



**INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – IEDS
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS**

PAULO FRANCISCO NGINGA GASPAR

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE AQUISIÇÃO DE DADOS
METEOROLÓGICOS DE BAIXO CUSTO BASEADO EM PLATAFORMA
ARDUINO**

REDENÇÃO – CE

2023

PAULO FRANCISCO NGINGA GASPAR

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE AQUISIÇÃO DE DADOS
METEOROLÓGICOS DE BAIXO CUSTO BASEADO EM PLATAFORMA
ARDUINO**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Energias, vinculado ao Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável (IEDS), da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Energias.

Orientadora: Profa. Dra. Lígia Maria Carvalho Sousa Cordeiro.

REDENÇÃO – CE

2023

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Sistema de Bibliotecas da UNILAB
Catalogação de Publicação na Fonte.

Gaspar, Paulo Francisco Nginga.

G249d

Desenvolvimento de protótipo de aquisição de dados meteorológicos de baixo custo baseado em plataforma Arduino / Paulo Francisco Nginga Gaspar. - Redenção, 2023.
69fl: il.

Monografia - Curso de Engenharia de Energias, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2023.

Orientadora: Lígia Maria Carvalho Sousa Cordeiro.

1. Energia solar. 2. Microcontrolador. 3. Sensores. 4. Sistema fotovoltaico. I. Título

CE/UF/BSCA

CDD 330.908


TERMO DE APROVAÇÃO

PAULO FRANCISCO NGINGA GASPAR

DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE AQUISIÇÃO DE DADOS METEOROLÓGICOS DE BAIXO CUSTO BASEADO EM PLATAFORMA ARDUINO


Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado em formato de monografia ao curso de bacharelado em Engenharia de Energias, vinculado ao Instituto de Desenvolvimento Sustentável (IEDS), da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira como requisito para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Energias.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 LIGIA MARIA CARVALHO SOUSA
Data: 27/06/2023 22:03:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Profª. Dra. Lígia Maria Carvalho Sousa Cordeiro (Orientadora)

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Documento assinado digitalmente
 VANDILBERTO PEREIRA PINTO
Data: 28/06/2023 08:23:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Vandilberto Pereira Pinto

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Documento assinado digitalmente
 WYARA MARIA CARLOS SOUZA PONTES
Data: 28/06/2023 13:35:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Eng. Me. Wyara Maria Carlos Souza Pontes

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

A Deus.
Em memória da minha Mãe.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida.

Ao PGERC (Grupo de Processamento e Gerenciamento de Energias Renováveis e Controle).

A Profa. Dra. Lígia Maria Carvalho Sousa Cordeiro, pela excelente orientação e apoio dado ao longo do processo todo de escrita desde trabalho.

A minha Mãe de feliz memória, e por todo empenho e dedicação a minha educação e criação.

Ao João Pedro, pelo tempo e pelas valiosas colaborações e sugestões dadas para chegarmos a este resultado, a toda minha família e amigos, os meus eternos agradecimentos.

Os meus agradecimentos também a todos os meus colegas universitário, aos professores e a todos aqueles que de forma direta ou indireta me apoiaram.

Obrigado a todos.

Obrigado a minha família.

Obrigado Unilab.

RESUMO

Um dos maiores desafios de um sistema fotovoltaico é o monitoramento confiável das variáveis climatológicas em que está submetido. Para atender a essa necessidade, surgiram as estações meteorológicas. Estas foram aprimoradas ao longo dos anos, resultando nas estações meteorológicas automáticas, que são utilizadas atualmente em usinas fotovoltaicas. O problema típico das estações meteorológicas automáticas é o seu alto custo, que desencoraja o uso destas em diversas aplicações. Com esta problemática em vista, o presente trabalho, objetivou-se na construção de um protótipo de aquisição de dados meteorológicos de baixo custo, automatizado e portátil, visando o monitoramento de temperatura ambiente, umidade relativa do ar, temperatura do módulo fotovoltaico, irradiância solar e a velocidade do vento no contexto da pesquisa para aplicação em usinas fotovoltaicas e em propriedades rurais. Na metodologia, foram desenvolvidos dois circuitos eletrônicos, o primeiro circuito denominado de "Transmissor", projetou-se na plataforma Arduino Uno, capaz de aferir as variáveis ambientais e armazená-los em um cartão de memória SD e o segundo circuito denominado de "Receptor", projetou-se na placa de desenvolvimento ESP32, capaz de possibilitar a comunicação sem fio, através do *Wi-Fi* e através do sistema via *Bluetooth*. Assim, o primeiro circuito (transmissor) envia os dados coletados pelos sensores para o segundo circuito (receptor) através do Módulo *Wireless* NRF24L01, que em seguida exibe os dados para o usuário através de um dispositivo com acesso à internet ou um dispositivo Android com sistema *Bluetooth*, é possível acompanhar em tempo real as coletas realizadas pelo sistema de aquisição de dados através da web que exibe os dados e os gráficos, e o aplicativo PGERC que exibe apenas os dados. Foram realizados testes em campo e os resultados demonstraram que os sensores apresentaram respostas satisfatórias. O protótipo da estação meteorológica forneceu respostas de acordo com as funcionalidades requeridas para o sistema. Contudo fez-se a comparação dos dados do protótipo de aquisição de dados meteorológicos construído com os dados da estação meteorológica comercial presente no Campus das Auroras na Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), para a validação dos dados para efetivação do protótipo.

Palavras-chave: Energia solar; Microcontrolador; Sensores; Mini modulo fotovoltaico; Aquisição de dados meteorológicos.

ABSTRACT

The present work aimed at building a prototype for the acquisition of low-cost, automated and portable meteorological data, aiming at monitoring ambient temperature, relative humidity, temperature of the photovoltaic module, solar irradiance and wind speed in the research context for application in photovoltaic plants on rural properties in the Massif of Baturité. In the methodology, two electronic circuits were used, the first circuit called "Transmitter" was designed on the Arduino Uno platform, capable of measuring environmental variables and storing them on an SD memory card and the second circuit called "Receiver" It was designed on the ESP32 development board, capable of enabling wireless communication, through Wi-Fi and through the Bluetooth system. However, the first circuit (transmitter) sends the data collected by the sensors to the second circuit (receiver) through the Wireless Module NRF24L01, which then displays the data to the user through a device with internet access or an Android device with o Bluetooth, it is possible to monitor in real time the collections carried out by the data acquisition system via the web (displays data and graphs) and the PGERC application (displays only the data). The results demonstrated that the sensors presented satisfactory responses. However, the meteorological station prototype provided answers according to the functionalities required for the system. However, a comparison was made of the data from the meteorological data acquisition prototype built with that of the commercial meteorological station present on the Campus das Auroras at the Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), for the validation of the data for the realization of the prototype.

