onde o tamanho e o consumo de energia são fatores limitantes. Ele também é destinado para aplicações envolvendo controle de temperatura, sistemas de condicionamento de ar, automação residencial, internet das coisas, sistemas de navegação, dispositivos de GPS, equipamentos de auxílio à prática de esportes de ação e sistema de previsão de tempo (Bosch, 2017).

O sensor de umidade possui tempo de resposta extremamente rápido e alta precisão em uma ampla faixa de temperatura. O sensor de pressão do BME280 é um

sensor de pressão atmosférica com elevada resolução e precisão com baixo ruído. Já o sensor de temperatura integrado no BME280 é projetado para trabalhar com baixo ruído e alta resolução, servindo como base para a compensação de temperatura nos sensores de umidade e pressão, mas também permite ser usado para a estimar a temperatura ambiente (Bosch, 2017).

Este sensor da Bosch possui tensão de alimentação entre 1.71V e 3.6V, interface de comunicação SPI e I<sup>2</sup>C e consumo de corrente de 0.1  $\mu$ A (Microampère) quando desabilitado. Este sensor possui três modos de operação, sendo eles: sleep mode, normal mode e forced mode (Bosch, 2017). O módulo usado é o indicado na Figura 4.

Figura 4 – Sensor BME280 da Bosch.



Fonte: Autoria própria.

O endereço de comunicação com o módulo pode ser modificado soldando dois dos três contatos em cima do nome BMP ilustrado na Figura 4.

### 3.2.3 RTC

Foi usado neste projeto um módulo RTC (sigla em inglês para Relógio de Tempo Real) destinado a marcação de tempo e ajuste de calendário para as

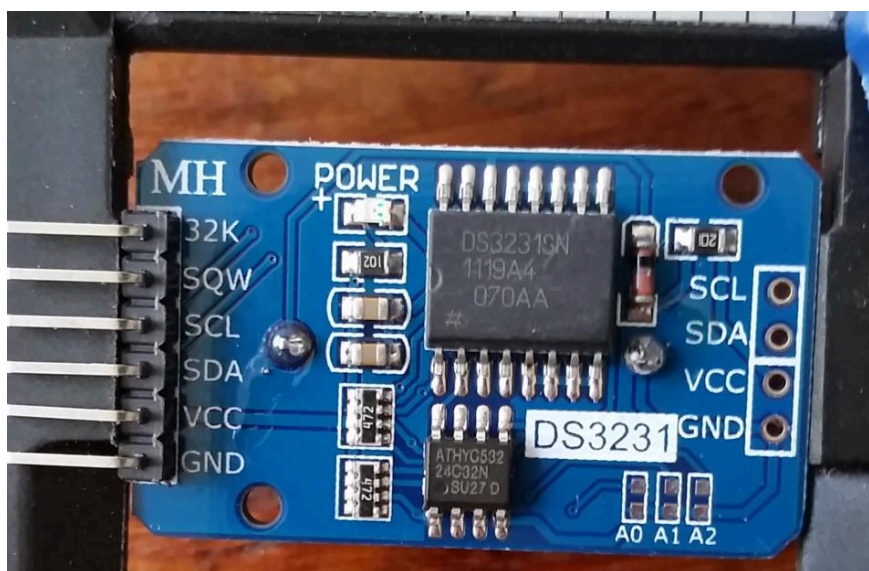
aplicações da estação meteorológica. Dessa forma é possível saber, com uma certa precisão, a data e hora de cada medida feita pela estação.

O módulo é composto pelo chip RTC DS3231 da Maxim Integrated, um relógio de tempo real (RTC) de baixo custo e alta precisão com cristal oscilador e cristal oscilador com compensação de temperatura (TXCO) embutidos. Segundo a Maxim (2017b), neste dispositivo vem incorporado uma entrada para bateria reserva que mantém a marcação de tempo funcionando caso a alimentação principal seja interrompida.

O chip possui transmissão serial de dados e endereço via protocolo I2C, fornecendo informações sobre segundos, minutos, horas, dia, mês e ano. Também ajusta automaticamente as informações para os meses com menos de 31 dias e anos bissextos. O DS3231 dispõe de dois alarmes programáveis. (Maxim, 2017b).

O módulo também possui uma memória EEPROM serial AT24C32 de 32Kbits da Atmel, capaz de realizar 1 milhão de ciclos de escrita e armazenar dados por 100 anos. O módulo usado neste trabalho pode ser visualizado na Figura 5.

Figura 5 – Módulo RTC.



Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 2 é possível ver as características elétricas do chip DS3231 quando alimentado por uma fonte externa de até 5v.

Tabela 2 – Características do Chip DS3231.

| Parâmetros                           | Símbolo   | Condições        | Max | Unidade |
|--------------------------------------|-----------|------------------|-----|---------|
| Corrente de alimentação quando ativo | $I_{CCA}$ | $V_{CC} = 3.63V$ | 200 | $\mu A$ |
| Corrente de Alimentação em espera    | $I_{CCS}$ | $V_{CC} = 3.63V$ | 110 | $\mu A$ |

Fonte: Maxim (2017).

Note que o chip possui corrente máxima de apenas 200  $\mu A$  quando está ativo e alimentado por um fonte DC de 3.63V. Já em espera, a corrente máxima passa para 110uA quando alimentado por uma fonte de 3.63V.

Quando alimentado pela bateria reserva, o DS3231 demanda apenas 70  $\mu A$  e 3  $\mu A$  quando alimentados por 3.63V nos modos Ativo e Cronômetro, respectivamente como indica a Tabela 3.

Tabela 3 – Características do DS3231 quando alimentado pela bateria reserva.

| Parâmetro                                          | Símbolo    | Condições                          | Max | Unidade |
|----------------------------------------------------|------------|------------------------------------|-----|---------|
| Alimentado por bateria reserva em modo Ativo       | $I_{BATA}$ | $V_{CC} = 0V$<br>$V_{BAT} = 3.63V$ | 70  | $\mu A$ |
| Alimentado por bateria reserva em modo Cronômetro. | $I_{BATT}$ | $V_{CC} = 0V$<br>$V_{BAT} = 3.63V$ | 3   | $\mu A$ |

Fonte: Maxim (2017).

Essas características fazem deste módulo uma ótima opção para projetos de baixo consumo de energia. Note que essas informações são referentes ao chip e não ao módulo como um todo.

### 3.2.4 Anemômetro

O anemômetro utilizado neste trabalho foi construído com materiais de baixo custo e sua construção será detalhada no item 3.3.

O sensor usado na construção do anemômetro foi um Interruptor de lâminas (Reed Switch) presente em kits de velocímetros de bicicletas.

O sensor usado na construção do anemômetro pode ser visualizado na Figura 6.

Figura 6 – Interruptor de lâminas.



Fonte: Autoria própria.

O sensor é envolvido por uma proteção plástica bem resistente, mas permite que as lâminas internas fechem o circuito ao ser aproximado de uma campo magnético externo, como ao ser aproximado de um ímã de neodímio.

### 3.2.5 Pluviômetro

O pluviômetro que compõe o a estação meteorológica automática foi desenvolvido com materiais de baixo custo e de fácil acesso. Sua construção também será detalhada no item 3.3. Assim como no anemômetro, foi usado um Interruptor de lâminas como sensor atuante.

### 3.2.6 Receptor GNSS

O receptor GNSS (sigla em inglês para Sistema Global de Navegação por Satélite) usado neste projeto foi o modelo VK2828U7G5LF da V.Kel Electronics. Este módulo envia as informações de posicionamento em protocolo NMEA 0183 via interface serial, configurado por padrão em 9600 baud, mas pode ser modificado via serial. Este módulo possui taxa de atualização de 1 à 5Hz, ou seja, é possível receber



as informações de posicionamento de 1 a 5 vezes por segundos. Opera com 3.3 ou 5V com corrente máxima de 50mA, mas permite ser configurado para o modo de baixo consumo (Sleep Mode) com start rápido em 1s. Características que satisfazem os critérios de projeto adotado neste trabalho.

Este receptor é compatível com os sistemas GPS, Glonass, Galileo, Compass (Beidou) e SBAS(WASS, EGNOS, MSAS, GAGAN), possuindo frequência de recepção em 1575.42MHz (L1) com 56 canais de recepção. O modelo utilizado é o disposto na Figura 7.

Figura 7 – Receptor GNSS.



Fonte: Autoria própria.

O módulo também possui uma bateria reserva para alimentar o circuito RTC do receptor GNSS caso a alimentação principal falhar ou for interrompida. No entanto, essa bateria só dura por poucas horas.

### 3.2.7 Transceptor nRF24L01+

Para o desenvolvimento da estação meteorológica automática pretendida neste trabalho, foi necessário a utilização de um conjunto transmissor e receptor de rádio frequência, onde o transmissor será implementado na estação e o receptor em um determinado local onde se deseja obter as informações da estação.

Foi utilizado dois módulos com transceptores nRF24L01+ da Nordic Semiconductors, dispositivos que podem atuar como transmissores (Tx) ou receptores



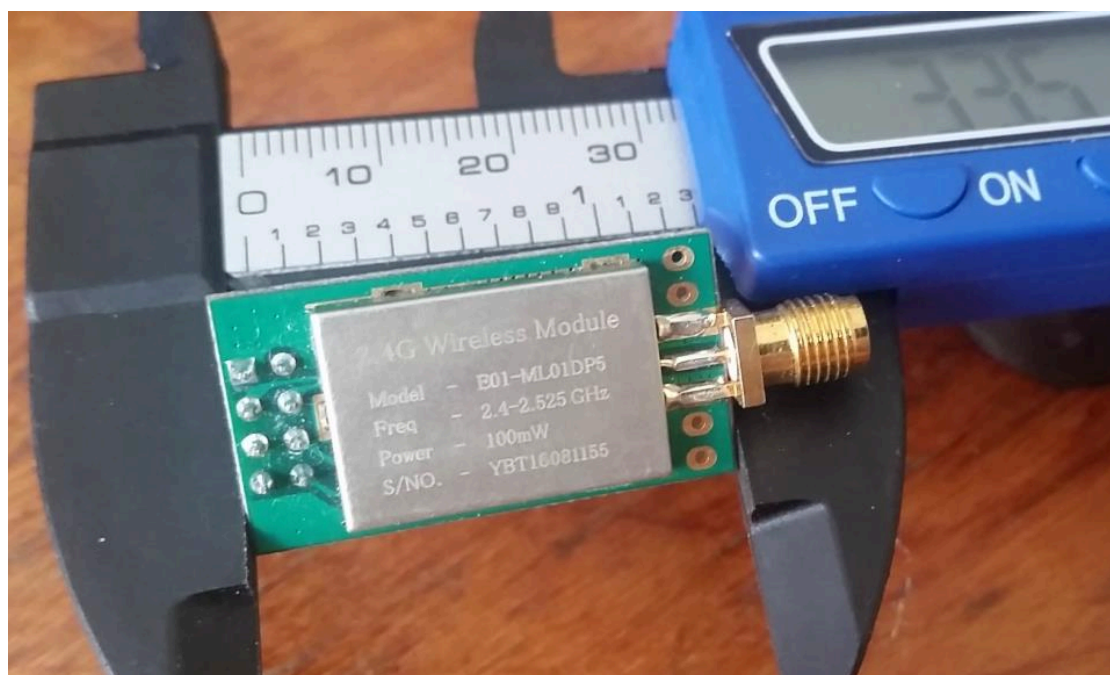
(Rx) de dados. A escolha deste dispositivo se deu devido ao seu alcance e principalmente ao consumo de energia, sendo possível, assim como os demais sensores usados na estação, comutar entre o modo padrão e o modo de baixo consumo de energia (sleep mode).

O circuito integrado nRF24L01+, da Nordic Semiconductor, é um transceptor RF de 2Mbps desenvolvido para aplicações wireless com baixo consumo de energia na banda de 2.4GHz ISM (Industrial, Scientific and Medical). O chip possui pico de corrente no modo Rx de apenas 13.5mA e no modo Tx apenas 11.3mA, podendo operar com tensão de alimentação entre 1.9 e 3.6V Nordic Semiconductor (2017). Este dispositivo, em seu modo de menor consumo de energia demanda apenas 900 nanoampère (nA) e em modo espera (Standby) demanda 26 microampères. Essas características permitem que este dispositivo funcione por meses com um bateria moeda de 3.7V convencional.

O alcance padrão do nRF24L01+ é de até 100 metros em local aberto sem obstáculos. No entanto, o módulo usado na EMA, além do chip nRF24L01+, possui um chip com um amplificador de potência (PA), para quando o módulo estiver atuando como transmissor, e um amplificado de baixo ruído (LNA), para quando estiver atuando como receptor. Este conjunto, segundo especificações do fabricante, permite o módulo alcançar distâncias de até 1100 metros. O módulo ainda conta com um conector SMA invertido e um antena para banda de frequência de 2.4GHz.

O módulo presente na estação foi configurado para atuar como transmissor de dados enviando as informações para outro módulo com nRF24L01+ atuando como receptor das informações. O modelo usado é retratado na Figura 8.

Figura 8 – Módulo transceptor.



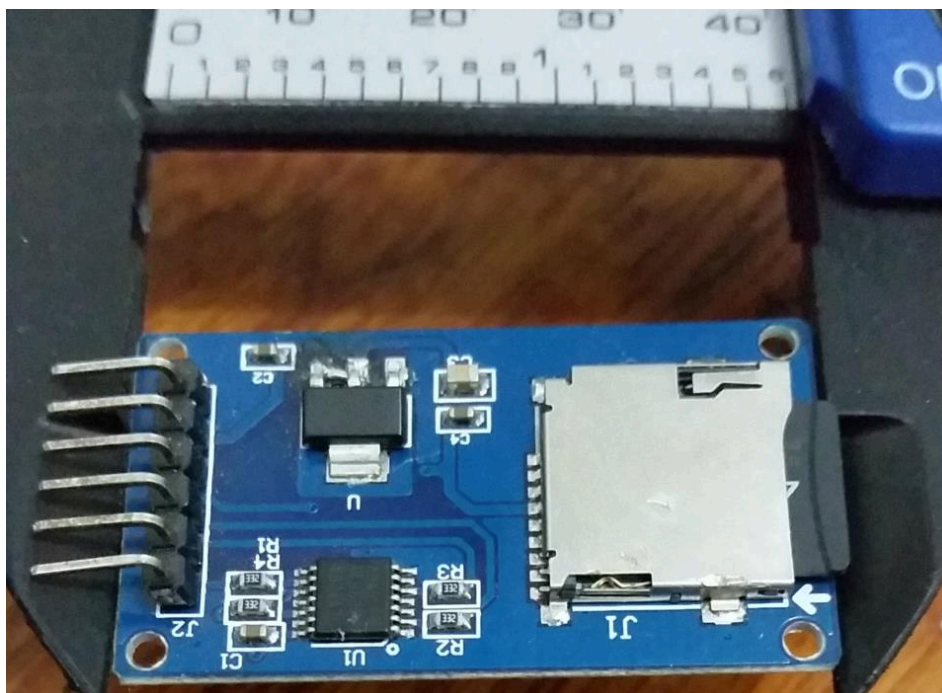
Fonte: Autoria própria.

Tanto na estação como no circuito receptor foram utilizados os módulos transceptores do modelo ilustrado na Figura 8. A configuração (RX/TX) foi modificada via programação.

### 3.2.8 Módulo com cartão de memória

Como pode ocorrer eventuais falhas na transmissão de dados via transceptores na EMA, por segurança, será implementado no circuito um módulo com cartão de memória para salvar a leitura de dados feitas pelos sensores. O módulo usado foi o modelo da Figura 9.

Figura 9 – Módulo SD.



Fonte: Autoria própria.

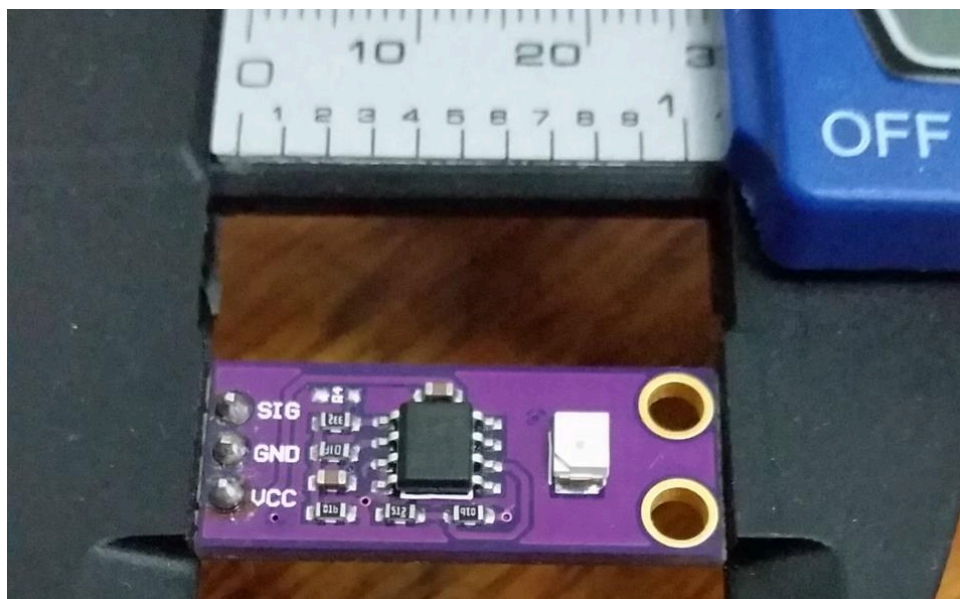
Este módulo pode ser alimentado com 5V ou 3.3V. O regulador de tensão do módulo foi removido para diminuir o consumo de energia. Sendo alimentado com 3.3V diretamente.

### 3.2.9 Sensor UV

Para a medição do índice de radiação ultravioleta, foi utilizado um sensor composto por um fotodiodo ultravioleta modelo GUVA-S12SD da empresa GENUV (2017). Este fotodiodo UV é capaz de detectar a faixa de luz entre 240 e 370nm, cobrindo boa parte do espectro UVB e UVA. No entanto, a sinal de saída deste fotodiodo é muito pequeno, na casa dos nanoampère (GENUV, 2017). Este fato impede sua utilização diretamente, sendo necessário amplificar este sinal para facilitar sua implementação.

Por esse motivo, o módulo usado na estação é composto também por um circuito a base de amplificador operacional capaz de converter o sinal de saída do fotodiodo uv para um sinal de tensão fácil de ser mensurado. O módulo usado é ilustrado na Figura 10.

Figura 10 – Sensor UV.



Fonte: Arquivo próprio.

O módulo será envolvido em uma proteção contra chuva, pois ficará do lado de fora do abrigo da estação.

### 3.3 MONTAGEM DOS DISPOSITIVOS DA ESTAÇÃO

Nesta seção serão detalhados os passos da montagem do anemômetro, do pluviômetro e dos demais dispositivos que constituem a EMA.

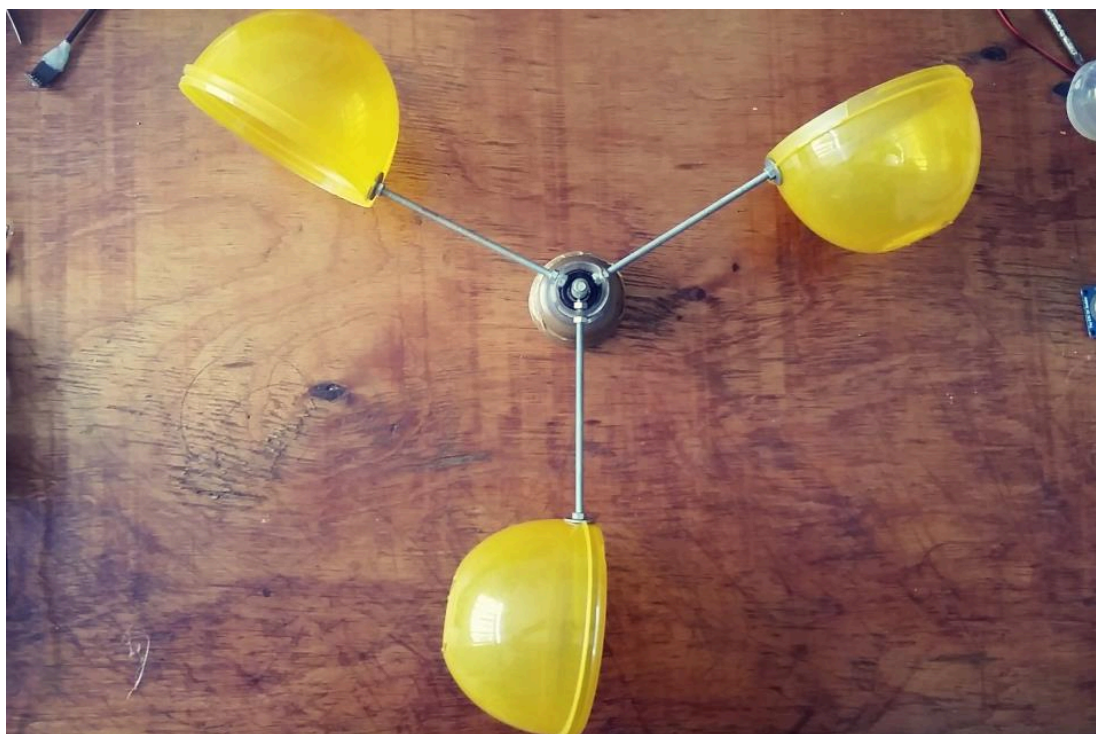
#### 3.3.1 Montagem do Anemômetro

Para medição da velocidade do vento, foi posto em prática o desenvolvimento de um anemômetro feito com materiais de fácil acesso como potes côncavos, rolamentos cerâmicos de *spinners* e um sensor magnético de velocímetro de bicicleta. Materiais de baixo custo e que permitem criar um anemômetro para a estação meteorológica automática.

O anemômetro é composto por três pás, distanciadas em 120° umas das outras, juntas por uma base de PCV com dois rolamentos cerâmicos em seu interior. As pás foram feitas usando potes plásticos côncavos e barras rosqueadas como indica a Figura 11.

O anemômetro ainda é composto por um pivô central que é fixado no interior dos rolamentos e une o anemômetro à base de fixação da estação. Dessa forma, as pás conseguem girar livremente com a força dos ventos e ficar completamente fixa na estação. A Figura 11 retrata o anemômetro com as pás fixadas.

Figura 11 – Anemômetro feito com materiais de fácil acesso.



Fonte: Autoria própria.

Na parte girante do anemômetro, mostrado na Figura 11, foram inseridos pequenos ímãs de neodímio e na parte fixa foi fixado o sensor magnético de velocímetro de bicicleta. Dessa forma, quando a parte girante começar a girar, os ímãs passarão pelo sensor magnético que fechará o circuito, permitindo a passagem de corrente elétrica. A Figura 12 ilustra esse esquema.



Figura 12 – Sensor magnético e ímãs de neodímio no anemômetro.



Fonte: Autoria própria.

Para que o anemômetro funcione corretamente, é necessário a implementação de um rotina de programação que conte a comutação entre os estados “Alto” e “Baixo” do sinal enviado pelo sensor magnético. Dessa forma, é possível saber quantas voltas o anemômetro deu, sem que o sentido da direção interfira ou, caso pare de ventar e o ímã pare em cima do sensor, não seja contado mais de uma volta.

Sabendo a quantidade de voltas, ou seja, a quantidade de revoluções por segundo (RPS), basta multiplicar o valor em RPS pelo comprimento da circunferência formada pelas pás, que se tem a quantidade em metros por segundo, ou seja, a velocidade do vento em m/s.

Neste anemômetro, cada pá mede 15,6cm, ou seja, o raio da circunferência formada pelas três pás mede 15,6cm. Dessa forma, o comprimento da circunferência é dado pela seguinte Equação 4.

$$C = 2 * \pi * R = 2\pi * 0.156 = 0,98m \quad (4)$$

De acordo com a Equação 4, se o anemômetro computar 1 rotação a cada segundo, a distância percorrida seria de 0,98m por segundo, ou seja, a velocidade do vento seria de 0,98 m/s (metros por segundo).

Pode ser adicionado mais ímãs no anemômetro, dessa forma é possível obter uma maior precisão nas leituras. Neste caso, é necessário garantir que os ímãs estejam espaçados igualmente e que o valor final das leituras seja dividido pela quantidade de ímãs.

Caso seja usado somente um ímã, a menor velocidade computada será de 0,98 m/s. Usando dois ímãs, igualmente espaçados, a menor velocidade computada seria de 0,49 m/s, para 4 ímãs seria de 0,245 m/s e assim por diante.

Neste trabalho, devido à quantidade limitada de ímãs, serão usados somente 2 ímãs na construção do anemômetro.

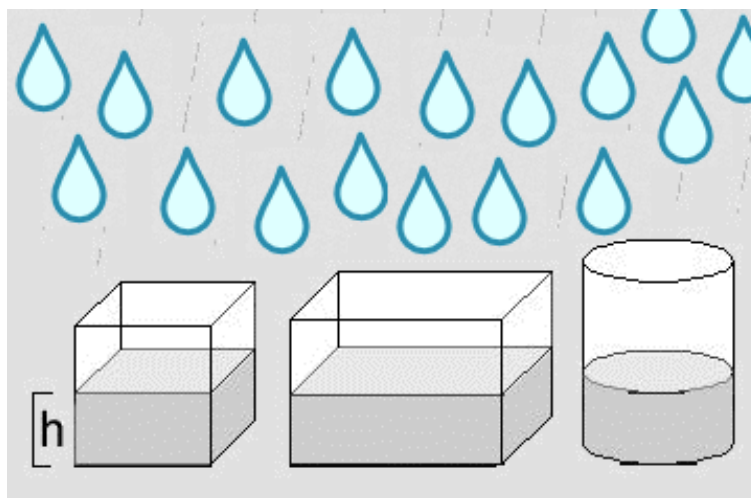
### **3.3.2 Montagem do Pluviômetro**

Assim como no anemômetro, este trabalho deu prioridade para o desenvolvimento de um pluviômetro com materiais de baixo custo, uma vez que seu funcionamento é bem simples e os materiais necessário para construção de um pluviômetro são de fácil acesso.

Basicamente é necessário para construção do pluviômetro um recipiente para a coleta da água da chuva e um mecanismo que conte sempre que um determinado volume de água passar pelo recipiente.

Se em uma determinada região está chovendo e for colocado dois recipientes planos com áreas diferentes na chuva no mesmo instante para coletar a água, pode se notar que depois de alguns minutos ambos os recipientes estarão com a mesma coluna de água, ou seja, a altura formada pela camada de água nos dois recipientes serão iguais, mas o volume de água será diferente, uma vez que as áreas dos recipientes são diferentes. No entanto, se por acaso tivesse caído 1mm de chuva nessa região, seria correto afirmar que em ambos os recipientes choveu uma coluna de água é de 1mm. A Figura 13 ilustra esse princípio.

Figura 13 – Princípio de funcionamento do pluviômetro.



Fonte: Adaptado de Martinm, 2013.

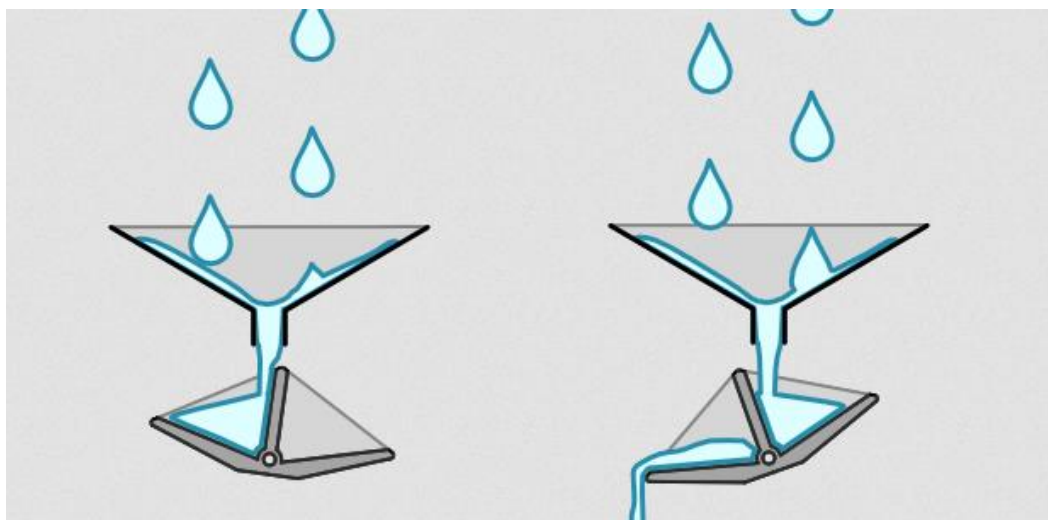
Basicamente, se o recipiente for cilíndrico ou retangular, o que importa para a construção de um pluviômetro é o conhecimento da área da boca do recipiente onde será coletado a chuva, pois esse é o único limitador da quantidade de chuva que cairá no recipiente de medição.

Por esse motivo, para a construção de um pluviômetro é recomendado escolher um recipiente que seja fácil encontrar a área de sua abertura e o volume necessário para se formar uma coluna de 1mm de água e que a formação dessa coluna seja rápida, por esse motivo a grande maioria dos pluviômetros são pequenos, geralmente com área de abertura circular ou retangular.

O pluviômetro de caçamba é composto por um recipiente cilíndrico e um funil em seu interior. Toda a água da chuva que entrar pela parte superior do cilindro será drenada pelo funil para um sistema de gangorra contendo duas pequenas caçambas. Quando a água drenada pelo funil encher a primeira caçamba, seu peso tombará a gangorra para um lado, acionando um sensor que efetuará uma contagem. Neste mesmo instante, a caçamba da outra extremidade encherá até que tombe para o sentido oposto, permitindo que o sensor efetue mais uma contagem. A Figura 14 ilustra o funcionamento do pluviômetro de caçamba.



Figura 14 – Funcionamento de um pluviômetro de caçamba.

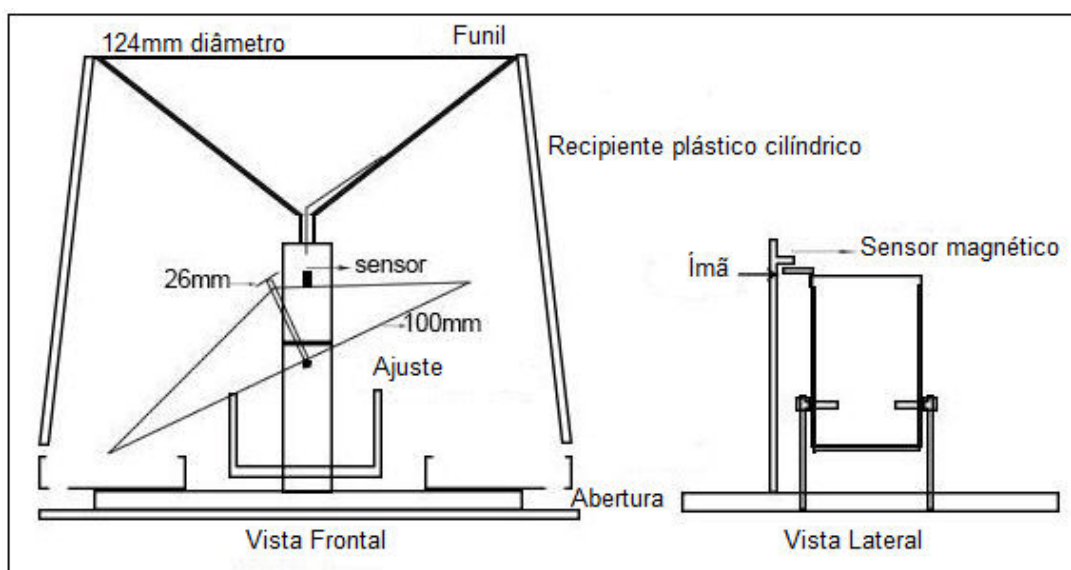


Fonte: Adaptado de Martinm, 2013.

Na gangorra é colocado um ímã de neodímio e na base um sensor magnético. Assim, sempre que uma das caçambas entornarem será contado uma interação. Sabendo a quantidade de interações, a quantidade de caçambas necessárias para encher um volume de água formado pela área da boca do recipiente e uma altura de 1mm, é possível calcular a quantidade de chuva em milímetros em um determinado instante.

Na Figura 15 é possível ver o esquemático de um pluviômetro de caçamba.

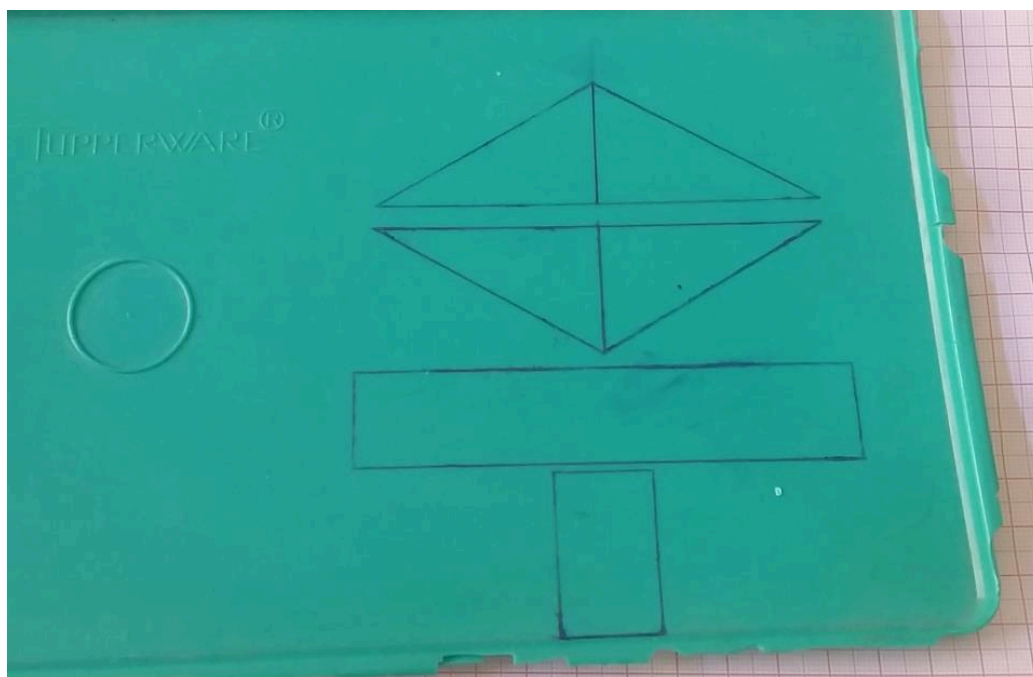
Figura 15 – Pluviômetro de caçamba.



Fonte: Adaptado de Lopez e Villaruz (2015).

Para montar a caçamba do pluviômetro foi utilizado a tampa plástica de um recipiente facilmente encontrado em casa ou supermercados. Na tampa foi desenhado dois triângulos com base de 10 cm e altura de 3 cm cada, um retângulo de 10x2cm e mais um retângulo de 3x2cm como indica a Figura 16.

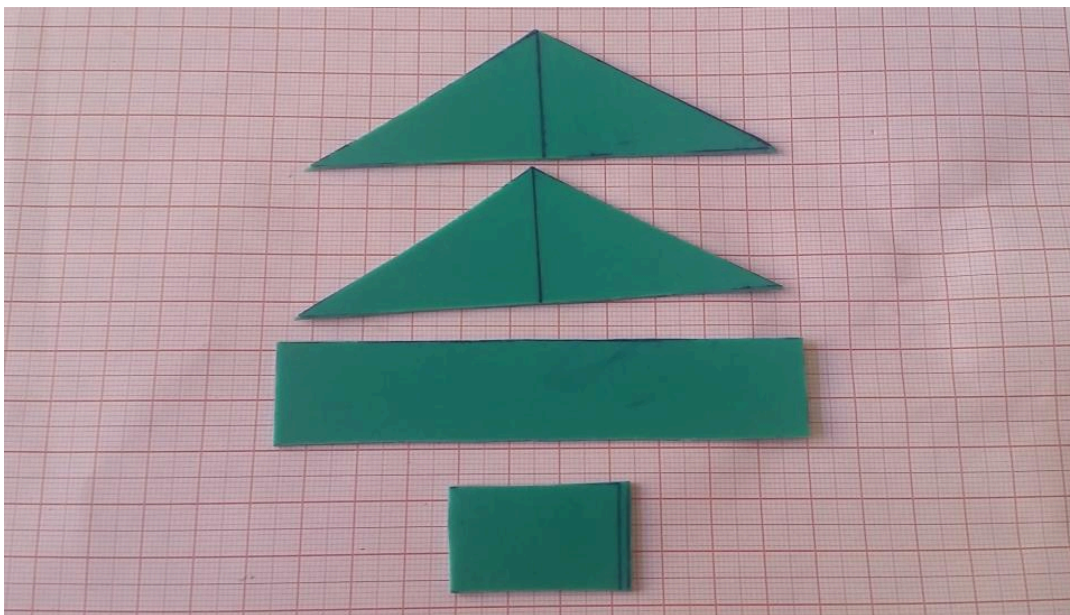
Figura 16 – Desenhando as partes necessárias para a construção da caçamba.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 17 ilustra os pedaços recortados da tampa plástica e lixados nas bordas para facilitarem à aderência da cola.

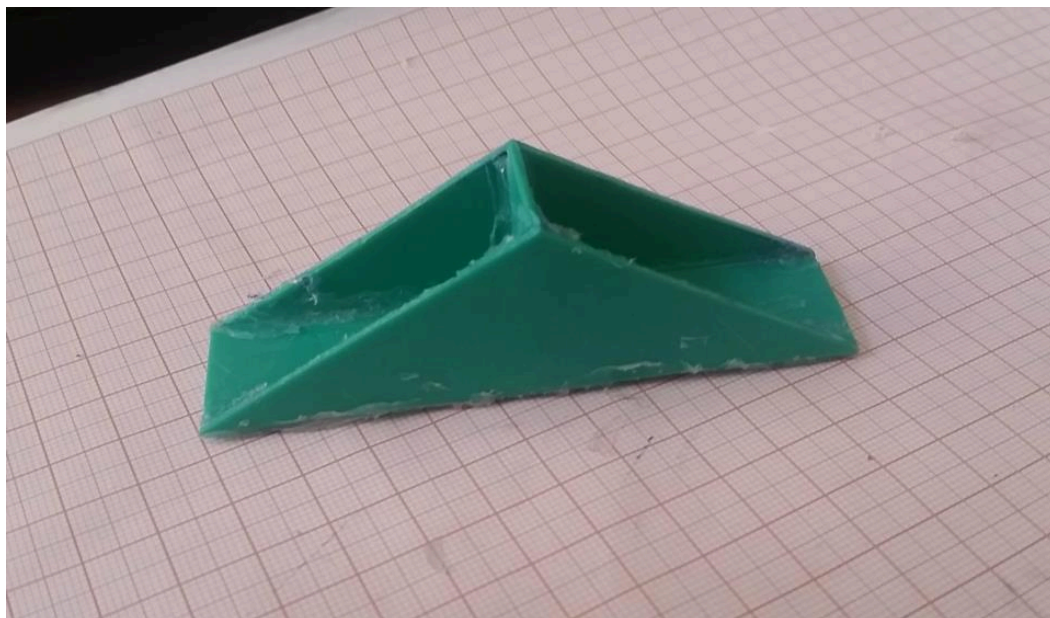
Figura 17 – Partes da caçamba já cortadas.



Fonte: Autoria própria.

Os pedaços foram colados usando cola silicone para formar uma caçamba triangular, semelhante à Figura 15. O resultado é ilustrado na Figura 18.

Figura 18 – Caçamba montada.