Keywords: Solar energy; Microcontroller; Sensors; Mini solar panel; Acquisition of meteorological data.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Células Fotovoltaicos.....	19
Figura 2-Módulos Fotovoltaicos.	19
Figura 3-Curva característica da irradiância ao longo de um dia.	20
Figura 4- Efeito da irradiação no painel fotovoltaico.....	21
Figura 5-Tipos de Piranômetro.....	21
Figura 6- Influência da temperatura ambiente.....	22
Figura 7- Anemômetro.	23
Figura 8- Estações Meteorológicas para Usinas Solares.....	26
Figura 9- Placa de Desenvolvimento Arduino Uno.....	28
Figura 10- Placa de Desenvolvimento ESP32.....	29
Figura 11- Um módulo e antena wireless 2.4GHz - NRF24L01.....	30
Figura 12- Data Logger Shield com RTC DS1307.	31
Figura 13- Sensor de temperatura e umidade DHT11.....	32
Figura 14- Princípio Termopar.....	33
Figura 15- Termopar tipo K + módulo MAX6675.....	33
Figura 16- Módulo Sensor Hall.....	34
Figura 17- Mini módulo fotovoltaico.....	35
Figura 18- Trimpot.....	35
Figura 19- Esquemático desenvolvido no Fritzing- parte de coleta de dados do protótipo.	36
Figura 20- Circuitos e o abrigo do Protótipo.....	36
Figura 21- Esquema do receptor.....	37
Figura 22- Circuitos e o abrigo do Protótipo.....	37
Figura 23- Mini módulo fotovoltaico.....	38
Figura 24- Alteração da curva I-V com a influência de radiação.....	38
Figura 25- Circuito do piranômetro do projeto.	39
Figura 26- Abrigo do piranômetro.	39
Figura 27- Filtro de luz.....	40
Figura 28-Testes do piranômetro no laboratório.....	41
Figura 29-Testes do piranômetro no campo.....	41
Figura 30- Anemômetro.....	43
Figura 31- Abrigo para o sensor DHT11.....	44
Figura 32- Código-fonte para o Arduino Uno.....	45

Figura 33- Código-fonte para o ESP32	46
Figura 34- Configuração do web site da Adafruit IO.....	47
Figura 35- Plataforma MIT App Inventor.	48
Figura 36- Estrutura física do protótipo.	50
Figura 37- web site da Adafruit IO.....	51
Figura 38- App PGERC.....	51
Figura 39- Gráfico de comparação da irradiância solar.	53
Figura 40- Gráfico de comparação da temperatura do ar.	54
Figura 41- Gráfico de comparação da umidade relativa do ar.	54
Figura 42- Gráfico de comparação da temperatura do módulo fotovoltaico.....	55
Figura 43- Gráfico de comparação da velocidade do vento.	55

LISTA DE TABELAS E TABELA

Tabela 1- Especificações do Arduino Uno.	28
Tabela 2- Especificações do ESP32.	29
Tabela 3- Especificações do Módulo Transceptor Wireless.	30
Tabela 4- Especificações do Data Logger Shield com RTC DS1307.	32
Tabela 5- Especificações do Sensor DHT11.	32
Tabela 6- Módulo MAX6675 + Termopar tipo K.	34
Tabela 7- Módulo Sensor Hall.	34
Tabela 8- Mini módulo fotovoltaico.	35
Tabela 9- Comparativo de Custo entre o protótipo e a estação meteorológica, 2022.	49
Tabela 10- Comparação entre os dados obtidos pelo protótipo e pela estação meteorológica.	52

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

IMNET	Instituto Nacional de Meteorologia
CEMTEC	Centro de Monitoramento do Tempo e do Clima de MS
IoT	Internet of Things
NTC	Negative Temperature Coefficient
PWM	Pulse Width Modulation
E/S	Entrada/Saída
RF	Rádio Frequência
RTC	<i>Real Time Clock</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
M2M	<i>Machine-to-Machine</i>
MIT	Instituto de Tecnologia de Massachusetts
DB	Decibel
SD	Secure Digital
SO	Sistema Operacional
SoC	<i>System on a Chip</i>
PA	Amplificador de Potência
LNA	<i>Low Noise Amplifier</i> ou amplificador de baixo ruído
Kbps	kilobit por segundo
GHz	Gigahertz
RAM	<i>Random Access Memory</i> ou Memória de acesso aleatório
App	<i>application</i> ou aplicativo móvel
PGERC	Grupo de Processamento e Gerenciamento de Energias Renováveis e Controle

LISTA DE SÍMBOLOS

I	Corrente Elétrica
I _{sc}	corrente de curto-circuito
V	Tensão Elétrica
V _{oc}	Tensão de curto-circuito
A	Ampere
Ω	Resistência elétrica.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Justificativa	16
2. OBJETIVO	17
2.1. Objetivo geral	17
2.2. Objetivos específicos	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1. Energia solar fotovoltaica	18
3.2. Fatores climáticos que influenciam os sistemas fotovoltaicos	20
3.2.1 Influência da radiação	20
3.2.2 Influência da temperatura ambiente	22
3.2.3 Relação entre radiação solar e temperatura ambiente	22
3.2.4 Umidade relativa do ar	22
3.2.5 Velocidade do vento	23
3.3. Estação meteorológica	24
3.3.1. Equipamentos da estação meteorológica	24
3.4. Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)	25
3.5. Importância de se ter uma estação meteorológica nas usinas fotovoltaica	25
4. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS	26
4.1. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	27
4.1.1 Desenvolvimento em hardware	27
4.1.1.1 Dispositivos adquiridos	27
4.1.1.2 Esquemático	36
4.1.1.3 Esquema do receptor	37
4.1.2 Desenvolvimentos de software	45
4.1.3 Configuração do web site da <i>Adafruit IO</i> e o desenvolvimento do App <i>PGERC</i>	47
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
5.1 Comparativo de custo	49
5.2 Estrutura física do protótipo	50
5.3 Sistema de monitoramento de dados	51
5.4 Análise quantitativa dos dados de medição	52
6 CONCLUSÃO	56
7 REFERÊNCIAS	57
APÊNDICE A – CÓDIGO UTILIZADO NO PROTÓTIPO-TRANSMISSOR	60