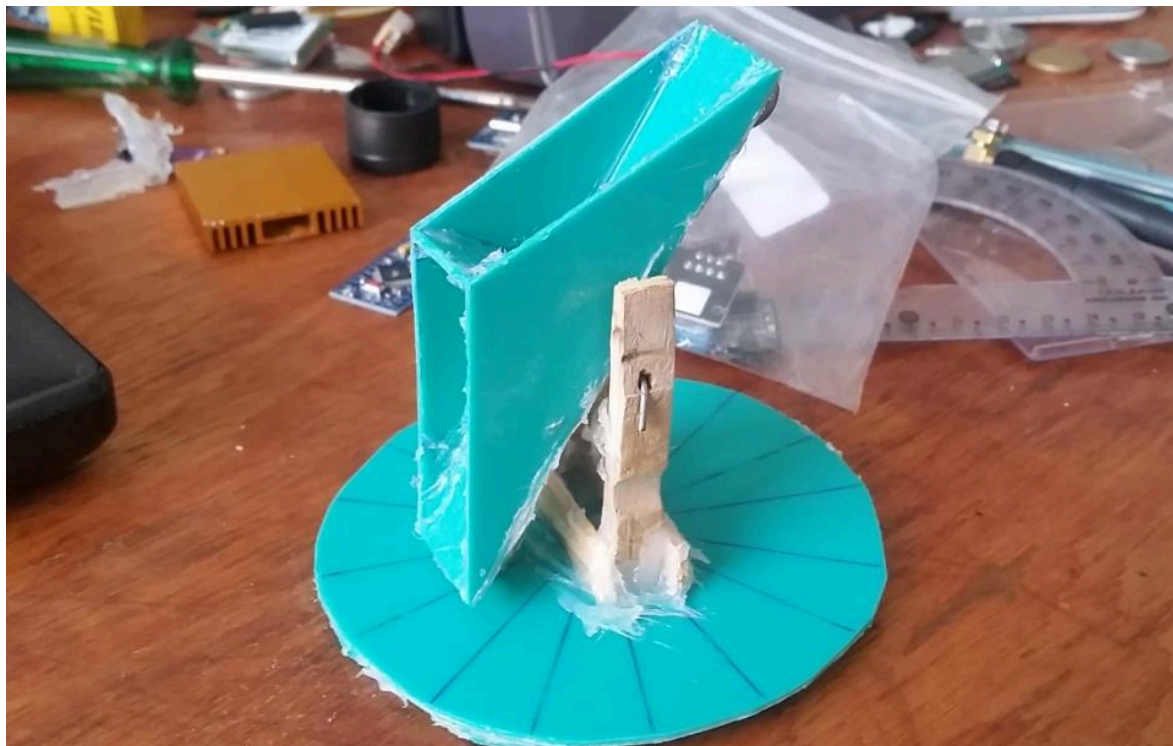


Fonte: Autoria própria.

Para segurar a caçamba foi montado uma base usando pregadores de roupa e arame galvanizado, ambos resistentes a água. Na parte de baixo da caçamba foi

colado um pedaço de tubo interno de caneta por onde irá passar um eixo feito de arame galvanizado. Dessa forma a caçamba pode tombar para os lados com a força da água. A Figura 19 ilustra a caçamba fixada na base.

Figura 19 – Caçamba fixada na base.



Fonte: Autoria própria.

Para finalizar a construção do pluviômetro de caçamba é necessário fixar na base um sensor que consiga contar quantas vezes a caçamba tomba para ambos os lados. O sensor usado neste trabalho será um sensor magnético de lâminas, juntamente com um pequeno ímã na parte superior da caçamba. Dessa forma, quando a caçamba entornar para um lado, o ímã passará pelo sensor computando uma contagem. O mesmo será feito quando ela tombar para o outro lado.

A Figura 20 ilustra os locais onde foram fixados o sensor e o ímã de neodímio.



Figura 20 – Caçamba e base com sensor magnético e ímã.



Fonte: Autoria própria.

Após a colocação do sensor e do ímã no sistema de caçambas, o mesmo foi fixado em um recipiente plástico cilíndrico com a tampa cortada e encaixada em um pedaço de garrafa pet formando um funil. A Figura 21 ilustra o pluviômetro pronto.

Figura 21 – Pluviômetro pronto.



Fonte: Autoria própria.

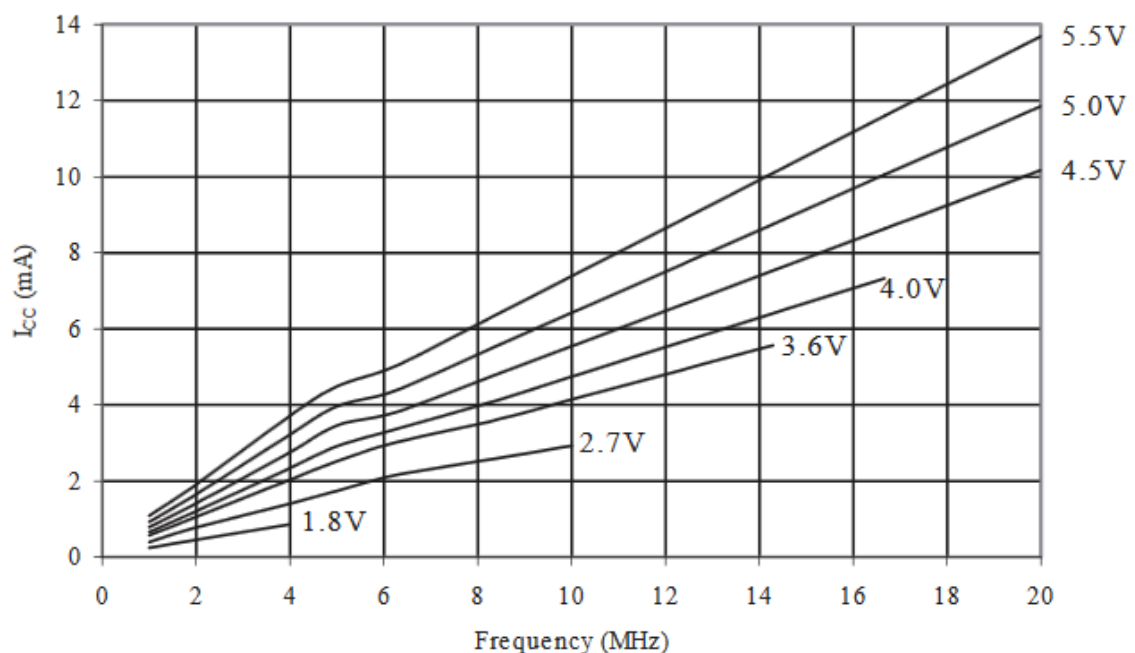
Este funil levará as gotas de chuva até o sistema de caçambas.

### 3.3.3 Modificação do Arduino para baixo consumo de energia

Antes da configuração dos sensores é necessário fazer algumas modificações no Arduino Pro Mini para diminuir o consumo de energia.

O Arduino Pro Mini é baseado no microcontrolador ATmega328P e este microcontrolador a 8MHz consome menos de 4mA em seu modo ativo padrão em 3.6V, segundo a Atmel (2017) como indica a Figura 22.

Figura 22 – Gráfico  $I_{CC}$  x Frequência do Atmega328p.



Fonte: Atmel (2017).

No entanto, o Arduino Pro Mini é uma plataforma microcontrolada que, além do microcontrolador, possui outros componentes que aumentam seu consumo de energia como o regulador de tensão e o LED que indica que o Arduino está conectado a uma fonte de energia. Este Arduino Pro Mini a 8MHz consome, sem nada em suas portas, aproximadamente 5.52mA. Valor encontrado medindo com o multímetro na escala de miliampère como indica a Figura 23.

Comparando este valor medido no multímetro com o valor indicado na Figura 22, é possível constatar que aproximadamente 2mA está sendo gasto com os outros componentes da plataforma microcontrolada, principalmente pelo LED que indica que o Arduino está ligado e pelo regulador de tensão.

Figura 23 – Consumo do Arduino Pro mini.



Fonte: Autoria própria.

Se somente o Arduino, na configuração mencionada acima, fosse alimentado por uma bateria de 3.6V de 2000mAh, ele ficaria ativo por aproximadamente 14 dias, um intervalo de tempo muito pequeno para manter ativo apenas um Arduino.

No entanto, é possível diminuir o consumo da plataforma microcontrolada sem fazer modificações físicas no circuito. Isso é possível, pois o Atmega328P e outros microcontroladores possuem modos de economia de energia. Basicamente, além do modo padrão, o Atmega328P possui o modo “Economia de energia” e “Repouso”. Colocando o microcontrolador em um destes modos de economia de energia, o consumo do microcontrolador cai significativamente como indica a Tabela 4 adaptada do manual do microcontrolador Atmega328p (Atmel, 2017).

Tabela 4 – Modos de economia de energia do Atmega328p.

| Símbolo  | Parâmetro                | Condições                     | Típico | Max | Uni. |
|----------|--------------------------|-------------------------------|--------|-----|------|
| $I_{CC}$ | Modo Economia de Energia | 32KHz, TOSC Habilitado, V= 3V |        | 0.9 | uA   |
|          | Modo Repouso             | WDT Habilitado, V=3V          | 4.2    | 8   |      |

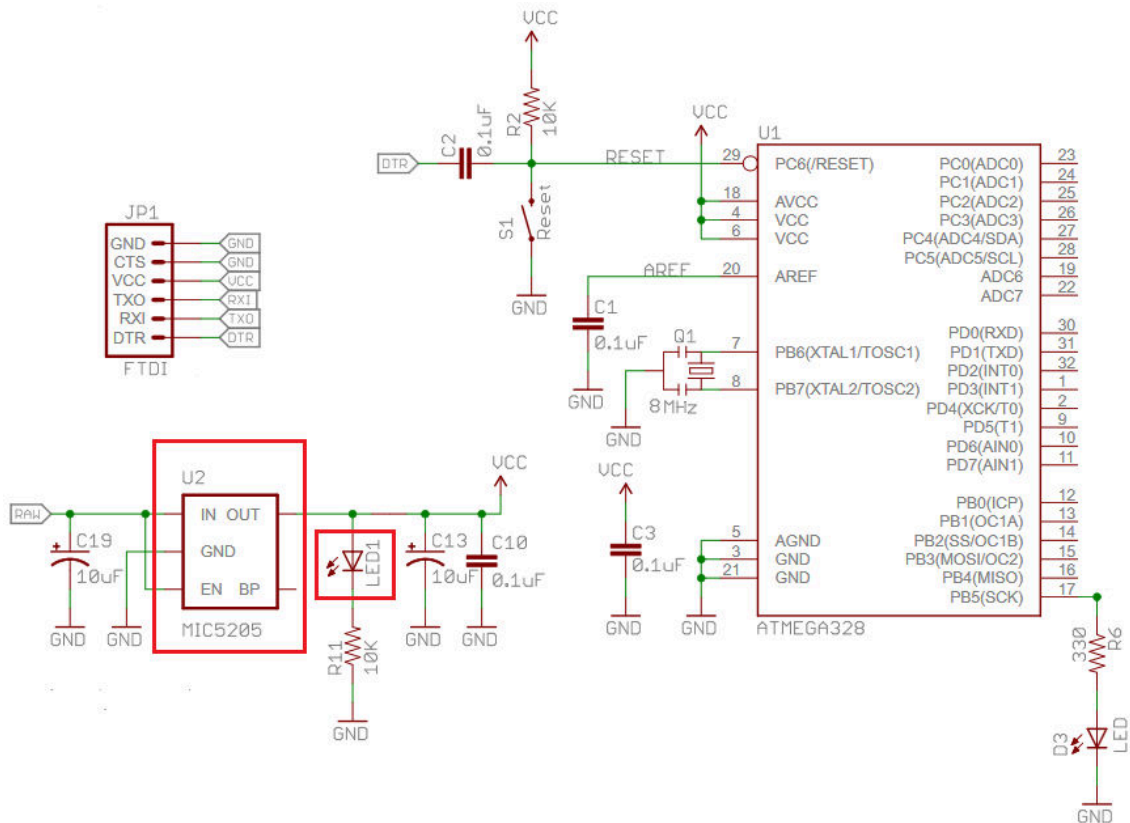
Fonte: Adaptado de Atmel (2017).

Um Atmega328P na configuração Repouso com Cão de Guarda (WDT na sigla em inglês para WatchDog) habilitado e alimentado por uma bateria de 3.6V de 2000mAh, ficaria ativo por mais de 50 anos, considerando uma caso hipotético em que a bateria suportasse sua carga por tanto tempo. Logicamente, como o circuito não é composto somente pelo microcontrolador, este valor seria menor, devido ao consumo dos outros componentes.

Para evitar o consumo por componentes desnecessários e conseguir chegar em um valor de consumo que permita o Arduino e toda estação funcionar alimentada por bateria por mais tempo, neste trabalho será removido todos os componentes que não são necessários para o funcionamento da estação, no caso do Arduino, será removido o LED e o regulador de tensão.

Como pode ser visto no circuito esquemático do Arduino Pro Mini, retratado na Figura 24, essa versão possui dois LEDs. O primeiro LED, destacado no retângulo, serve para indicar que o Arduino está conectado a uma fonte de energia. No circuito também consta um regulador de tensão, também destacado em um retângulo.

Figura 24 – Circuito eletrônico do Arduino Pro Mini.



Fonte: Elaborado pelo autor.



Para desativar o LED1 do Arduino é necessário somente cortar a parte da trilha que o liga ao resistor R11 e ao terra, como indica a Figura 24. Já para remover o regulador de tensão MIC5205 é necessário remover o componente com ferro de solda, ar quente ou com cortar seu conectores com um estilete.

Para colocar o Atmega328P em Repouso não é necessário fazer nenhuma modificação no hardware, tudo é feito via software passando as instruções correspondentes. É necessário usar as bibliotecas Sleep, Power e WDT para microcontroladores AVR. Quando é instalado o Arduino ou o pacote AVR essas bibliotecas são instaladas automaticamente. Também é possível usar a biblioteca Low-Power para Arduino (RocketScream,2017).

A Figura 25 ilustra um programa básico necessário para colocar o Atmega328p em Repouso por 8s. Essa instrução usa o *WatchDog* para resetar o microcontrolador após passar 8s e assim sair do Modo Repouso.

Figura 25 – Modo de economia de energia com WatchDog.

```
#include <LowPower.h>

void setup()
{
    // Configurações iniciais...
}

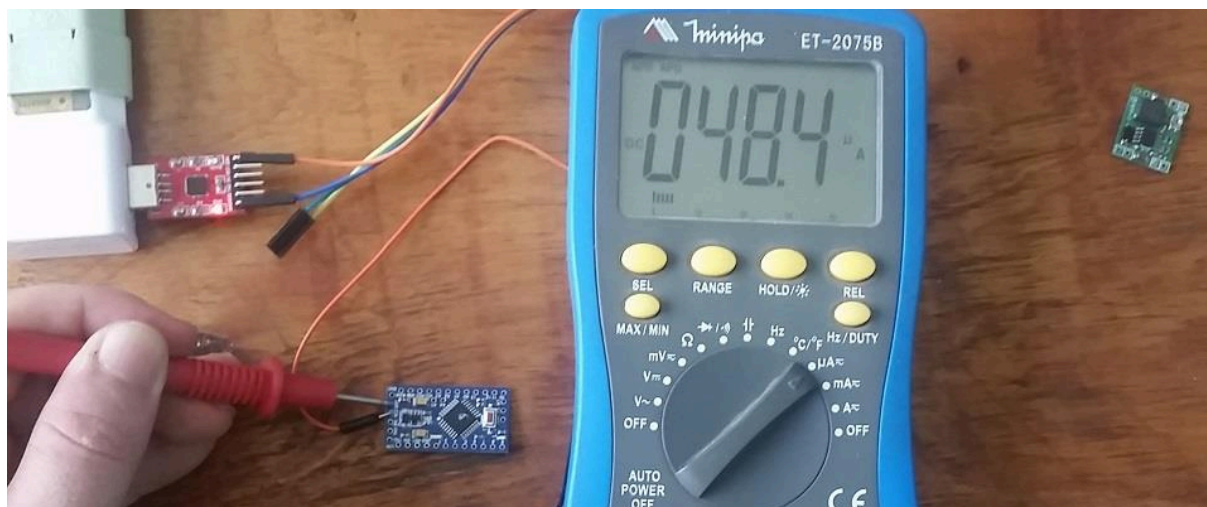
void loop()
{
    // Fica no modo Power Down por 8s com ADC e modulo BOD desabilitados
    LowPower.powerDown(SLEEP_8S, ADC_OFF, BOD_OFF);

    // Quando passar os 8s será executado tudo que estiver aqui...
}
```

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesta configuração e com somente o LED removido, a corrente máxima na plataforma microcontrolada passou de 5.52 miliampère (mA) para 48.4 microampère (uA), como indica a Figura 26 com a escala do multímetro configurada para uA.

Figura 26 – Teste de consumo em sleep mode sem LED.



Fonte: Autoria própria.

Para os testes com o regulador removido é necessário a utilização de um multímetro destinado para medição em uA, pois este modelo utilizado é limitado para essa aplicação.

### 3.3.4 Configuração e montagem do BME280

O BME280 pode operar em três modos de operação, sendo eles: Modo Repouso, Modo Normal e Modo Forçado. Segundo a Bosch (2017), o Modo Forçado é o mais indicado para aplicações envolvendo estações meteorológicas e semelhantes, como indica a Tabela 5. Por esse motivo, essas serão as configurações adotadas neste trabalho para o BME280.

Tabela 5 – Configuração do BME280 indicada para a EMA .

| Sugestão de configurações para monitoramento climático |                                      |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Modo do sensor:                                        | Modo forçado; 1 amostra / minuto     |
| Amostras:                                              | Pressão*1; Humidade*1; Temperatura*1 |
| IIR Filtro:                                            | Sem filtro                           |
| Performance                                            |                                      |
| Corrente:                                              | 0.16uA                               |
| Ruído RMS:                                             | 3.3Pa/30cm; 0.07%RH                  |
| Taxa da saída:                                         | 1/60Hz                               |

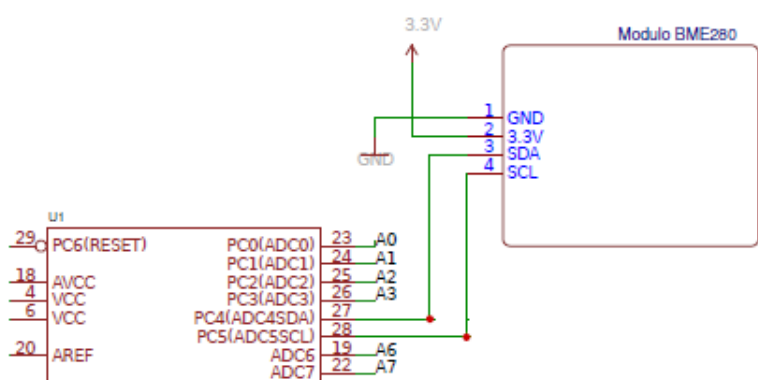
Fonte: Adaptado de Bosch (2017).

No Modo Forçado, o BME280 executa apenas um conjunto de medições (Temperatura, Humidade, Pressão) e entra em Modo Repouso, o modo deve ser seleccionado novamente para realizar um novo conjunto de medições. Os dados das medições são obtidos via registradores de dados. Esse modo é recomendado para aplicações onde o consumo de energia é um fator determinante e a taxa de amostragem é baixa (Bosch, 2017).

Para utilizar o BME280 com microcontroladores e microprocessadores, a Bosch disponibiliza um conjunto de bibliotecas para implementar o BME280 em projetos (Bosch, 2017c). Para Arduino existe a biblioteca desenvolvida pelo Embedded Adventures que permite a modificação entre os modos de operação do BME280 (Embedded Adventures, 2017).

O circuito de ligação do módulo com sensor BME280 e o Arduino é ilustrado na Figura 27. Como o BME280 do módulo opera sobre a interface de comunicação I2C, basta ligar os pinos SDA e SCL do Arduino nos respectivos pinos SDA e SCL do sensor e também ao 3.3V e ao GND para estabelecer comunicação, como indica a Figura 27.

Figura 27 – Circuito de montagem do sensor BME280.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A medição de temperatura, pressão e humidade com o BME280 no Modo Forçado, usando a biblioteca do Embedded Adventures (2017), é ilustrado na Figura 28.

Figura 28 – Configuração do BME280.

```

#include <BME280_MOD-1022.h>
#include <avr/dtostrf.h>
#include <Wire.h>

void setup()
{
  Wire.begin(); Serial.begin(115200);
}
void loop()
{
  BME280.readCompensationParams(); // Compensação dos parametros
  // Configurações necessárias para o Forced Mode. Obs filtro desativado!
  BME280.writeOversamplingPressure(oslx); // 1x amostra pressão
  BME280.writeOversamplingTemperature(oslx); // 1x amostra temperatura
  BME280.writeOversamplingHumidity(oslx); // 1x amostra umidade
  BME280.writeMode(smForced); // Entra no Forced Mode
  while (BME280.isMeasuring()) {
  }
  BME280.readMeasurements(); // Faz a leitura dos dados e depois imprime na tela!
  Serial.print("Temperatura: "); Serial.println(BME280.getTemperatureMostAccurate());
  Serial.print("Umidade: "); Serial.println(BME280.getHumidityMostAccurate());
  Serial.print("Pressao: "); Serial.println(BME280.getPressureMostAccurate());
}

```

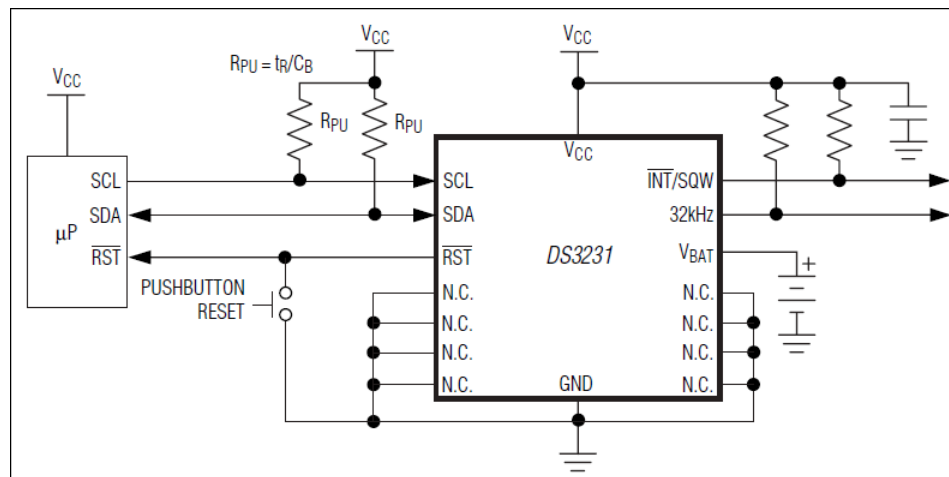
Fonte: Elaborado pelo autor.

Somente a configuração do BME280 está descrita na código da Figura 28.

### 3.3.5 Configuração e montagem do RTC

O módulo RTC com chip DS3231 opera sobre o protocolo I2C, sendo necessário, além da alimentação, somente dois pinos do Arduino, uma para o SDA e outro para SCL, como indica a Figura 29.

Figura 29 – Circuito eletrônico mínimo do DS3231.



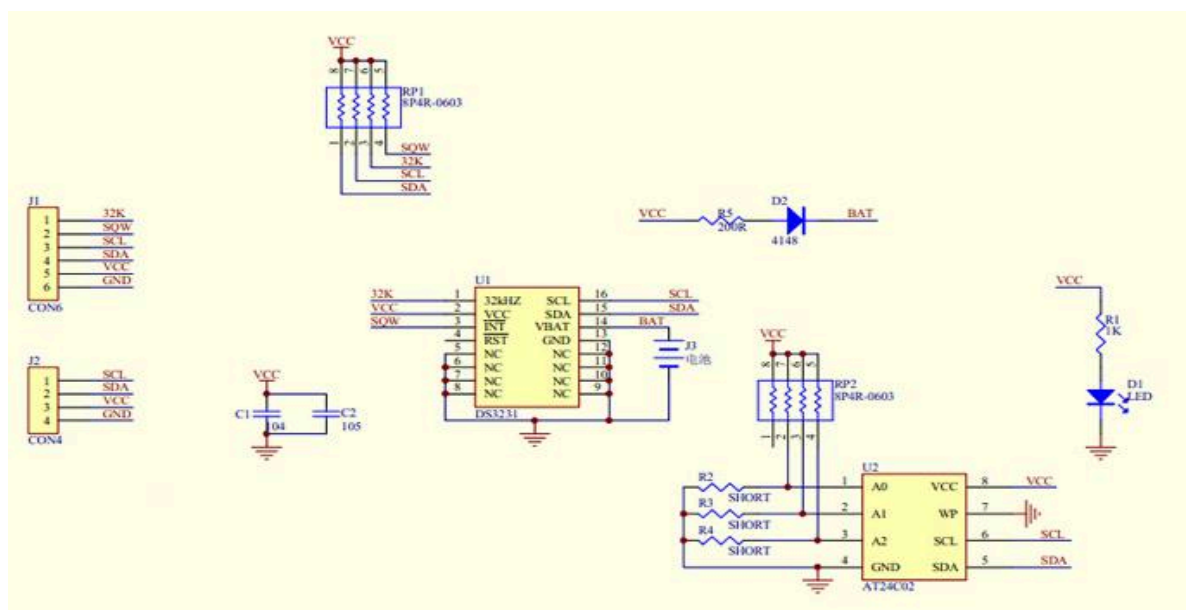
Fonte: Maxim (2017b).

Como indica a Figura 29, os pinos SDA e SCL do DS3231 são ligados nos pinos SDA e SCL do microcontrolador. No caso do Arduino, esses pinos são o A4 (SDA) e A5 (SCL). O pino SQW do módulo pode ser usado como alarme para ativar o microcontrolador em um determinado instante de tempo. Neste trabalho o pino SQW será usado como interrupção externa para o microcontrolador a cada 1 minuto.

Para programação do módulo RTC é usado a biblioteca desenvolvida por Christensen (2017) para o módulo DS3232, sendo compatível para o módulo DS3231 que é o utilizado neste trabalho. Um código básico para configuração do módulo está disponível no ANEXO 2.

O módulo RTC conta com um LED para indicar que ele está em operação e um circuito com diodo e resistor para recarregar a bateria de reserva que pode ser acoplada ao módulo como indica a Figura 30.

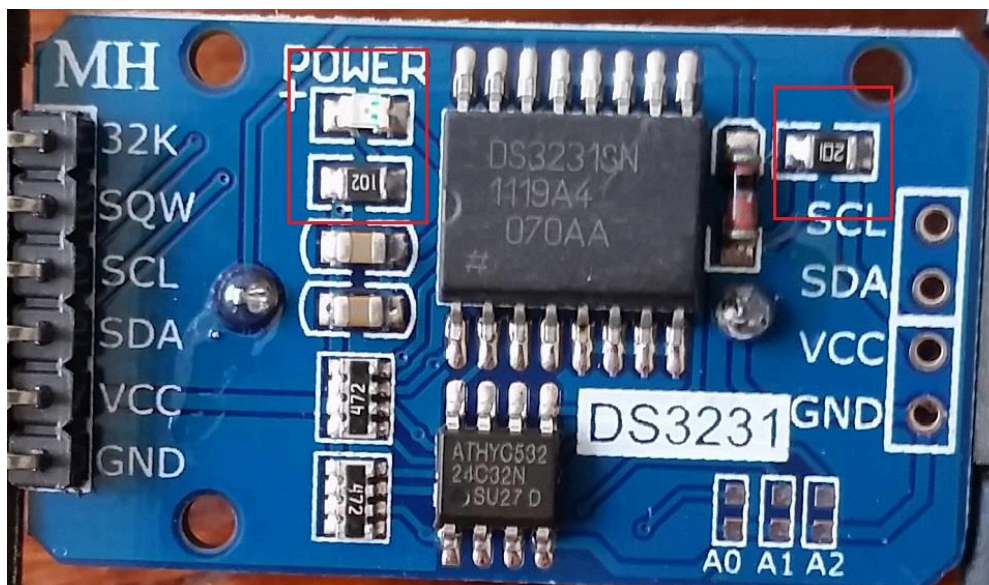
Figura 30 – Circuito do módulo com DS3231.



Fonte: Banggood, 2017.

Neste trabalho a trilha que liga o resistor R1 ao LED D1 e a trilha que liga o resistor R5 ao diodo D2 do módulo foram cortadas para desabilitar o LED e o circuito de recarga, diminuindo assim o consumo da bateria do sistema principal pelo módulo, uma vez que o LED ficaria sempre ativo. Neste projeto também não será usado bateria reserva recarregável para o módulo RTC. A Figura 31 destaca os pontos de cortes para desativar os componentes.

Figura 31 – Componentes a serem removidos.



Fonte: Autoria própria.

### 3.3.6 Configuração e montagem do Sensor UV

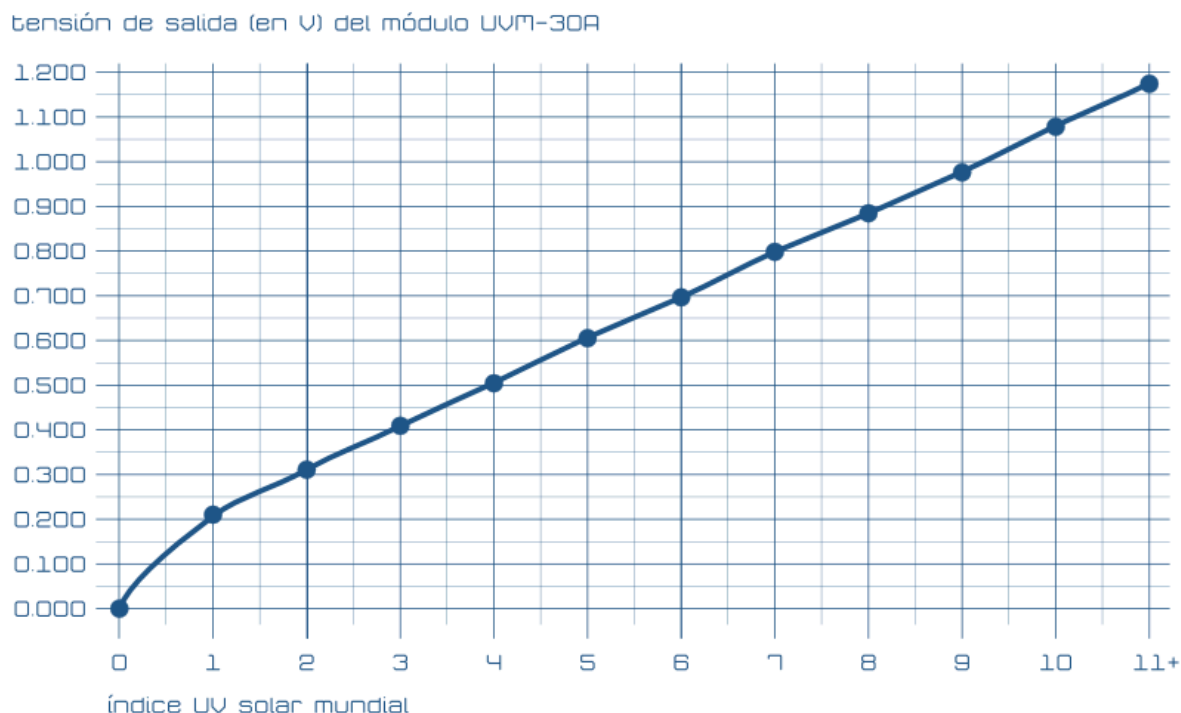
A saída do sensor UV é um sinal analógico de 0 a 1200mV. Portanto, a configuração do sensor com o microcontrolador é bastante simplificada, não necessitando de nenhuma biblioteca ou circuito especial para receber os dados, bastando alimentar o sensor e ligar o pino de sinal em uma das entradas analógicas do Arduino.

A programação do Arduino para receber os dados do sensor UV é baseada na recepção de um sinal analógico que depois de passar pelo conversor analógico-digital (ADC) é interpretada pelo microcontrolador como um valor de 0 a 1023, pois o Atmega328p possui um conversor ADC de 10bits. Dessa forma, para saber qual é o valor da saída do sensor em mV, basta aplicar a seguinte Equação 5.

$$Sensor_{mV} = \frac{EntradaAnalógica * 3.3}{1024} * 1000 \quad (5)$$

A relação entre os valores de tensão obtidos pelo módulo e o índice ultravioleta estipulado pela Organização Mundial da Saúde é dado pela Figura 32.

Figura 32 – Relação entre tensão em mV e índice UV.



Fonte: (Ventura, 2017).

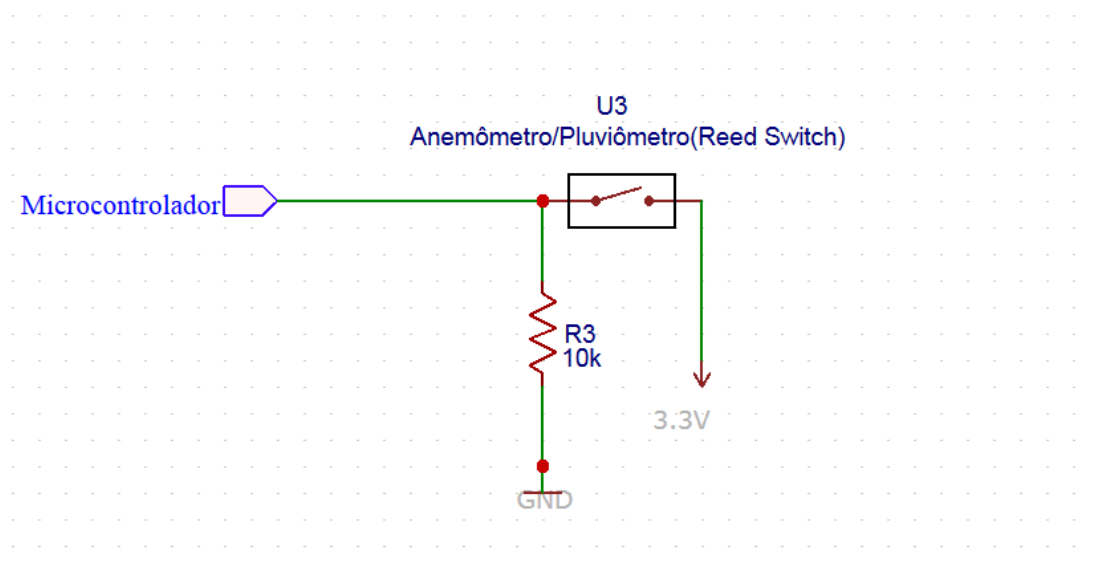
Para cada intervalo em mV é criado uma condição (if) na programação para corresponder ao índice UV. Por exemplo, para qualquer valor de tensão fornecido pelo sensor entre 600mV e 699mV, a estação indicará o índice UV de 5.

### 3.3.7 Programação do Anemômetro e Pluviômetro.

O anemômetro e o pluviômetro utilizam interruptores de lâminas para efetuarem a medição da velocidade do vento e da quantidade de chuva, respectivamente. A ligação de ambos os dispositivos com o microcontrolador é dado de acordo com a Figura 33.



Figura 33 – Reed switch usando no anemômetro e no pluviômetro.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O pluviômetro vai operar utilizando interrupção externa, uma vez que é necessário garantir que o microcontrolador não esteja ocupado executando outra tarefa quando uma das caçambas do pluviômetro movimentarem para um dos lados. Dessa forma, o pluviômetro deve ser conectado no pino 2 ou 3 do Arduino, pois são esses os pinos destinados às interrupções externas. A programação do Arduino para o pluviômetro fica ilustrada na figura 34.

Figura 34 – Lógica de configuração para o anemômetro e pluviômetro.

```
volatile unsigned long contador = 0;
volatile float chuva;
void pluviometro() {
    contador++;
}

void setup() {
    // Aqui vai as outras configurações de outros sensores...
    Serial.begin(115200);
    attachInterrupt(0, pluviometro, RISING); //Interrupção INT0 (Pino 2) em borda de subida
    sei(); // Habilita interrupção
}

void loop() {
    // Aqui vai as outras configurações de outros sensores...
    chuva = contador/7;
    Serial.print(chuva); Serial.println(" mm");
    delay(1000);
}
```

Fonte: Elaborado pelo autor.



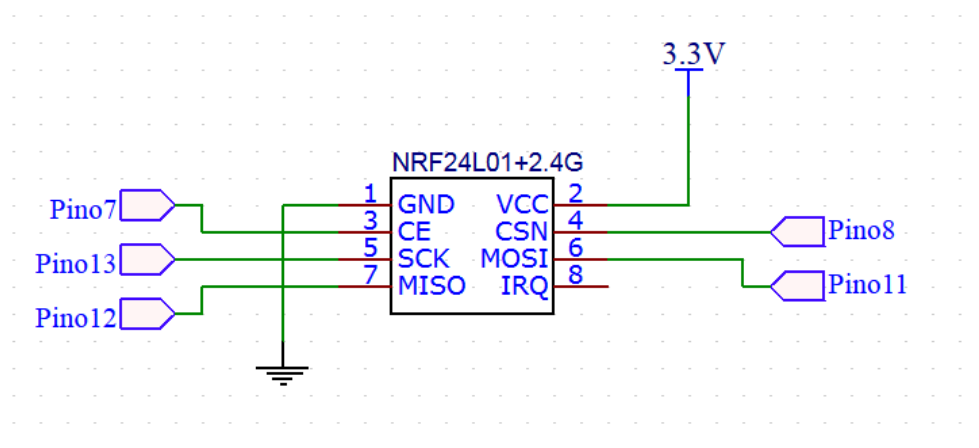
Quando ocorre uma interrupção, ou seja, uma das caçambas do pluviômetro se desloca para um dos lados, a função pluviômetro é executada. Essa função incrementa a contagem, ou seja, conta quantas caçambas foram enchidas e derramadas. Para o recipiente cilíndrico usada neste projeto, uma coluna de 1mm de água representa exatamente 7 caçambas. Dessa forma, cada contagem representa um acréscimo de 0.1428 mm.

A configuração do anemômetro pode ser feita usando interrupção ou criando uma função para ler a quantidade de rotações por segundo, ou seja, o estado do sensor de lâminas do anemômetro por 1 segundo. A quantidade de rotações deve ser dividida pelo número de ímãs e depois multiplicada pelo comprimento da circunferência do anemômetro. Dessa forma é possível encontrar o valor em metros por segundo (m/s).

### 3.3.8 Configuração dos módulos transceptores

Os módulos transceptores com chips nRF24L01+ operam sobre a interface de comunicação SPI. Desta forma os pinos MOSI, MISO, SCK dos módulos devem ser fixados obrigatoriamente nos pinos 11,12 e 13 do Arduino, pois representam, respectivamente os pinos MOSI, MISO e SCK do Arduino Pro Mini, obrigatórios para estabelecer a comunicação via SPI. Já os pinos CE e CSN podem ser ligados a qualquer outros pinos digitais. A Figura 35 ilustra a ligação entre o módulo e os pinos do Arduino.

Figura 35 – Esquema de ligação do transceptor.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A mesma ligação deve ser feita tanto para o módulo fixo na estação atuando como transmissor, quanto para o módulo atuando como receptor.

Para a programação do módulo transceptor é necessário a utilização da biblioteca RF24 (Charl Thiem, 2017) e da bibliotecas SPI presente na IDE do Arduino (Arduino, 2017). A Figura 36 demonstra a configuração necessária para enviar uma frase com o módulo.

Figura 36 – Programação básica para o módulo transmissor.

```
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
RF24 transmissor(7, 8); // Pinos CNS, CE
const uint64_t endereco = 0xE8E8F0F0E1LL; // Pode ser modificado
void setup() {

    transmissor.begin();
    //transmissor.setPALevel(RF24_PA_MIN); // Baixa potência
    transmissor.setPALevel(RF24_PA_MAX); // Máxima potência, maior distância, maior consumo...
    transmissor.setDataRate(RF24_250KBPS); // 250Kbps, 1Mbps ou 2Mbps
    transmissor.openReadingPipe(0, endereco);
    transmissor.startListening();
}
void loop() {
    const char frase[] = "Teste TCC";
    transmissor.write(&frase, sizeof(frase));
    delay(1000);
}
```

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao setar o nível no amplificado de potência com o comando RF24\_PA\_MAX o alcance do módulo aumentará, mas também aumentará o consumo quando estiver ativo. Diminuindo a largura de banda do módulo para 250Kbps também melhora a performance.