APÊNDICE A – CÓDIGO UTILIZADO NO RECEPTOR.....64

1. INTRODUÇÃO

Sistemas baseados em conversão solar fotovoltaica para geração energética têm se tornado cada dia mais utilizados. No Brasil, a energia solar fotovoltaica apresenta-se como uma das fontes de energia mais promissora, principalmente mini e microgeração distribuída. Entretanto, existem aspectos que limitam a popularização mais abrangente dessa fonte de geração, tais como, investimento inicial elevado e eficiência baixa do sistema que, por consequência, aumenta os custos de implementação, além disso, existem outros fatores que podem limitar o rendimento dessa tecnologia, como, sujeira, sombreamento, temperatura do módulo fotovoltaico, umidade e temperatura do ar e principalmente a radiação solar (BESSO, 2017; SOUZA, 2018).

Um dos aspectos que afetam diretamente na eficiência da geração fotovoltaica é o fator climático. Estudar o impacto de variáveis climatológicas, tais como irradiância solar, temperatura ambiente, presença de nuvens, velocidade do vento, temperatura do módulo fotovoltaico, dentre outras, e propor meios de mitigar tais impactos é um importante caminho para prover ainda mais o crescimento dessa fonte de geração de energia. Além disso, é importante mencionar que esses estudos são de elevada importância para algumas definições na implementação dos sistemas fotovoltaicos, tais como a definição do local para o melhor aproveitamento energético, da melhor tecnologia, da estratégia de logística e transporte, e também da adequação às condições ambientais.

Diante dos pontos citados anteriormente, o mercado busca soluções para monitorar essas condições e algumas soluções são baseadas na plataforma Arduino devido sua facilidade da programação e criação de protótipo.

Tendo em vista o contexto previamente citado, o presente trabalho tem como proposta o desenvolvimento de um protótipo de circuito para medição dos dados meteorológico de baixo custo sendo um sistema de aquisição de dados integrado a um sistema supervisor, o qual disponibiliza tais medições via internet ou Bluetooth.

O protótipo será construído utilizando um circuito microcontrolado com sensores que fazem as medições das variáveis climatológicas do local. Tais informações são armazenadas juntamente com data e hora em um cartão SD. No entanto, usando um dispositivo com acesso à internet ou um dispositivo Android com o *Bluetooth*, é possível acompanhar em tempo real as coletas realizadas pelo sistema de aquisição de dados. Tendo em vista o contexto previamente citado, o presente trabalho tem como proposta o desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados de baixo custo baseado em placas de desenvolvimento Arduino Uno e ESP32.

Os dados são medidos através de sensores de temperatura e umidade relativa do ar, um sensor de temperatura de superfície, um mini módulo fotovoltaico para medir a irradiação solar e um Módulo Sensor de Efeito Hall para medir a velocidade do vento, todos de baixo custo. Os dados coletados são processados por duas placas de desenvolvimento Arduino Uno e o ESP32, onde o Arduino Uno coleta e armazena os dados medidos pelos sensores e ao mesmo tempo envia para o ESP32 via *wireless* "Rádio Frequência" através do módulo NRF24L01.

1.1. Justificativa

O uso das estações meteorológicas tem grande importância para usinas fotovoltaicas, pois com o monitoramento climático é possível mensurar dados meteorológicos importantes, como irradiação solar, temperatura ambiente, umidade relativa do ar, temperatura do módulo velocidade do vento e a direção do vento. Ao analisar esses dados é possível auxiliar na tomada de decisão, na implementação dos sistemas fotovoltaicos, tais como a definição do local para o melhor aproveitamento energético e também da adequação às condições ambientais. Uma vez que estes dados meteorológicos citados, são capazes de interferir na geração de energia solar fotovoltaica.

Além disso, as estações meteorológicas também são muito importantes para a agricultura, pois o monitoramento do clima permite um planejamento agrícola eficaz.

Estações meteorológicas comerciais, apresentam um alto custo de instalação e manutenção. É justamente por este custo de instalações e manutenção das estações meteorológicas que o presente trabalho vem propor alternativas de baixos custos para instalações de estações meteorológicas.

Pretende-se com estas alternativas de baixo custo, incentivar o desenvolvimento sustentável, porquanto é necessário comercializar aos operadores de sistemas fotovoltaicos, agricultores e demais interessados.

O trabalho consiste precisamente na construção de um protótipo alternativo ao mercado por conta do custo baixo de produção e pela possibilidade que o mesmo apresenta para o monitoramento, planejamento, instalação e manutenção para as atividades agrícolas, usinas fotovoltaicas e demais profissionais da área das engenharias de energias, computação, eletrônica.

Assim, o presente trabalho contribuirá bastante para as academias, seus estudantes e de certo modo vai também contribuir na referência bibliográfica existente hoje sobre aquisição de dados meteorológicos. Por outro lado, o trabalho vai contribuir na conscientização da importância das estações meteorológicas nas nossas comunidades locais.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo geral

- Desenvolver um protótipo de aquisição de dados meteorológicos de baixo custo baseado em plataforma Arduino.

2.2. Objetivos específicos

- Desenvolver um sistema de aquisição de dados que medirá a irradiação solar, umidade relativa do ar, a temperatura ambiente, velocidade do vento e temperatura do módulo fotovoltaico;
- Analisar os dados coletados pelo sistema de monitoramento desenvolvido, enviá-los para um servidor web e um aplicativo Android através do Bluetooth e disponibilizar as informações obtidas através de um sistema supervisorio na web.
- Validação das amostras e discussão de dados da estação de baixo custo através da comparação de dados coletados na estação meteorológica comercial.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção serão abordados os fundamentos teóricos básicos necessários para compreensão deste projeto, tais como: energia solar fotovoltaica; Fatores climáticos que influenciam os sistemas fotovoltaicos; Estação meteorológica automáticas e a importância de se ter uma estação meteorológica nas usinas fotovoltaica.