O código para o receptor é bastante parecido, bastando modificar poucas linhas como indicado na Figura 37.

Figura 37 – Configuração básica para o módulo receptor.

```
RF24 receptor(7, 8); // Pinos CNS, CE
const uint64_t endereco = 0xE8E8F0F0E1LL; // Pode ser modificado
void setup() {
    Serial.begin(115200);
    receptor.begin();
    //receptor.setPALevel(RF24_PA_MIN); // Baixa potência
    receptor.setPALevel(RF24_PA_MAX); // Máxima potência, maior distância, maior consumo...
    receptor.setDataRate(RF24_250KBPS); // 250Kbps, 1Mbps ou 2Mbps
    receptor.openReadingPipe(0, endereco);
    receptor.startListening();
}
void loop() {
    if (receptor.available()) {
        char frase[32] = "";
        receptor.read(&frase, sizeof(frase));
        Serial.println(frase);
    }
}
```

Fonte: Elaborado pelo autor.

O endereço (pipe) deve ser o mesmo para ambos os transceptores. O endereço pode ser escolhido pelo programador. Na prática, no lugar de enviar uma frase, serão enviados os dados captados pela estação armazenados em suas respectivas variáveis.

### 3.3.9 Configuração do módulo GNSS

Para receber os dados em formato NMEA do receptor GNSS não é necessário nenhuma biblioteca, bastando desenvolver um programa para leitura serial. No entanto, para facilitar a análise dos dados do arquivo NMEA, será utilizado a biblioteca TinyGPSPlus (Mikal Hart, 2017) e a biblioteca SoftSerial (2017).

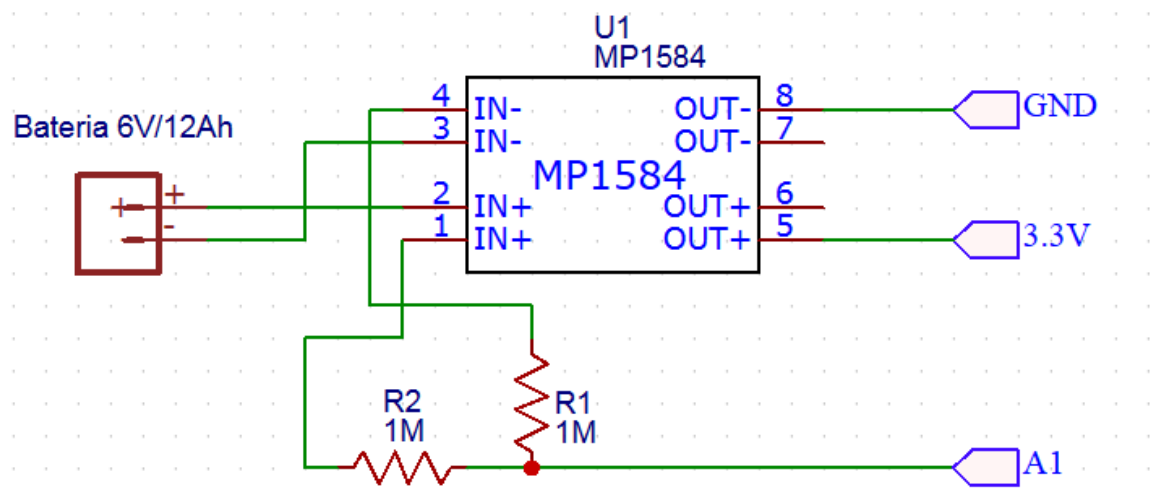
O receptor GNSS permite obter além dos dados de posicionamento, a hora e data de forma satisfatória. No entanto, o consumo de energia deste receptor em seu modo normal é superior ao do RTC, por esse motivo o receptor GNSS será utilizado somente para captura da localização da estação e depois será desabilitado.

### 3.3.10 Configuração do circuito de alimentação

O circuito de alimentação da estação é detalhado na Figura 38. O circuito é composto por uma bateria de chumbo ácido de 6V com capacidade de 12Ah usada em alarmes e cercas elétricas, um conversor de corrente contínua abaixador

(conversor dc buck) MP1584 com regulação automática configurada para 3.3V, ou seja, independentemente do valor de entrada no conversor, sempre sairá 3.3V na saída, desde que a entrada seja ao menos 0.5V maior que 3.3V.

Figura 38 – Configuração do conjunto conversor – bateria.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O circuito é composto por um divisor de tensão alimentado diretamente pela bateria com terminal ligado na entrada analógica A1 do Arduino. Esse divisor de tensão servirá para monitorar a tensão da bateria e evitar que ela descarregue até um valor de tensão menor que o recomendado pelo fabricante.

Segundo a Unipower (2017), as baterias de chumbo ácido de 6V são compostas por 3 células de 2V. A tensão mínima por célula não deve ser menor de 1.75V, ou seja, a tensão mínima na bateria deve ser de 5.25V. Por esse motivo, e usando um fator de segurança, caso o valor da bateria seja menor que 5.6V, ou 2.8V no divisor, a estação passará a enviar junto com os dados um aviso que a bateria deve ser carregada. A configuração do divisor de tensão é igual ao do sensor UV.

### 3.3.11 Montagem do abrigo de proteção

Para proteger o circuito de controle e garantir que os sensores de temperatura, pressão e umidade estão captando os dados de forma correta sem interferência pelo contato direto com o sol ou com a chuva, foi desenvolvido um abrigo utilizando pratos plásticos brancos de melamina. A Figura 39 ilustra a construção do abrigo.

Figura 39 – Abrigo da EMA.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ainda de acordo com a Figura 39, o abrigo foi construído com 10 pratos plásticos com espaçamento de 2 centímetros entre eles. Essas aberturas no abrigo permitem que os sensores internos fiquem em contato com ar em volta e não sofram a exposição direta com o sol e a chuva. Esse modelo de abrigo é o mais utilizado nas estações meteorológicas automáticas profissionais vendidas no mercado.

Os pratos são furados no meio, com exceção dos dois últimos pratos superiores, dessa forma se tem uma proteção extra quando o sol estiver posicionado perpendicularmente ao abrigo.

O Arduino, sensor BME280, cartão de memória, receptor GNSS e o transmissor ficarão alojados dentro do abrigo.

### **3.3.12 Supervisório para recepção de dados**

Para atuar junto com o receptor e facilitar a recepção de dados foi desenvolvido um supervisório em C/C++ usando a plataforma de desenvolvimento QT Creator (QT, 2017a). O programa foi desenvolvido para plataforma Linux e é baseado na biblioteca

Qt Serial Port que possui um conjunto de funcionalidades que facilitam o desenvolvimento de soluções envolvendo comunicação serial (QT, 2017b).

O supervisor reconhece imediatamente o receptor conectado na porta USB, não necessitando definir qual a porta ou dispositivo. Isso é possível, pois a biblioteca Qt Serial Port permite encontrar o Vendor ID e o Product ID do dispositivo que faz a conversão USB/Serial. A Figura 40 ilustra as instruções para encontrar o Vendor ID e o Product ID.

Figura 40 – Instruções para encontrar o Vendor ID e Product ID de um dispositivo.

```
qDebug() << "Portas: " << QSerialPortInfo::availablePorts().length() << "\n";
foreach(const QSerialPortInfo &serialPortInfo, QSerialPortInfo::availablePorts()){
    qDebug() << "Descrição: " << serialPortInfo.description() << "\n";
    qDebug() << "Vendor ID: " << serialPortInfo.vendorIdentifier() << "\n";
    qDebug() << "Product ID: " << serialPortInfo.productIdentifier() << "\n";
}
```

Fonte: Elaborado pelo autor.

Depois de encontrar o Vendor ID e o Product ID, basta defini-los como constantes e fazer uma checagem se algum dispositivo conectado em alguma porta USB possui tais características, caso possua o programa estabelece comunicação. Este método garante que o programa só aceitará os dispositivos com tais características.

O supervisor é um executável simples e leve que mostra os dados do receptor de forma instantânea em uma interface gráfica ou também linha por linha como chega os dados de forma serial. O supervisor também permite salvar os dados em bloco de texto e não necessita de instalação, basta ser executado. O resultado final do supervisor será apresentado no Capítulo 4.

## 4 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados encontrados durante o desenvolvimento da estação meteorológica automática de baixo custo e os resultados dos dados de temperatura, umidade, velocidade do vento, pressão atmosférica, índice ultravioleta e pluviosidade.

### 4.1 TESTE DE ALCANCE DOS MÓDULOS TRANSCEPTORES

Foi realizado um teste de alcance com os módulos transceptores para verificar qual o alcance máximo na transmissão dos dados da estação. O teste foi feito enviando os valores de temperatura, pressão e umidade do sensor BME280.

Para a configuração em máxima potência, 0dB com o comando RF24\_PA\_MAX setado e largura de banda em 250Kbps com o comando RF24\_250KBPS, a distância máxima que o módulo alcançou em campo aberto foi de aproximadamente 579,37 metros, como indica a Figura 41 plotada no Google Maps (Google, 2017).

Figura 41 – Alcance máximo em máxima potência.



Fonte: Elaborado pelo autor com base no Maps do Google (2017).

As informações enviadas pelo transmissor foram recebidas pelo receptor sem erro ou perda de dados, mas a distância alcançada foi menor que os 1100 metros indicados pelo fabricante dos módulos. O teste foi feito com a antena que acompanha o módulo.

Modificando o percurso do teste para o informado na figura 41, o receptor não conseguiu mais receber os dados. A configuração foi a mesma do teste anterior.

Figura 42 – Perda de sinal.

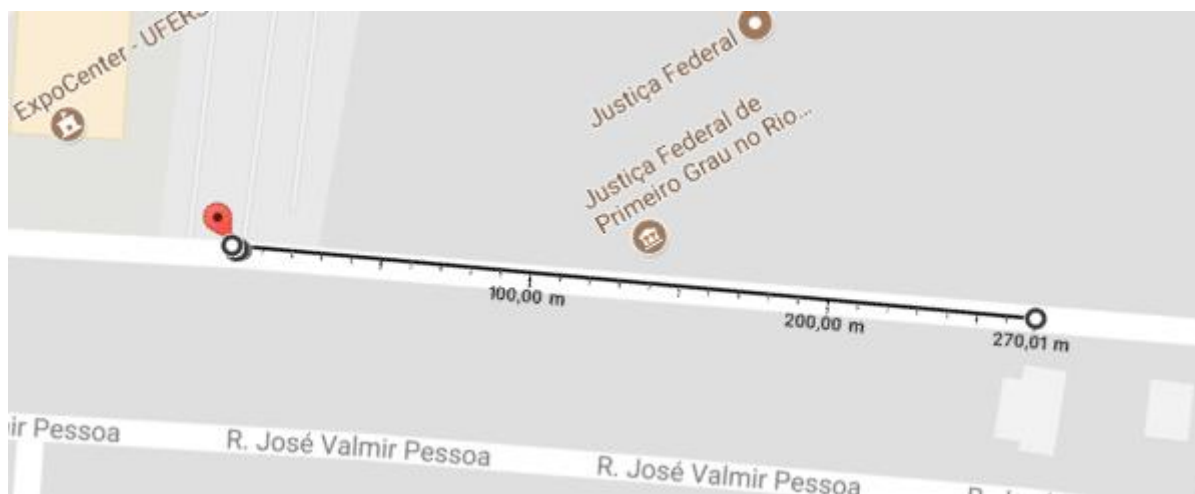


Fonte: Elaborado pelo autor com base no Maps do Google (2017).

A perda do sinal é devida, em parte, pelas casas e prédios que neste teste ficaram entre o transmissor e o receptor.

Um terceiro teste foi feito com o transmissor setado para potência mínima com o comando RF24\_PA\_MIN. A largura de banda foi mantida em 250Kbps. O alcance foi de aproximadamente 270 metros, como indica a Figura 43.

Figura 43 – Alcance máximo com potência mínima.



Fonte: Elaborado pelo autor com base no Maps do Google (2017).



Como o transmissor ficara ativo por um curto intervalo antes do Arduino entrar em modo de baixo consumo (Modo Repouso), a configuração do transmissor foi mantida em potência máxima.

#### 4.2 ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA

A Figura 44 mostra o resultado final do abrigo feito com pratos plásticos brancos e a antena do transmissor fixada no prato superior.

Figura 44 – Resultado do abrigo com sensores, controlador e transmissor.



Fonte: Autoria própria.

Dentro do abrigo foram instalados os sensores de temperatura do ar, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, circuito de controle, transmissor, RTC e o módulo sd. A antena do transmissor foi fixada na parte de fora do abrigo, rosqueando a antena no conector SMA do módulo transmissor.

O anemômetro e os demais dispositivos da estação ficaram fixos na estrutura que sustenta o abrigo da estação, como ilustra a Figura 45.

Figura 45 – Estrutura de fixação da estação.



Fonte: Autoria própria.

O anemômetro foi fixado no topo da estrutura e ligado ao circuito de controle via cabo. Essa estrutura foi presa em um poste metálico com altura de 2 metros do chão. A altura do chão até o anemômetro foi de aproximadamente 2.60 metros.

O sensor UV foi embutido em uma proteção plástica transparente atuando como proteção para chuva, pássaros e poeira. A Figura 46 ilustra a proteção do sensor.

Figura 46 – Proteção para o Sensor UV.



Fonte: Autoria própria.

O dispositivo desenvolvido para receber os dados da estação é composto por um Arduino Pro Mini e um transceptor do mesmo modelo usado na estação, mas configurado como receptor. A Figura 47 ilustra o dispositivo.

Figura 47 – Receptor de dados.



Fonte: Autoria própria.

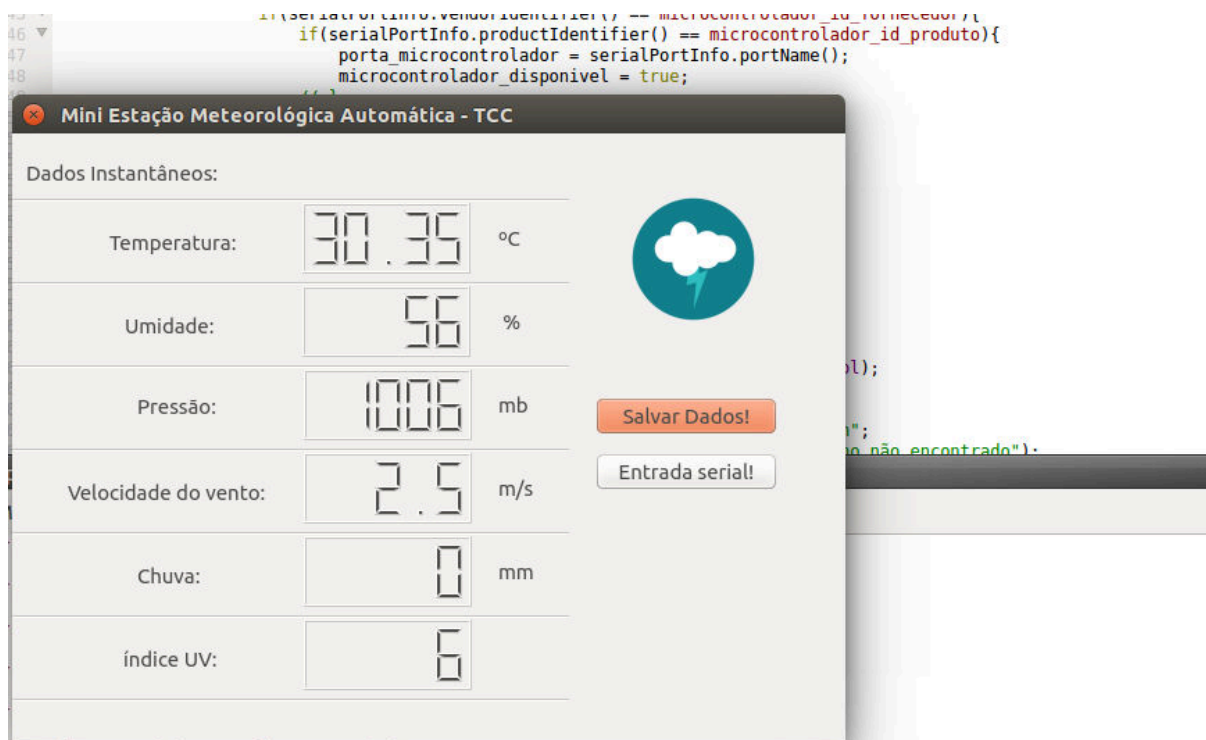
O circuito receptor também conta com um conversor USB/Serial (componente vermelho na Figura 47) para estabelecer comunicação com o supervisor.

Os dados obtidos com os sensores da estação serão apresentados nos próximos tópicos.

#### 4.3 SUPERVISÓRIO DA ESTAÇÃO

A Figura 48 ilustra o supervisor desenvolvido em c/c++ para mostrar e salvar os dados coletados da estação. O supervisor é simples e permite salvar os dados em arquivo de texto.

Figura 48 – Supervisório em C/C++.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O supervisor também permite ver os dados brutos que chegam via comunicação serial entre o supervisor e o microcontrolador atmega328p do receptor.

#### 4.4 ANÁLISE DOS DADOS RECEBIDOS

Neste tópico serão apresentados os resultados obtidos com a estação meteorológica automática (EMA). Em seguida, os dados obtidos serão comparados com os dados fornecidos por instituições como INMET e o INPE.

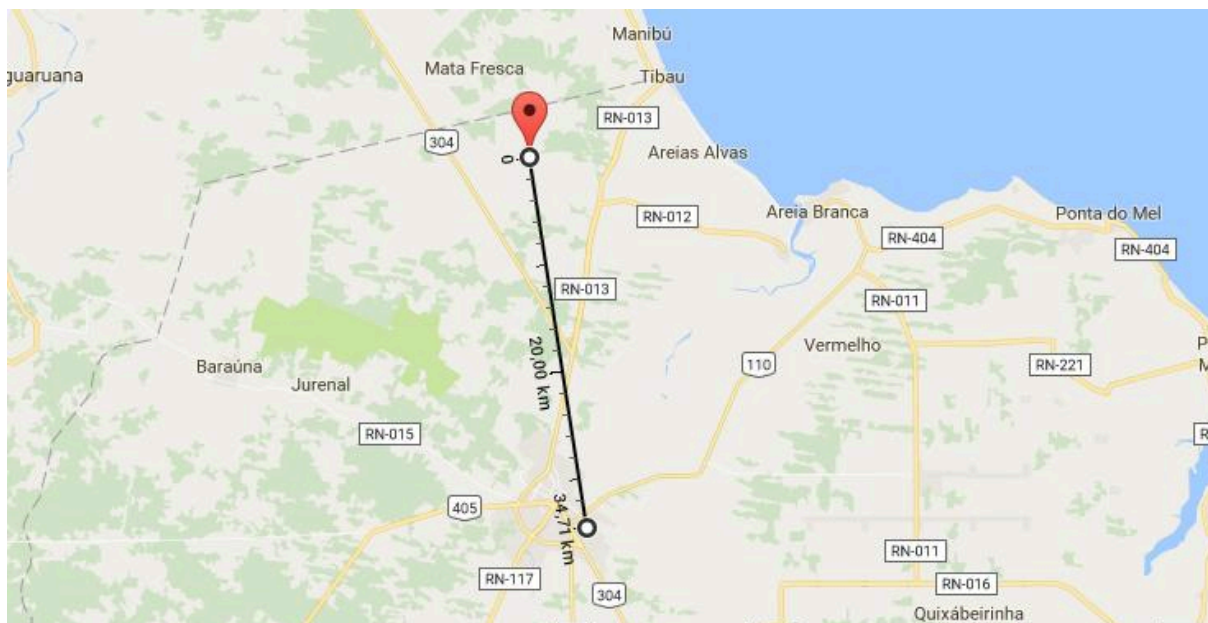
A configuração da hora na EMA foi modificada para UTC para facilitar a comparação com os dados das instituições citadas.

A estação foi configurada para enviar os dados via módulo transceptor a cada 5 minutos, uma vez que esse é o padrão de grande parte das EMAs disponíveis no mercado. Portanto, essa foi a taxa de amostragem usada na plotagem dos gráficos deste tópico. No entanto, os dados fornecidos pelo INMET foram fornecidos com pontos a cada hora.

Para a comparação, foram utilizados os dados instantâneos da estação A318 do INMET, localizada em Mossoró – RN nas seguintes coordenadas: latitude: -

4.904087° e longitude: -37.366943° INMET (2017c). A Figura 49 ilustra a distância entre a estação do INMET e a estação desenvolvida neste trabalho, localizada na Pista de BMX de Mossoró com as seguintes coordenadas: latitude: -5.2125839° e longitude: -37.3187374°.

Figura 49 – Distância entre estações.



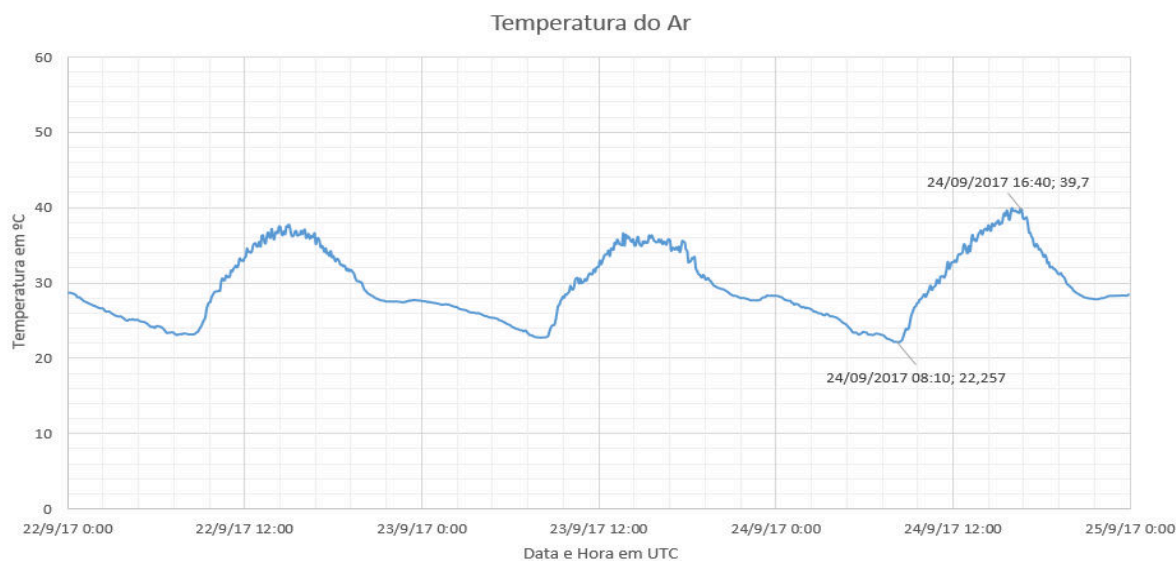
Fonte: Elaborado pelo autor com base no Maps do Google (2017).

Como mostra a Figura 49, a distância aproximada entre a estação A318 do INMET (ponto vermelho) e a EMA desenvolvida é de 34.7Km. Para uma melhor análise e comparação entre as estações, o ideal seria que ambas as estações estivessem disposta no mesmo local. No entanto, a A318 é a única estação profissional do INMET na região de Mossoró e por esse motivo ela foi usada como base para comparação dos dados.

#### 4.4.1 Temperatura do Ar

Na Figura 50 estão dispostos os dados brutos de temperatura do ar coletado pela esta estação no intervalo entre as 0h do dia 22 de setembro de 2017 e as 0h do dia 25 de setembro de 2017. A hora está em UTC.

Figura 50 – Dados de temperatura do ar.



Fonte: Elaborado pelo autor.

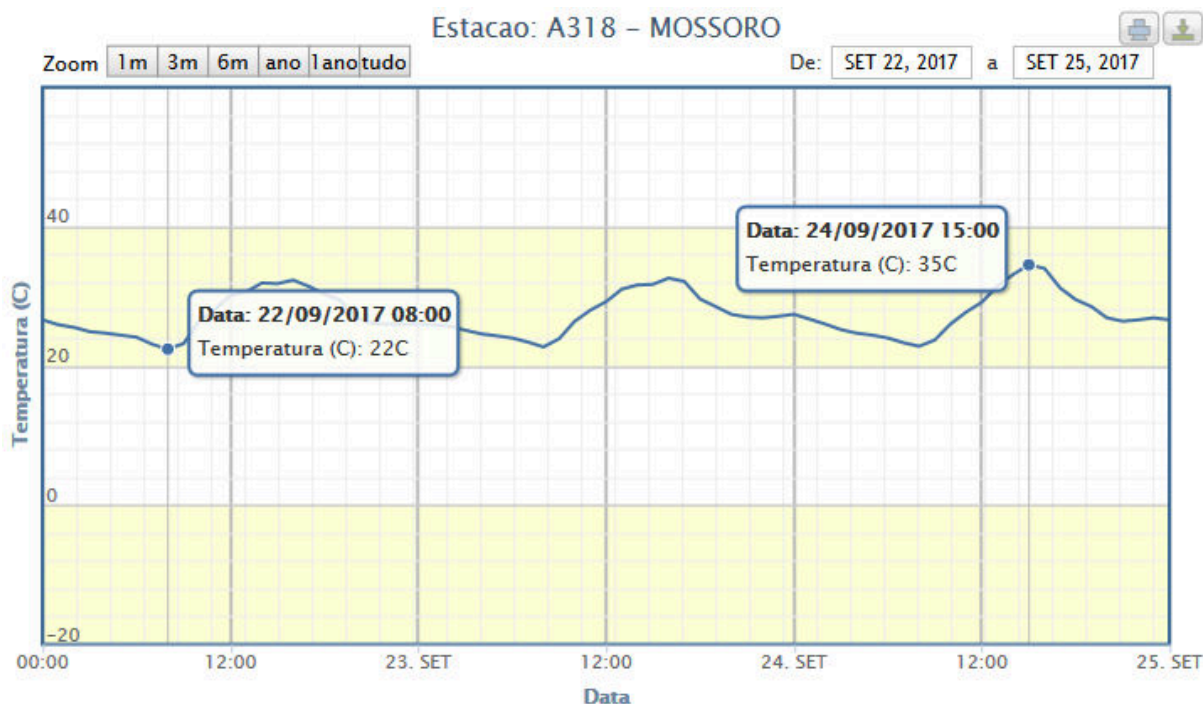
Na Figura 50 é possível constatar que a temperatura máxima para a cidade de Mossoró – RN, nos dias analisados, foram alcançadas aproximadamente às 16h e 40 min UTC, ou seja, às 13h e 40 min no horário local. A temperatura máxima encontrada neste intervalo foi de  $39,7^{\circ}\text{C}$ .

A temperatura mínima encontrada foi de aproximadamente  $22,26^{\circ}\text{C}$  no dia 24 do intervalo analisado, às 8h e 10min UTC ou 5h e 10min no horário local. A menor temperatura para os outros dias também foram, aproximadamente, neste horário.

No mesmo intervalo de tempo, a Figura 51 mostra os dados de temperatura coletados pela estação A318 do INMET.



Figura 51 – Dados de temperatura do ar da estação A318.



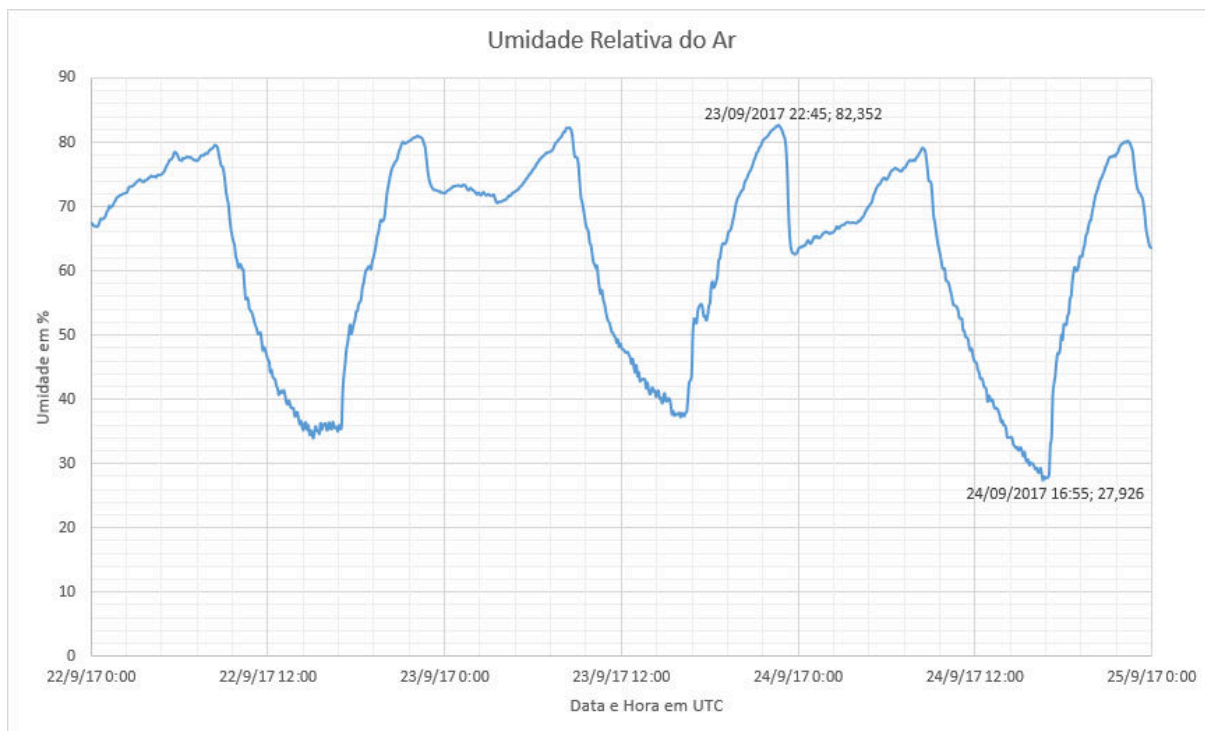
Fonte: INMET (2017c).

Comparando a Figura 50, com os dados da EMA desenvolvida, e a Figura 51, com os dados do INMET, é possível constatar que ambas possuem três máximos de temperatura e três mínimos nos mesmo intervalos de tempo, ou seja, a curva de temperatura fornecida pelas estações são semelhantes. No entanto, devido à distância entre as estações e o local onde estão instaladas, a diferença entre as temperaturas máximas captadas chega a aproximadamente 5°C.

#### 4.4.2 Umidade relativa do ar

Os dados brutos sobre a umidade relativa do ar estão disposto na Figura 52 para o intervalo entre as 0h do dia 22 de setembro de 2017 e as 0h do dia 25 de setembro de 2017. A hora também está em UTC.

Figura 52 – Dados obtidos para umidade relativa do ar.



Fonte: Elaborador pelo autor.

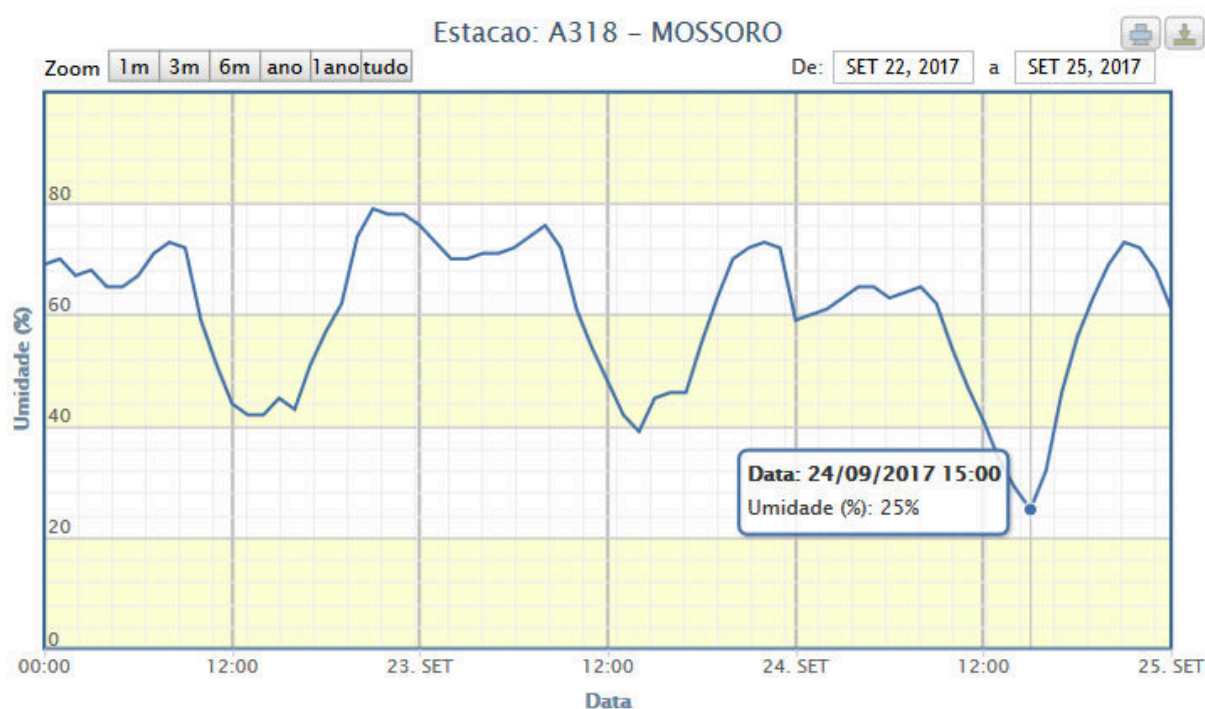
Como pode ser constatado na Figura 52, o valor mais baixo para a umidade relativa do ar foi de 27,92%, encontrado no dia 24 às 16h e 55min UTC ou 13h e 27min do horário local. Já o valor máximo foi de 82,35%, encontrado no dia 23 às 22h e 45min ou 19h e 45min do horário local.

Já na Figura 53, é possível ver a curva com os dados da umidade relativa do ar coletados pela estação A318 do INMET. A comparação entre a Figura 52 e 53, mostra que a curva da umidade relativa do ar de ambas são semelhantes e, assim como nas curvas de temperatura, representam máximos e mínimos em intervalos de tempo próximos. No entanto, existe uma diferença entre os valores obtidos pelas estações.

A estação o INMET obteve o valor de 25% para o menor valor de umidade relativa do ar, enquanto a estação desenvolvida obteve aproximadamente 28%, uma diferença aproximada de 3%. No entanto, foi nestes mesmos intervalos que ambas as estações obtiveram os maiores valores para a temperatura do ar nas Figuras 50 e 51, mostrando assim uma relação entre o aumento da temperatura do ar e a diminuição da umidade relativa do ar.



Figura 53 – Dados de umidade relativa do ar da estação A318 do INMET.



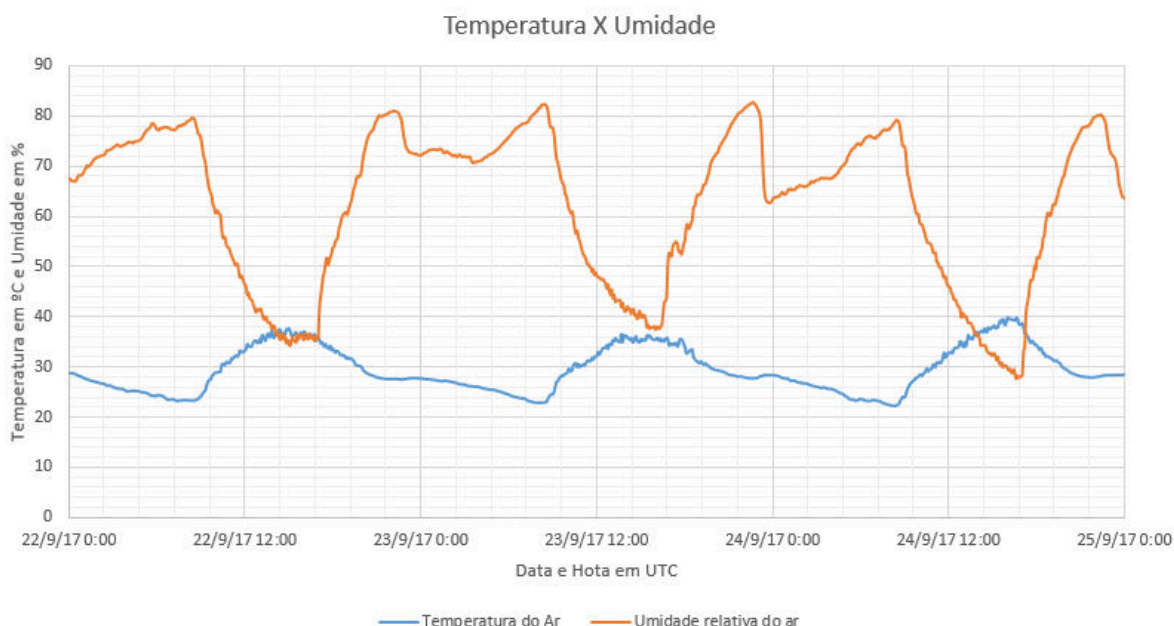
Fonte: INMET (2017c).

É importante frisar que os dados do INMET estão dispostos com uma amostra por hora enquanto que os dados da estação desenvolvida estão dispostos com uma amostra a cada 5 minutos, ou seja, 12 amostras por hora, fato que permite uma melhor análise do cenário estudado.

#### 4.4.3 Temperatura x Umidade

Na Figura 54 é apresentado a comparação entre a temperatura do ar e a umidade relativa do ar para o intervalo de tempo entre as 0h do dia 22 de setembro e as 0h do dia 25 de setembro de 2017 de acordo com Tempo Universal Coordenado (UTC).

Figura 54 – Relação entre temperatura do ar e umidade relativa do ar.



Fonte: Elaborado pelo autor.

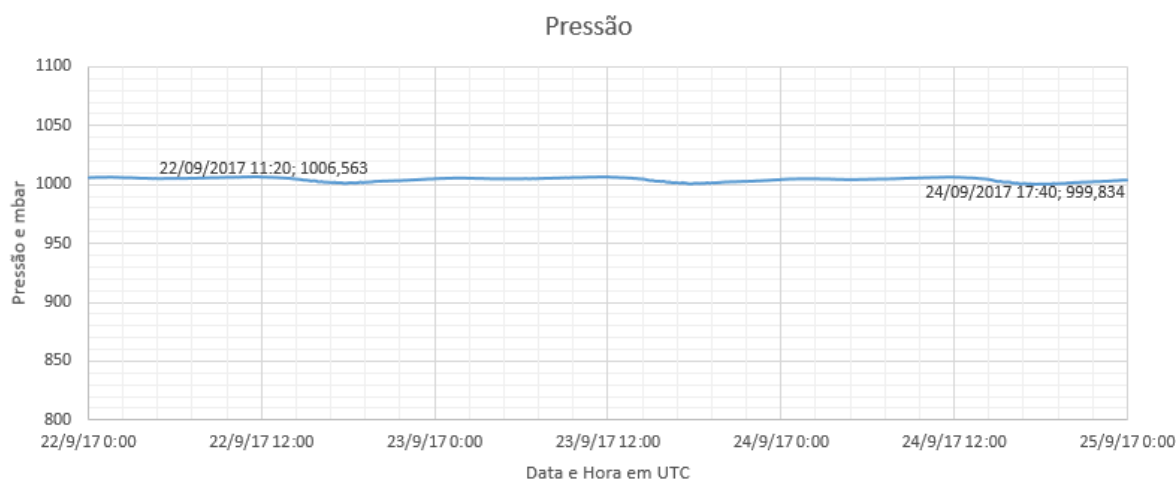
O gráfico mostrado na Figura 54 usa os dados apresentados nos dois tópicos anteriores. Neste gráfico, é possível constatar que a temperatura do ar exerce uma grande influência na variação da umidade relativa do ar. Note que, neste gráfico, a umidade relativa do ar é sempre mínima quando a temperatura do ar é máxima. No entanto, também fica claro que a temperatura do ar não é o único fator que faz a umidade relativa do ar diminuir neste cenário.