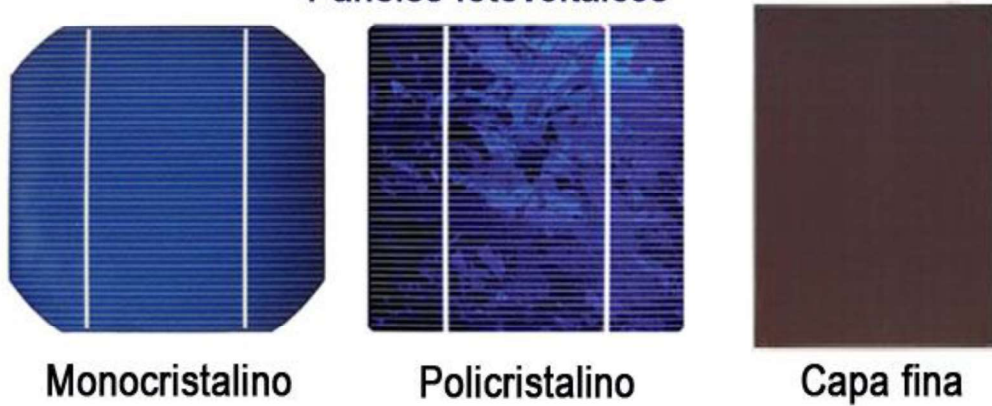
3.1. Energia solar fotovoltaica

A captação de energia solar por meio de painéis fotovoltaicos para geração de eletricidade é considerada um dos mercados mais promissores no setor de energia renovável. Devido às suas perspectivas de rápido crescimento e altos níveis de investimento, o mercado fotovoltaico está se tornando cada vez mais comentado em todo o mundo, principalmente na Europa, China e Estados Unidos. No Brasil, o progresso começou a ser perceptível, principalmente após a integração da energia solar à matriz energética brasileira e o início dos leilões de energia solar, quando o setor de energia enfrentou dificuldades devido à redução da geração hidrelétrica, que é a fonte mais participativa da matriz energética do Brasil hoje, e o aumento dos preços da eletricidade.

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida pela conversão direta da luz em eletricidade (efeito fotovoltaico). O Efeito fotovoltaico, relatado por Edmond Becquerel em 1839, é o surgimento de uma diferença de potencial nas extremidades de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção de luz. A célula fotovoltaica é a unidade básica do processo de conversão (ALMEIDA, 2011).

Existem vários tipos diferentes de células fotovoltaicas que usam semicondutores para interagir com os fótons de entrada do sol para gerar uma corrente elétrica ou tensão. A Figura 1 ilustra as células fotovoltaicas mais conhecidas que são as células Monocristalinas, as células Policristalinas e as células de Filme Fino.

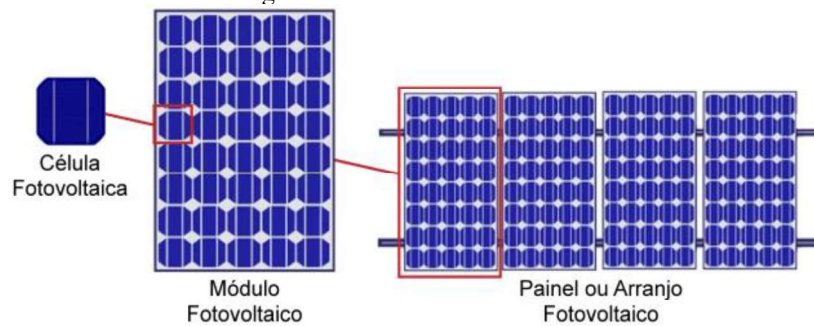
Figura 1- Células Fotovoltaicas.
Paneles fotovoltaicos



Fonte: Energia renovável, 2014.

O agrupamento de células fotovoltaicas interligadas eletricamente e encapsuladas, formam os chamados módulos fotovoltaicos que também são conhecidos como placas solares ou painéis fotovoltaicos como ilustra a figura abaixo.

Figura 2-Módulos Fotovoltaicos.



Fonte: Blog Eletrônica de Potência, 2020.

3.2. Fatores climáticos que influenciam os sistemas fotovoltaicos

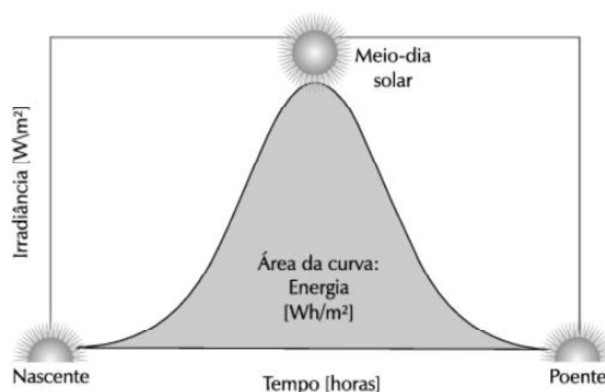
Um dos aspectos que afetam diretamente na eficiência da geração fotovoltaica é o fator climático. Estudar o impacto de variáveis climatológicas, tais como irradiância solar, temperatura ambiente, presença de nuvens, velocidade do vento, temperatura do módulo fotovoltaico, dentre outras, e propor meios de mitigar tais impactos é um importante caminho para prover ainda mais o crescimento dessa fonte de geração de energia.

3.2.1 Influência da radiação

A radiação solar é um dos dois principais fatores que influenciam a produção de energia elétrica dos sistemas fotovoltaicos. Quanto maior for o nível de radiação sobre os painéis fotovoltaicos, maior a corrente elétrica na saída (VILLALVA, 2012).

A irradiância é a grandeza empregada para mensurar a radiação solar, a irradiação é uma medida de potência solar e é definida como a potência radiante incidente em uma superfície. A unidade da irradiância solar é uma medida de potência por unidade de área, geralmente expressa em W/m^2 (VILLALVA, 2012). A Figura 3 ilustra o valor da irradiância variando com o tempo, quanto maior a potência da radiação solar, mais energia ela pode transportar em um determinado intervalo de tempo.

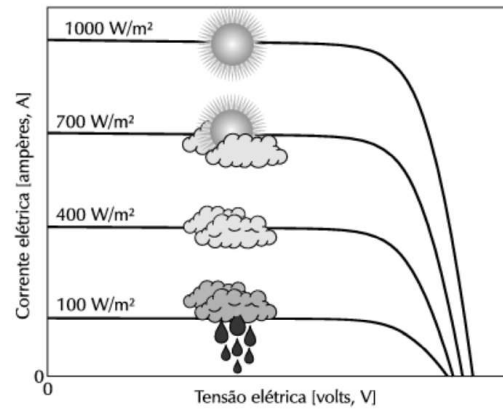
Figura 3-Curva característica da irradiância ao longo de um dia.



Fonte: VILLALVA, 2012.

A corrente elétrica gerada pelo módulo fotovoltaico aumenta com o aumento da irradiância solar, ou seja, corrente de curto-circuito tem um aumento linear com a irradiância solar como ilustra a Figura 4.

Figura 4- Efeito da irradiação no painel fotovoltaico.



Fonte: VILLALVA, 2012.

O instrumento que mede a irradiação solar chama-se Piranômetro, é o dispositivo que medir a intensidade da luz solar em *Watt* por metro quadrado (W/m^2). E basicamente pode ser dividido em 3 tipos de sensor de medição que são: termopilha, fotovoltaico e fotodiodo.

Além de usá-lo para descrever as condições meteorológicas, é um dispositivo muito importante e útil para o projeto solar fotovoltaico. A figura 5 ilustra os três tipos de Piranômetro mais usados.

Figura 5-Tipos de Piranômetro.



(A) Piranômetro termopilha

(B) Piranômetro fotovoltaico

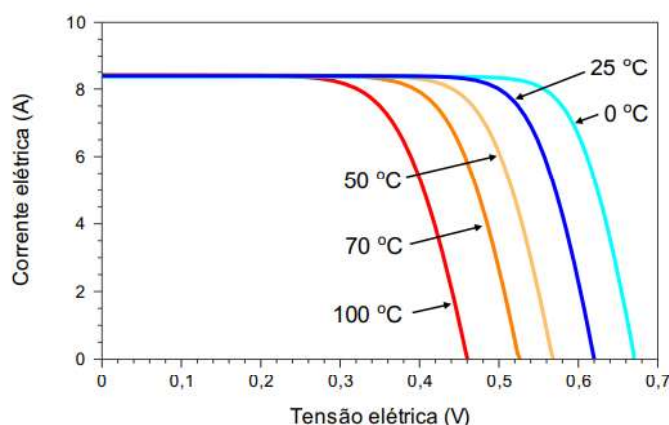
(C) Piranômetro fotodiodo

Fonte: Adaptado de solarduino, 2020.

3.2.2 Influência da temperatura ambiente

Com a variação da temperatura, o fator que varia radicalmente é a tensão de saída, porém a corrente presente tem uma variação insignificante. Ou seja, ao aumentar a temperatura de operação, há uma queda no valor da tensão de circuito aberto, reduzindo o valor da potência entregue à carga (CANTOR, 2017). A corrente sofre uma ascensão muito pequena que não supre a perda causada pela redução da tensão como ilustra a Figura 6.

Figura 6- Influência da temperatura ambiente.



Fonte: Pinho e Galdino, 2014.

3.2.3 Relação entre radiação solar e temperatura ambiente

A radiação solar e a temperatura ambiente são os principais fatores ou variáveis de entrada dos sistemas fotovoltaicos. Uma vez que um aumento na temperatura dentro da célula leva a uma diminuição na potência de saída, logo, mais radiação é necessária para compensar a perda de potência devido ao aumento da temperatura. O ponto de potência máxima é sempre a referência para todos os cálculos, pois é o ponto de operação ideal para o painel (CANTOR, 2017).

3.2.4 Umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar faz referência a quantidade de partículas de água no ar que tem um determinado ambiente, e é dada em porcentagem. Quando a luz solar atinge uma gota de água no ar, três situações podem acontecer:

- Refracção: a luz incidente atravessa o meio e continua a se propagar no outro meio. Ocorre quando meio separa dois meios transparentes;
- Reflexão: a luz incidente no meio volta ao mesmo meio;
- Difração: desvios da propagação da luz.

Em qualquer desses casos, a quantidade de radiação direta que atinge os módulos será

menor do que sem partículas de água no ar. A umidade altera a irradiância de forma não linear e a própria irradiância provoca pequenas variações na V_{oc} de forma não linear e grandes variações na I_{sc} linearmente (CANTOR, 2017).

2.2.5 Velocidade do vento

Como vimos anteriormente, quando um painel solar fica muito quente, reduz sua eficiência. Por outro lado, temperaturas mais baixas do painel solar aumentam a eficiência dos painéis solares.

O efeito da temperatura no desempenho da célula solar é a seguinte: Uma placa mais fria permite que mais energia passe como uma corrente elétrica do que uma placa quente. É aqui que entra o vento. O vento esfria os painéis solares. Painéis solares resfriados a 1°C podem melhorar a sua eficiência.

Segundo TamizhMani (2003), o vento pode reduzir a temperatura dos módulos em até $1,45^{\circ}\text{C}$ por m/s de velocidade do vento.

A figura 7 ilustra o instrumento usado para medir a velocidade do vento, que se chama anemômetro.

Figura 7- Anemômetro.



Fonte: <https://sigmasensors.com.br/produtos/sensor-de-velocidade-do-vento-reed>.

3.3. Estação meteorológica

Uma estação meteorológica é uma coleção de instrumentos que medem as condições atmosféricas para ajudar a estudar o tempo e o clima de um local específico.

As estações meteorológicas automáticas são baseadas em uma unidade central de armazenamento conectada a vários sensores que capturam parâmetros meteorológicos como temperatura, umidade relativa, direção do vento, etc., mantendo esses dados atualizados a cada momento.

Nesse tipo de estação, os sensores emitem sinais elétricos, que são captados por um sistema de aquisição de dados (*Datalogger*), possibilitando assim, o armazenamento e processamento informatizado dos dados (INMET, 2022).

3.3.1. Equipamentos da estação meteorológica

A estação meteorológica é composta por termômetros, anemômetros, higrômetros, barômetros, pluviômetros, piranômetro e outros instrumentos de medição (CEMTEC, 2023).

➤ Termômetro

Os termômetros são normalmente usados para medir a temperatura do ar, no caso das estações instaladas nas usinas fotovoltaicas, também é usado para medir a temperatura dos painéis fotovoltaicos. À medida que a temperatura dos painéis aumenta, sua eficiência diminui. O termômetro garante que a temperatura dos painéis fotovoltaicos seja medida e então, possível de ser registrada.