#### 4.4.4 Pressão

O gráfico ilustrado na Figura 55 detalha a variação da pressão durante o intervalo de tempo entre as 0h do dia 22 às 0h do dia 25 de setembro de 2017, também com as horas em UTC.

Fica claro na Figura 55 que existe uma variação de pressão para o intervalo de tempo analisado, variação aproximadamente entre 999.8 e 1006.6 milibar.

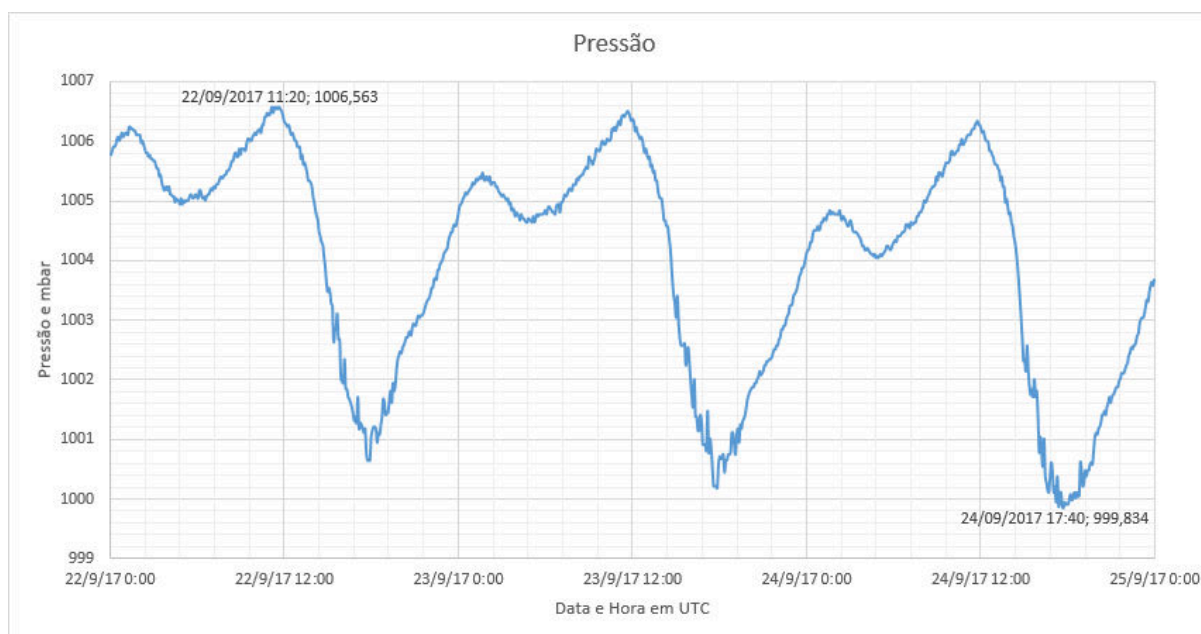
Figura 55 – Dados obtidos para pressão atmosférica.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No entanto, se diminuir o intervalo vertical da Figura 55, é possível ver com melhor detalhe a variação de pressão para este intervalo. A Figura 56 ilustra essa adaptação.

Figura 56 – Melhor visualização dos dados de pressão atmosférica.



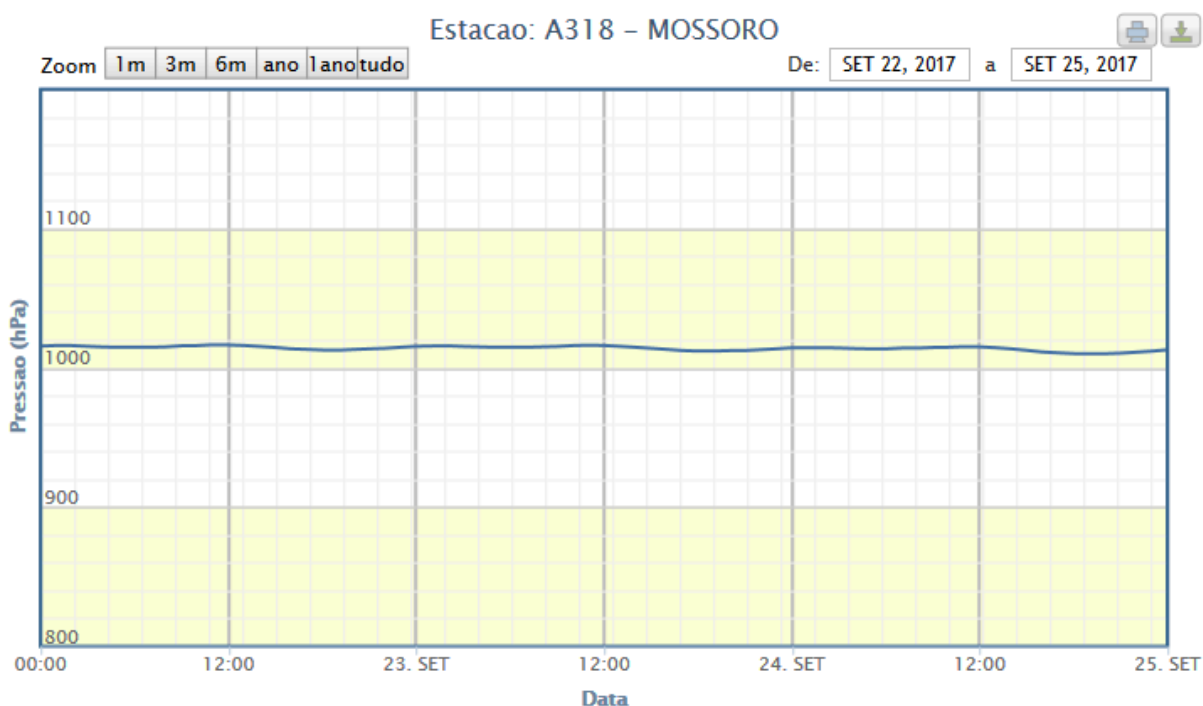
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na Figura 56 a pressão máxima para este intervalo de tempo foi de 1006.563 milibar e a mínima foi de 999,834 milibar. É possível constatar também que a pressão

é menor justamente nos pontos onde a temperatura é maior, como foi ilustrado nos tópicos anteriores. Isso se justifica pelo fato de quanto mais quente o ar menos denso ele fica e conseqüentemente menor é sua pressão sobre a superfície.

Na Figura 57, estão dispostos os dados da pressão atmosférica da estação A318 do INMET. Note que os dados do INMET foram disponibilizado em hectopascal (hPa). No entanto, 1 hectopascal é igual a 1 milibar.

Figura 57 – Dados de pressão atmosférica da estação A318 do INMET.



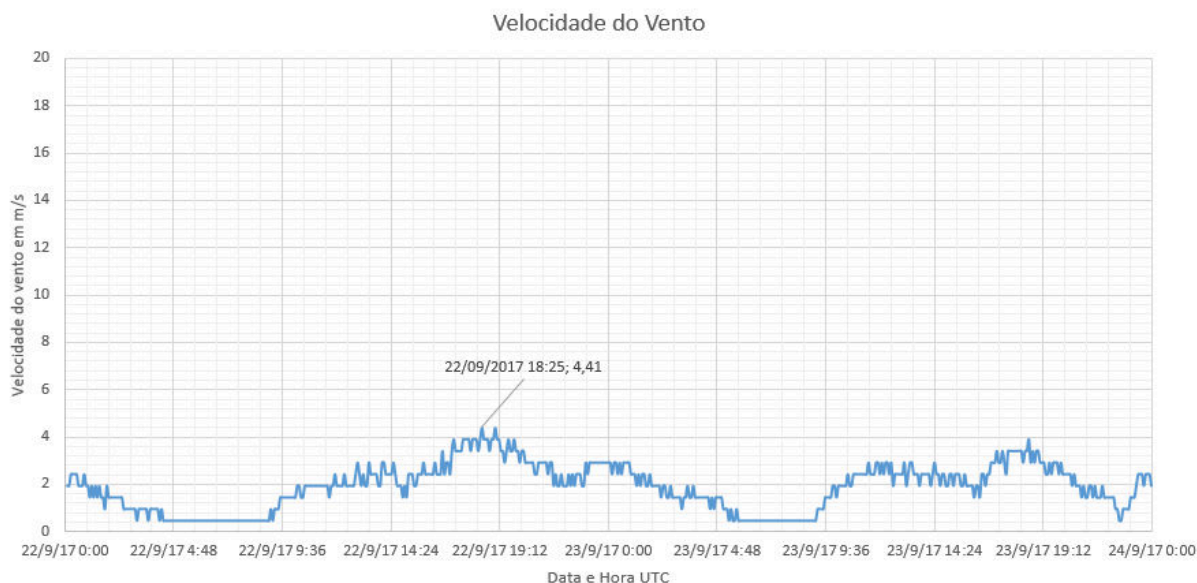
Fonte: INMET (2017c).

A Figura 57 é bastante semelhante à Figura 55, representando seus máximos e mínimos nos mesmos intervalos.

#### 4.4.5 Velocidade do vento

A velocidade do vento para o intervalo de tempo entre as 0h do dia 22 e as 0h do dia 24 de setembro de 2017 é destacado na Figura 58. Note que este gráfico tem um intervalo de tempo com um dia a menos que os tópicos anteriores.

Figura 58 – Dados obtidos para a velocidade do vento em m/s.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Todos os dados mostrados neste capítulo sofrem influência do local onde a estação está instalada. Porém, a velocidade do vento é o dado coletado neste trabalho com maior sensibilidade ao local de instalação. Portanto, para uma mesma região, o valor da velocidade do vento pode variar bastante, principalmente se o local tiver obstáculos como prédios, árvores, entre outros.

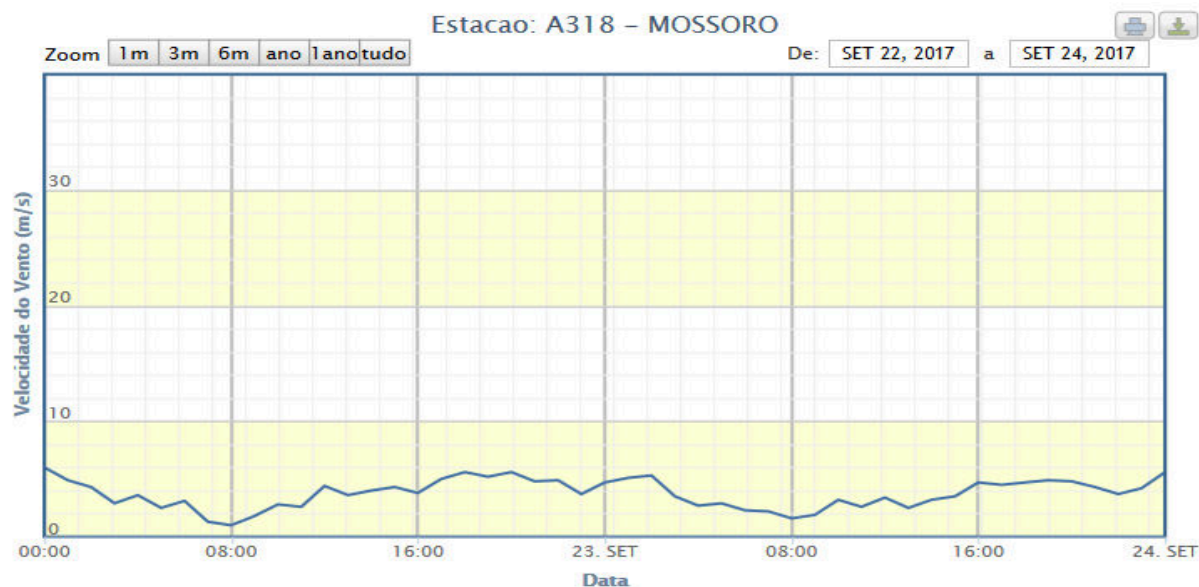
Para a região onde EMA foi instalada, a velocidade máxima do vento em metros por segundo foi de aproximadamente 4,4m/s no dia 22 de setembro de 2017 às 18h e 25min UTC ou 15h e 25min do horário local.

De acordo com os dados coletados, o anemômetro praticamente não se movimentou durante o intervalo aproximado entre 2h e 6h no horário local.

A Figura 59 retrata a curva da velocidade do vento com os dados da estação automática A318 do INMET.

Comparando a Figura 59 com a Figura 58, nota-se que as curvas de velocidade do vento são diferentes, mas o intervalo onde o anemômetro da estação desenvolvida obteve os menores valores correspondem com os menores valores da estação do INMET. Porém, devido à forte dependência do anemômetro ao local onde está disposto e a distância entre as estações, a comparação entre os dados das curvas não permitem uma análise perfeita da validade dos dados.

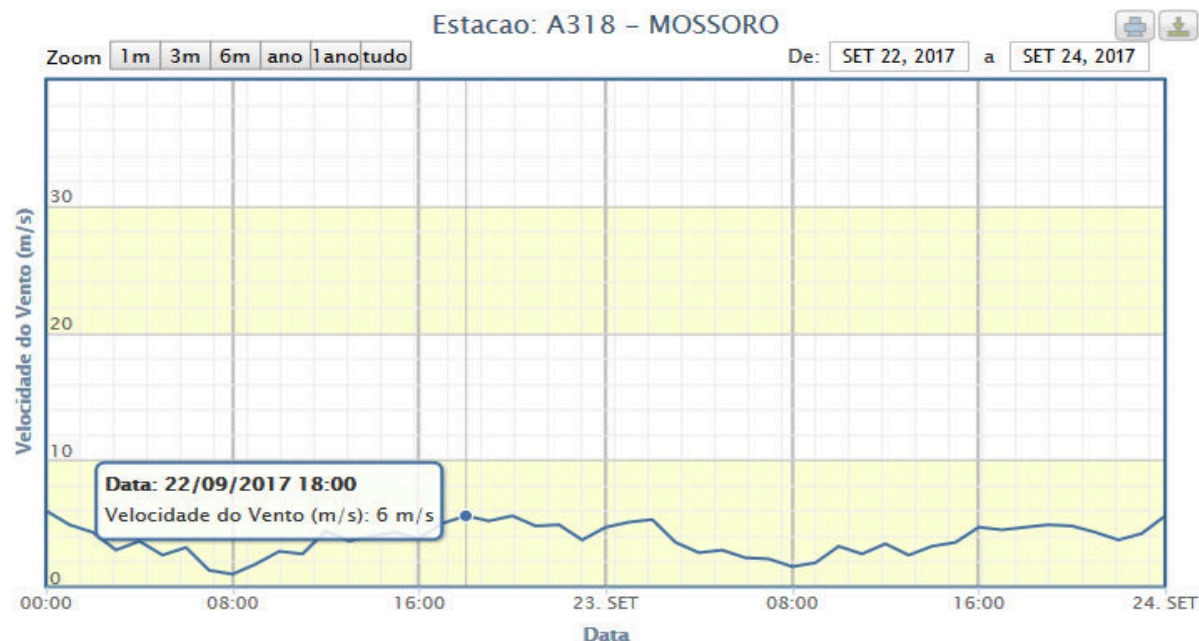
Figura 59 – Dados de velocidade do vento da estação A318 do INMET.



Fonte: INMET (2017c).

A Figura 60 também destaca que a velocidade máxima do vento captada pela estação A318 do INMET coincide com o intervalo de tempo onde a estação projetada obteve o maior valor.

Figura 60 – Velocidade máxima do vento na estação A318 do INMET.



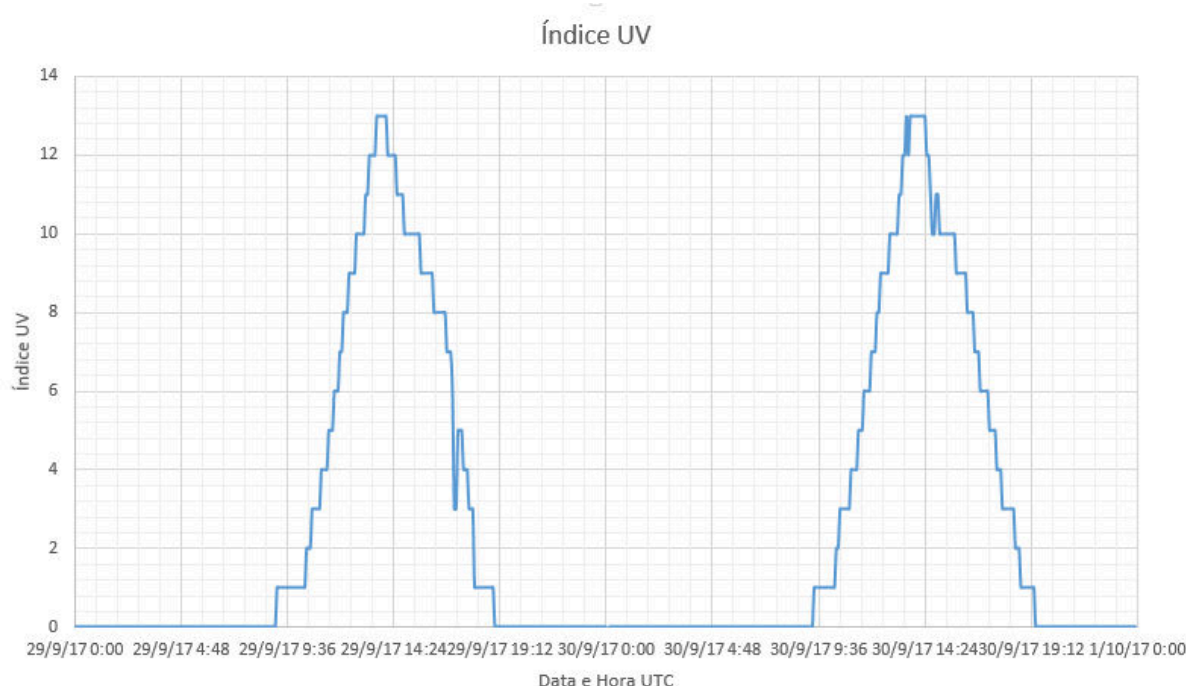
Fonte: INMET (2017c).

Comprando ambos os dados é possível constatar que existe uma variação de 1,6m/s entre os máximos das curvas.

#### 4.4.6 Índice UV

O índice ultravioleta para a cidade de Mossoró – RN, no período entre 0h do dia 29 de setembro até as 0h do dia 1 outubro, captado pela EMA desenvolvida neste trabalho pode ser conferido na Figura 61.

Figura 61 – Dados obtidos para o Índice UV.