➤ Anemômetro

Anemômetros são usados para medir a velocidade dos ventos. Os anemômetros do tipo copo são os mais usados. O termo anemômetro é derivado da palavra grega, Anemos, que significa vento.

➤ Cata-vento

Em algumas aplicações, saber apenas a velocidade do vento não é suficiente, mas também é necessário monitorar a direção em que o vento flui. Um cata-vento é usado para esta finalidade.

➤ Higrômetro

Um higrômetro é um dispositivo usado para medir a umidade ou o teor de umidade no ar.

➤ Barômetro

Os barômetros são usados para medir a pressão atmosférica em um determinado local.

➤ Pluviômetro

O pluviômetro é usado para mensurar a precipitação no local determinado.

➤ Piranômetro

Os piranômetros são usados para medir a radiação solar em um determinado local. Existem três tipos de Piranômetro mais utilizado que são: piranômetro termopilha, piranômetro fotovoltaico e piranômetro fotodiodo.

Além dos sensores mencionados acima, algumas estações meteorológicas podem ter sensor ultrassônico de profundidade de neve, sensores para medir altura de nuvens, etc., dependendo da localização e da finalidade do uso. Outros equipamentos que também podem fazer parte da estação como Registrador de dados.

O registrador de dados é uma parte fundamental da estação meteorológica, uma vez que os dados ficam armazenados até que ocorra uma coleta *in loco* e/ou transmissão de dados

3.4. Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)

O INMET é um órgão vinculado ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento que fornece dados meteorológicos de estações meteorológicas localizadas em todo o Brasil. O órgão informa automaticamente dados meteorológicos atualizados a cada minuto (INMET, 2022).

A missão do INMET é participar construtivamente do processo decisório e cooperar para o desenvolvimento sustentável da nação. A missão é desenvolvida por meio de pesquisa aplicada e monitoramento, análise e previsão do tempo e do clima com base no compartilhamento de conhecimento, com ênfase em resultados práticos e confiáveis (INMET, 2022).

3.5. Importância de se ter uma estação meteorológica nas usinas fotovoltaica

Para muitos sistemas científicos, a coleta automática de dados geralmente é adquirida através do uso de sensores ou dispositivos. Essa aquisição de dados normalmente envolve o processamento de sinais e formas de onda para obter as informações desejadas. Os componentes de um sistema de aquisição de dados incluem os sensores que convertem qualquer parâmetro medido em um sinal elétrico, que é adquirido pelo hardware de aquisição de dados. É desenvolvido um software de controle que interpreta os sinais para análise e exibição.

Os operadores de sistemas fotovoltaicos desejam estar sempre informados sobre a eficiência energética e a confiabilidade do sistema fotovoltaicos instalado. Por esse motivo,

tem-se instalado estações meteorológicas comerciais nas usinas fotovoltaica, como mostra a Figura 8, que são utilizados para mensurar dados meteorológicos importantes, como irradiação solar, temperatura ambiente, umidade relativa do ar, temperatura do módulo velocidade do vento e a direção do vento em 24 horas por dia. Estes parâmetros citados, são capazes de interferir na geração de energia solar fotovoltaica.

Tanto que,

Os parâmetros climáticos, como a irradiância solar no plano do gerador fotovoltaico e a temperatura ambiente, podem melhorar a precisão da previsão quando medições reais são usadas como dados de entrada para prever a potência de saída do sistema fotovoltaico. Além disso, a velocidade do vento e temperatura dos painéis também têm uma influência relevante nas previsões de energia fotovoltaica, levando a estimativas mais precisas (BASTOS, *et al.*, 2020, p. 4).

As estações meteorológicas comerciais, como ilustra a Figura 8, apresentam um alto custo de instalação e manutenção. Como uma alternativa, o presente trabalho propõe a implantação de um sistema de aquisição de dados de baixo custo.

Figura 8- Estações Meteorológicas para Usinas Solares.



Fonte: <https://gmdwork.mx/serie-zenith-estaciones-meteorologicas-met-para-plantas-solares/>.

4. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS

O presente trabalho tem uma abordagem bibliográfica, segundo Gil (1987, p. 71), “é desenvolvida, a partir do material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos”, de modo que foram realizadas a busca sistemática de artigos, em seguida em conformidade com os objetivos específicos, desenvolver um sistema de aquisição de dados que

medirá as variáveis climatológicas e analisar os dados coletados pelo sistema de monitoramento desenvolvido e a validação das amostras e discussão de dados da estação de baixo custo através da comparação de dados coletados na estação meteorológica comercial.

A metodologia deste trabalho se pautou nas seguintes etapas:

- ✓ Etapa A – obtenção de informação de estações meteorológicas de baixo custo e sensores desenvolvidos em pesquisas nos últimos anos;
- ✓ Etapa B – a composição da estação meteorológica, obtenção dos materiais, sendo sensores de temperatura ambiente, Umidade relativa do ar, temperatura de superfície, velocidade do vento, mini módulo fotovoltaico para medir a irradiação solar, Arduino Uno e ESP32.
- ✓ Etapa C - É feita a montagem e comprovação do sistema eletrônico;
- ✓ Etapa D – elaboração do algoritmo que constitua a leitura dos sensores com o Arduino Uno;
- ✓ Etapa E - Elaboração do algoritmo para receber os dados no ESP32;
- ✓ Etapa F – Desenvolvimento do protótipo em 3D para acomodar todos os componentes eletrônicos.

4.1. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Com base nas informações fornecidas, este capítulo visa detalhar as etapas de desenvolvimento deste trabalho, para a construção do protótipo, desde sua aquisição, configuração do SO e instalação da biblioteca, até a compilação código-fonte. Sendo subdividido em: (i) desenvolvimento em hardware, (ii) desenvolvimento de software e (iii) Configuração do web site da Adafruit IO e o desenvolvimento do App PGERC.