Fonte: Elaborado pelo autor

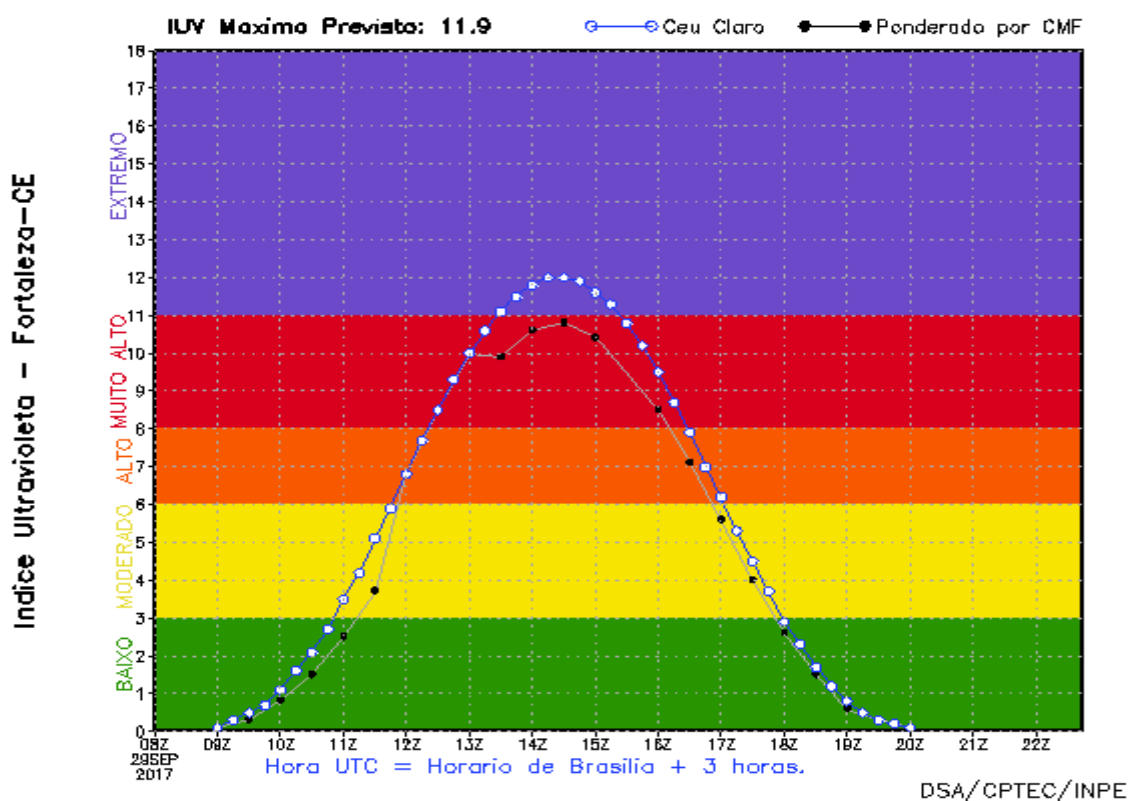
Na programação do sensor ultravioleta os intervalos do índice UV foram configurados como números inteiros com valores bem definidos para cada intervalo do índice, por esse motivo o gráfico se assemelha a degraus. Caso a configuração do sensor seja configurada para aceitar valores não inteiros, entre cada intervalo do índice, o gráfico resultante seria semelhante à parábolas. No entanto, como recomenda a Organização Mundial da Saúde, o índice UV deve ser divulgado em intervalo de números inteiros.

De acordo com a Figura 61, a estação captou índices extremos de IUV, ou seja, índices iguais ou maiores que 11 das 10h às 12h do horário local, com valor máximo de 13 captado pelo sensor aproximadamente as 11h do horário local.



Para comparação dos dados, foram usados as informações fornecidas pelo DAS (Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais) do INPE (2017), para o dia 29 de setembro de 2017. Entretanto, o DSA não possui informações sobre o índice UV para a cidade de Mossoró – RN. Por esse motivo, foi utilizado os dados da cidade de Fortaleza - CE, pois é a localidade mais próxima de Mossoró com dados sobre IUV fornecidos pelo DSA. É necessário frisar que os dados do DSA não estão dispostos em números inteiros, e por tanto, a curva formada é uma parábola e não degraus como o da estação deste trabalho. A Figura 62 ilustra os dados do DSA-INPE.

Figura 62 – Dados de IUV fornecidos pelo DSA-CPTEC-INPE.



Fonte: INPE(2017).

Assim como os dados da EMA deste trabalho, os dados fornecidos pelo do DSA mostram índices extremos entre 10h e 12h do horário local, com máximo de 12 às 11h e 30 min do horário local.



#### 4.4.7 Pluviosidade

Não choveu na região de Mossoró – RN no intervalo entre a instalação da EMA e a conclusão deste trabalho, por esse motivo não foram obtidos dados referentes ao pluviômetro durante o intervalo de teste utilizado para as outras variáveis meteorológicas.

Para validar o pluviômetro desenvolvido foram realizados três testes separados. Cada teste consistiu em despejar no funil do pluviômetro uma coluna de água pré-definida e depois comparar com o valor indicado pelo pluviômetro. O recipiente cilíndrico utilizado para medir a coluna de água nos testes foi idêntico ao recipiente do pluviômetro. Os testes consistiram em despejar 1, 2 e 5mm de água no pluviômetro.

Para o primeiro teste o pluviômetro indicou 7 pulsos. Mesmo valor indicado na configuração do sensor. No teste com 2mm, foi computado 14 pulsos e com 5mm, foi registrado 35 pulsos, ou seja, em um possível teste prático, o pluviômetro indicaria 7 pulsos para cada milímetro de chuva.

#### 4.5 CUSTOS TOTAIS

Na Tabela 6 estão dispostos os materiais comprados para a construção da estação meteorológica automática, as quantidades e os custos. Na tabela não consta os gastos adicionais na construção do anemômetro, pluviômetro e na montagem do abrigo de proteção, pois tais materiais foram reaproveitados. A bateria usada no projeto foi reaproveitada de um sistema de alarme/cerca-elétrica, mas o custo de uma bateria de 6V – 12Ah é em média de 76 Reais, segundo consulta feita no site Mercado Livre (2017).

Tabela 6 – Custos totais com os materiais usados na EMA.

| Custos Totais da EMA |            |        |        |
|----------------------|------------|--------|--------|
| Dispositivo          | Quantidade | Custo  | Total  |
| Arduino Pro Mini     | 1          | R\$ 5  | R\$ 5  |
| Sensor BME280        | 1          | R\$ 25 | R\$ 25 |
| Sensor UV            | 1          | R\$ 18 | R\$ 18 |
| Transceptores        | 2          | R\$ 15 | R\$ 30 |

|                |    |         |         |
|----------------|----|---------|---------|
| Módulo RTC     | 1  | R\$ 8   | R\$ 8   |
| Módulo SD      | 1  | R\$ 5   | R\$ 5   |
| Receptor GNSS  | 1  | R\$ 32  | R\$ 32  |
| Conversor Buck | 1  | R\$ 7   | R\$ 7   |
| Baterias       | 1  | -       | -       |
| Pratos         | 10 | R\$ 1,2 | R\$ 12  |
| Reed Switch    | 2  | R\$ 4   | R\$ 8   |
| Anemômetro     | 1  | -       | -       |
| Pluviômetro    | 1  | -       | -       |
| Total:         |    |         | R\$ 150 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com exceção dos pratos, todos os outros componentes foram comprados nos sites de vendas chineses Banggood (2017) e GearBest (2017). Os valores apresentados na tabela é a conversão para reais dos valores em dólares na cotação de R\$3,15 do dia 2 de outubro de 2017. O frete não foi incluso na tabela, pois o mesmo foi gratuito.

Já o custo de uma estação profissional como o modelo MAWS301 da empresa Vaisala, padrão adotado pelo INMET (2017b), pode custar, aproximadamente, R\$109.620,00 SEPAF-MS (2015). Dessa forma, um investimento de R\$150 na construção de uma estação meteorológica automática representa uma alternativa viável para projetos de baixo custo.

## 5 CONCLUSÃO

O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver uma estação meteorológica automática de baixo custo configurada para os modos de baixo consumo de energia, de forma a oferecer uma metodologia de construção utilizando componentes de fácil acesso e com consumo reduzido de energia para permitir um maior intervalo de recarga.

Como foi demonstrado ao longo deste trabalho, a construção da estação meteorológica automática envolveu a utilização de um conjunto de sensores e outros dispositivos que necessitaram de cuidados especiais para diminuir o consumo de energia e também para que a qualidade dos dados coletados fossem satisfatórios.

No trabalho foi dada preferência para a construção do anemômetro e do pluviômetro utilizando componentes de fácil acesso e que permitissem a coleta de dados sem interferência ou perda de dados. Por esse motivo e, de acordo com os resultados obtidos durante os testes, os dois dispositivos se mostraram uma alternativa satisfatória para projetos onde o custo e a disponibilidade de componentes são fatores limitantes.

A configuração dos sensores para consumirem menos energia, fazendo a comutação entre os modos padrões de funcionamento e os modos de baixo consumo de cada sensor, se mostrou algo de extrema importância para que todo o projeto pudesse funcionar com uma bateria de 6V de 12Ah. No entanto, dispositivos como o receptor GNSS, mostrou-se desnecessário para os testes realizados, uma vez que só foi utilizado para registrar o local onde a estação estava localizada.

A recepção dos dados mostrou-se satisfatória, uma vez que os dados não foram corrompidos durante a transmissão. O fato dos dados coletados de temperatura, umidade e temperatura se correlacionarem, como indicado no item 4.4.3, mostra que os dados obtidos na estação são úteis e podem ser usados para análises nessa área.

A bateria do sistema conseguiu suportar os testes e a transmissão de dados durante os intervalos apresentados nos resultados. No entanto, o intervalo analisado foi pequeno para fazer uma análise satisfatória sobre o consumo de energia.

O custo final da EMA se mostrou satisfatório, principalmente se comparado com os custos com uma EMA profissional como o modelo Vaisala MAWS301.

De forma geral, é possível concluir que o trabalho apresentou resultados satisfatórios e conseguiu cumprir os objetivos apresentados inicialmente, principalmente em relação aos gastos e ao consumo de energia.

## **6 TRABALHOS FUTUROS**

Como trabalho futuro, pode-se realizar a implementação de uma placa de circuito impresso contendo o microcontrolador, seu circuito mínimo de operação e também os demais sensores e componentes que ficam dentro do abrigo. Dessa forma o tamanho do abrigo pode ser reduzido, facilitando a configuração e o manuseio.

O desenvolvimento de um sistema para captar a direção do vento também é uma possível implementação como trabalho futuro, pois a indicação da direção do vento faz parte dos dados de interesse em várias áreas de atuação.

A implementação de painéis fotovoltaicos para alimentar a estação e recarregar a bateria, dando maior autonomia para a estação, também pode ser incluído como trabalho futuro para este projeto.

## REFERÊNCIAS

ARDUINO. Arduino Website. Disponível em: <<http://www.arduino.cc>> Acessado em: 10 de julho de 2017.

ATMEL. Datasheet: ATmega328p. Disponível em: <[http://www.atmel.com/Images/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P\\_Datasheet.pdf](http://www.atmel.com/Images/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf)> Acessado em: 12 de Agosto de 2017.

BIGNELL, James W.; DONOVAN, Robert L. Eletrônica digital. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

BOSCH, Sensortec. BMP180. Disponível em: <[https://www.bosch-sensortec.com/bst/products/all\\_products/bmp180](https://www.bosch-sensortec.com/bst/products/all_products/bmp180)>. Acessado em: 10 de julho de 2017.

BOSCH, Sensortec. Datasheet: BME280. Disponível em: <[https://ae-bst.resource.bosch.com/media/\\_tech/media/datasheets/BST-BME280\\_DS001-11.pdf](https://ae-bst.resource.bosch.com/media/_tech/media/datasheets/BST-BME280_DS001-11.pdf)> Acessado em: 10 de Agosto de 2017.

CHRISTENSEN, Jack. DS3232RTC. Disponível em: <<https://github.com/JChristensen/DS3232RTC>> Acessado em: 02 de Setembro de 2017.

COMET, CEFET-RJ. Meteorologia Observacional I. Vento - Direção e Intensidade. Notas de Aula. Disponível em: <[http://meteoro.cefet-rj.br/almir/observacional/observacional\\_vento\\_1\\_12.pdf](http://meteoro.cefet-rj.br/almir/observacional/observacional_vento_1_12.pdf)> Acessado em: 11 de outubro de 2017.

DA ROCHA JR, Carlos, A; ABRIANOS, Bruno, S; MIBACH, Thiago A. T. S. Estações Meteorológicas Automáticas de Baixo Custo. CEFET-SC. Florianópolis. 2005.

DFRobot. DHT11: Digital-Output relative humidity & temperatura. Disponível em: <<https://image.dfrobot.com/image/data/KIT0003/DHT11%20datasheet.pdf>> Acessado em: 12 de agosto de 2017.

EMBEDDED ADVENTURES. BME280. Disponível em: <<https://github.com/embeddedadventures/BME280>> Acessado em: 02 de Setembro de 2017.

GENUV. Datasheet: GUYA-S12SD. Disponível em: <[http://www.geni-uv.com/download/eng/UV\\_Sensor/UV-A\\_Sensor/GUYA-S12SD.pdf](http://www.geni-uv.com/download/eng/UV_Sensor/UV-A_Sensor/GUYA-S12SD.pdf)> Acessado em: 01 de Setembro de 2017.

GOOGLE. Google Maps. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/>> Acessado em: 01 de outubro de 2017.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <[http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/faixaNormalPrecipitacaoTrimestral 2](http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/faixaNormalPrecipitacaoTrimestral2)>. Acessado em: 10 de julho de 2017.

INMET. Nota Técnica Nº 001 /2011/SEGER/ LAIME/ CSC /INMET - Rede de Estações Meteorológicas Automáticas do INMET, 2011. Disponível em: <[http://www.inmet.gov.br/portal/css/content/topo\\_iframe/pdf/Nota\\_Tecnica-Rede\\_estacoes\\_INMET.pdf](http://www.inmet.gov.br/portal/css/content/topo_iframe/pdf/Nota_Tecnica-Rede_estacoes_INMET.pdf)>. Acessado em: 9 de julho de 2017.

INMET. Estações Automáticas - Gráficos. Disponível em: <[http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede\\_estacoes\\_auto\\_graf/](http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf/)> Acessado em: 2 de outubro de 2017.

INPE. Índice Ultravioleta - DSA. Disponível em: <<http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/acervo.formulario.logic?idProd=4000/>> Acessado em: 02 de outubro de 2017.

JACOBSON, Mark Z. Fundamentals of atmospheric modeling. Cambridge University Press, 2005.

LLUV, Laboratório de Luz Ultravioleta. Índice UV. Disponível em: <<http://www.dfq.pucminas.br/PUV/icone2.html>> Acessado em: 23 de Setembro de 2017.

LOPEZ, Jess Christopher B.; VILLARUZ, Harreez M. Low-cost weather monitoring system with online logging and data visualization. In: Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM), 2015 International Conference on. IEEE, 2015. p. 1-6.

MAXIM. DS180B20. Disponível em: <<https://www.maximintegrated.com/en/products/analog/sensors-and-sensor-interface/DS18B20.html>>. Acessado em: 11 de julho de 2017.

MAXIM. Datasheet: DS3231. Disponível em: <<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf>> Acessado em: 01 de Setembro de 2017.

MIYADAIRA, Alberto Noboru. Microcontroladores PIC 18 Aprenda e Programe em Linguagem C. Editora Erica, 2ª Edição, 2009.

MONICO, J. F. G.; SAPUCCI, L. F. GPS Meteorologia: Fundamentos E Possibilidades De Aplicações No Brasil. In: XXI Congresso Brasileiro De Cartografia. 2003.

Nordic Semiconductor. Datasheet: nRF24L01+. Disponível em: <<https://www.nordicsemi.com/kor/Products/2.4GHz-RF/nRF24L01P>> Acessado em: 10 de Agosto de 2017.

NMEA. NMEA 0183 Standard. Disponível em: <[https://www.nmea.org/content/nmea\\_standards/nmea\\_0183\\_v\\_410.asp](https://www.nmea.org/content/nmea_standards/nmea_0183_v_410.asp)> Acessado em: 01 de Setembro de 2017.

OLIVEIRA, Fabíola de. INMET: 100 anos de meteorologia no Brasil: 1909-2009. Brasília: INMET, 2009.

QT. Qt Serial Port. Disponível em: <<http://doc.qt.io/qt-5/qtserialport-index.html>> Acessado em: 07 de Julho de 2017.

QT. Qt Creator. Disponível em: <<https://info.qt.io/download-qt-for-application-development>> Acessado em: 07 de Julho de 2017.

ROCHETSCREAM. Low-Power. Disponível em: <<https://github.com/rocketscream/Low-Power>> Acessado em: 02 de Setembro de 2017.

SBMET. Umidade Relativa. Disponível em: <<http://www.sbmec.org.br/ecomac/pages/trabalhos/umidade%20relativa.txt>> Acessado em: 1 de setembro de 2017.

SENTELHAS, Paulo, C; ANGELOCCI, Luiz, R. LCE306 - Meteorologia Agrícola: Umidade do ar, Chuva e Vento. Notas de Aula. Disponível em: <[http://www.esalq.usp.br/departamentos/leb/aulas/lce306/Aula7\\_2012.pdf](http://www.esalq.usp.br/departamentos/leb/aulas/lce306/Aula7_2012.pdf)> Acessado em: 11 de outubro de 2017.

SEPAF - MS. Aviso de Homologação de Inexigibilidade. Processo N. 63.000.027/2015. Diário Oficial da União. Seção 3. Nº175. 2015. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/servlet/INPDFViewer?jornal=3&pagina=164&data=14/09/2015&captchafield=firistAccess>> Acessado em: 11 de outubro de 2017.

SULIT-BRAGANZA, Maria C. Earth Science. A textbook on Earth Science for the tertiary leve. Rex Book Store. 2005.

THIEM, Charl. RF24. Disponível em: <<https://github.com/trojanc/RF24>> Acessado em: 10 de Setembro de 2017.

VAREJÃO-SILVA, M.A. Meteorologia e Climatologia. Versão Digital 2. Recife. 2006.

VENTURA, Víctor. Sensor de radiación ultravioleta. Disponível em: <<https://polaridad.es/sensor-radiacion-ultravioleta-arduino-indice-uv-uvvm30a-guvas12sd/>> Acessado em: 15 de Setembro de 2017.

V.KEL ELETRONICS. Datasheet: VK2828U7G5LF. Disponível em: <<https://github.com/CainZ/V.KEL-GPS/blob/master/VK2828U7G5LF%20Data%20Sheet%2020150902.pdf>> Acessado em: 01 de Agosto de 2017.

WHO, World Health Organization. UV Index. Disponível em: <[http://www.who.int/uv/intersunprogramme/activities/uv\\_index/en/](http://www.who.int/uv/intersunprogramme/activities/uv_index/en/)> Acessado em: 20 de Setembro de 2017.



WYLIE, R.G; LALAS, T. World Meteorological Organization. Measurement of Temperature and Humidity. Technical Note No. 194, WMO No.759, Geneva. 1992.

WMO, World Meteorological Organization. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. WMO-No.8. 2014.

Yoctopuce. How to build an USB Pluviometer. Disponível em: <<http://www.yoctopuce.com/EN/article/how-to-build-an-usb-pluviometer>> Acessado em: 8 de Setembro de 2017.

## ANEXO 1

```
#include <avr/sleep.h>
#include <avr/power.h>

// Programa usado para colocar o Arduino no modo sleep e sair do modo sleep
// com interrupção externa.
// Interrupção externa será o Alarme do RTC a cada 1 min.
// A configuração do RTC foi omitida.

void acorda() {
    // Local para colocar todas as funções que devem ser executadas
    // antes de retornar para a função Loop
    // função delay, timers, serial... não funcionam corretamente aqui.
    // não é obrigatório ter nenhuma função aqui....
}

void setup() {
    //
    // Outras configurações devem ser setadas aqui...
    //
    pinMode(2, INPUT_PULLUP); // Ativa o resistor de pull up para o pino 2.
    attachInterrupt(0, acorda, FALLING); // Usa o pino 2 para interrupção
externa
}

void dorme() {
    set_sleep_mode(SLEEP_MODE_PWR_DOWN); // Modo Power Down - Economia de
energia
    sleep_enable(); // Habilita o modo sleep
    attachInterrupt(0, acorda, FALLING); // usa o pino 2 como interrupção
    sleep_mode(); // Entra no modo sleep e fica aqui até ocorrer
uma interrupção
    // Quando voltar da interrupção as funções abaixo serão executadas
    sleep_disable(); // desabilita o modo sleep. Acorda...
    detachInterrupt(0); // desabilita a interrupção para não rodar
durante o código principal
}

void loop() {
    //
    // Local para colocar todas as funções que devem rodar no modo normal...
    //
    dorme(); // Chama a função que faz o Micro entrar no modo sleep...
}
```

## ANEXO 2

```
#include <DS3232RTC.h>
#include <Streaming.h>
#include <Time.h>
#include <Wire.h>

// Programa para configurar o alarme do RTC para cada 1 min.

void setup(void)
{
    // Outras configurações foram omitidas

    Serial.begin(115200);
    //sincroniza a hora/data do RTC
    setSyncProvider(RTC.get);

    //Desabilita a onda quadrada padrão no pino SQW do RTC...
    RTC.squareWave(SQWAVE_NONE);

    //Configura o alarme para a cada 1 min
    RTC.setAlarm(ALM1_EVERY_MINUTE, 0, 0, 0, 1);
    RTC.alarm(ALARM_1);
    RTC.alarmInterrupt(ALARM_1, true);
}

void loop(void)
{
    // Funções principais...
}
```