4.1.1 Desenvolvimento em hardware

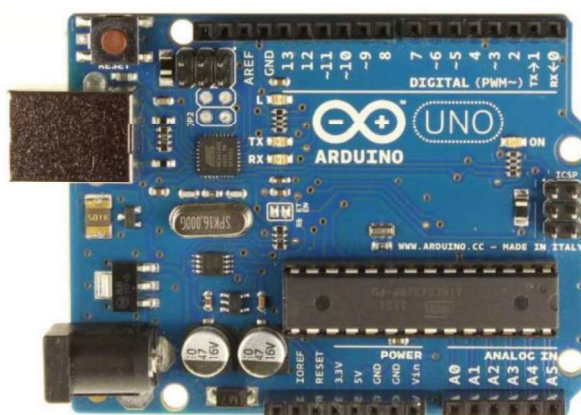
4.1.1.1 Dispositivos adquiridos

Os dispositivos adquiridos para o desenvolvimento do hardware são:

a) Arduino UNO

O protótipo foi arquitetado sob a plataforma do tipo Arduino Uno, sendo composta por 14 pinos digitais de E/S, dividindo-se em 6 entradas de Modulação por Largura de Pulso (PWM), 6 entradas analógicas, conexão USB, entrada de alimentação e botão de *reset* (ARDUINO, 2022). Optou-se pelo Arduino Uno por constituir uma plataforma eletrônica de código aberto (*open source*), fundamentada em hardware e software de fácil utilização, com custo de aquisição relativamente baixo para a plataforma. A Figura 9 ilustra o Arduino Uno.

Figura 9- Placa de Desenvolvimento Arduino Uno.



Fonte: SOUZA, 2017.

A Tabela 1 ilustra com detalhe as especificações do Arduino Uno, de modo a usá-lo com segurança.

Tabela 1- Especificações do Arduino Uno.

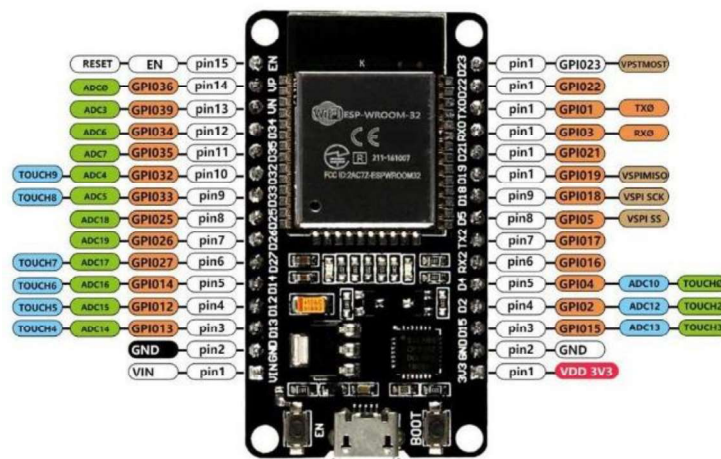
Microcontrolador	ATmega328P
Regulador	5V integrado
Tensão de E/S	5V
Tensão de entrada (nominal)	7-12V
Corrente CC por pino de E/S	20mA
Possui	Proteção de sobre-corrente e polaridade reversa
Pinos PWM	6
Pinos de E/S Digitais	14
Pinos de entrada analógica	6
Processador Principal	ATmega328P 16 MHz
Processador Serial USB	ATmega16U2 16 MHz
ATmega328P	2KB SRAM, 32KB FLASH, 1KB EEPROM
Dimensões	53,4 x68,6 mm

Fonte: Adaptado de Baú da Eletrônica, 2022.

b) ESP32

O ESP32 é uma série de microcontroladores *System on a Chip* (SoC) de baixo custo e baixo consumo de energia desenvolvidos pela *Espressif* que incluem recursos sem fio *Wi-Fi* e *Bluetooth* e processador dual-core (ESPRESSIF, 2021). A Figura 10 ilustra a placa do ESP32.

Figura 10- Placa de Desenvolvimento ESP32.



Fonte: <https://m.pt.aliexpress.com/i/32996463686.html>.

A Tabela 2 ilustra com detalhe as especificações do ESP32, de modo a usá-lo com segurança.

Tabela 2- Especificações do ESP32.

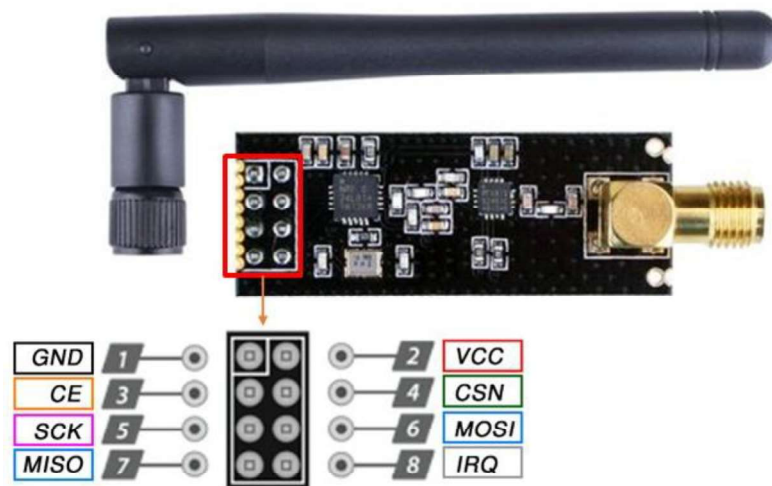
ESP32	
Alimentação	2,2V ~ 3,3V DC
Corrente	220 mA
Processador	Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6
Arquitetura	32 bits
Clock	160- 240Mhz
WiFi	2,4 GHz, 802.11 b/g/n/e/i (802.11n até 150 Mbps)
Bluetooth	Bluetooth Low Energy v4.2 (BLE)
Criptografia	AES, RSA, SHA e ECC
Segurança	WPA/WPA2/WPA2-Enterprise/WPS
Protocolos de Rede	IPv4, IPv6, SSL, TCP/UDP/HTTP/FTP/MQTT
RAM	520KB
FLASH	16Mb
GPIO	22
DAC	2
ADC	18
Interfaces	SPI- 12C - UART - 12S - CAN

Fonte: Adaptado de Xprojetos.net, 2022.

c) Módulo Transceptor Wireless 2.4GHz - NRF24L01

É um módulo para comunicação de dados via rádio frequência (RF) e usa um transceptor de 2,4 GHz desenvolvido pela *Nordic* Semicondutor, o NRF24L01. Este módulo está equipado com um amplificador de potência (PA) e um amplificador de baixo ruído (LNA) juntamente com antena 2DB (Decibel). E isso faz com que, aumenta a distância de transmissão para poder atingir 1000 metros com uma taxa de dados de 250 kbps com uma linha de visão, mas ao mesmo tempo, o ruído diminui devido ao LNA. A Figura 11 ilustra o módulo e antena *wireless*.

Figura 11- Um módulo e antena wireless 2.4GHz - NRF24L01.



Fonte: Adaptado de Joom, 2023.

A Tabela 3 ilustra com detalhe as especificações do módulo e antena wireless, de modo a usá-lo com segurança.

Tabela 3- Especificações do Módulo Transceptor Wireless.

Tensão de alimentação	1.9V - 3.6V
Alcance	Até 1km em 250kbps, até 750m em 1MB, até 520m em 2MB
Taxa de dados	250kbps a 2MB
Antena	2dBI
Pontos multi-frequência	125 pontos de frequência atender às necessidades de comunicação multi-ponto e salto de frequência
Frequência de operação	2400MHz ~ 2524MHz
Modulação	GMSK
Sensibilidade do receptor	-95dBm
Ganho de PA	20 dB
Ganho de LNA	10 dB
Comprimento da antena	107mm
Dimensões	41x15,2x11mm

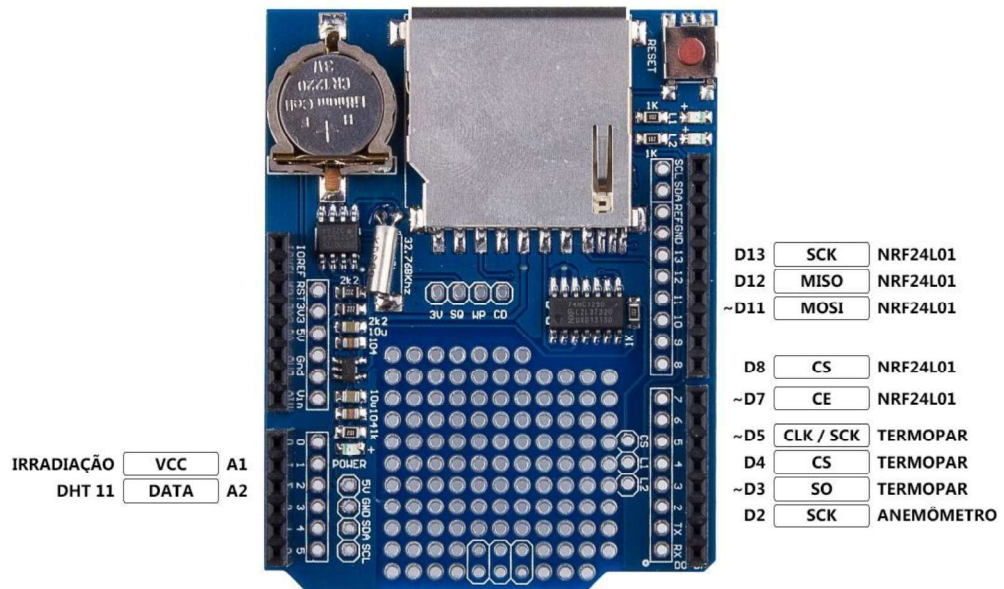
Fonte: Adaptado de Masterwalker, 2023.

d) Data Logger Shield com RTC DS1307

Existem várias maneiras de armazenar dados de acordo com o tipo e tamanho dos dados.

O Data Logger Shield (Escudo de registrador de dados) com RTC DS1307 contém um slot SD Card para armazenamento de dados e um relógio de tempo real RTC DS1307 para registro de hora e data em que estes dados foram armazenados, o Data Logger Shield conta com uma bateria que assegura a atualização de hora, minuto e segundo do relógio de tempo real. O Data Logger Shield com RTC DS1307 fora feito em formato de *Shield* (escudo) para permitir a conexão de encaixe com as placas da série Arduino, seja ela Uno, Mega, Leonardo, etc. A Figura 12 ilustra Data Logger Shield com RTC DS1307.

Figura 12- Data Logger Shield com RTC DS1307.



Fonte: Adaptado de Indiamart, 2023.

A Tabela 4 apresenta com detalhe as especificações do Data Logger Shield com RTC DS1307, de modo a usá-lo com segurança.

Tabela 4- Especificações do Data Logger Shield com RTC DS1307.

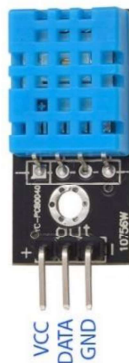
Informação	Data Logger Shield Arduino
Possui	Slot cartão SD
Funciona com	SD formatado como FAT16 ou FAT32
Relógio de Tempo Real	RTC DS1307 integrado
Contém	Regulador de tensão 3.3V
Bateria	CR1220 3V
Possui	Área de prototipagem/soldagem
Dimensões	68 x 53 x 23mm

Fonte: ELETROGATE, 2022.

e) Sensor de temperatura e umidade DHT11

Conforme mostrado na Figura 13, o DHT11 é um sensor capaz de medir temperatura e umidade ambiente. O conjunto consiste em duas partes principais: um sensor de umidade capacitivo e um sensor de temperatura termistor NTC (Coeficiente Negativo de Temperatura), um resistor sensível a mudanças de temperatura (VIANA, 2020).

Figura 13- Sensor de temperatura e umidade DHT11.



Fonte: TICmaker, 2018.

A Tabela 6 ilustra os parâmetros técnicos do sensor de temperatura e umidade DHT11.

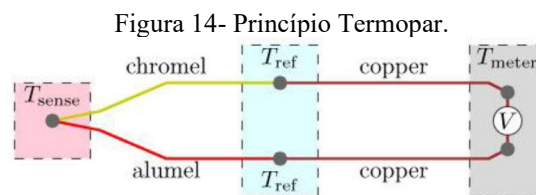
Tabela 5- Especificações do Sensor DHT11.

DHT 11	
Tensão de Alimentação	3.3 a 5V
Corrente Máxima (Captura Dados)	2.5mA
Faixa de Leitura-Umidade	20-90%
Precisão-umidade	±5%
Faixa de Leitura-Temperatura (°C)	0-50
Precisão-Temperatura (°C)	±2°C
Intervalo entre medições	<2s
Dimensões	19 x 17 (CxL mm)

Fonte: CIRCUITO FACIL, 2023.

f) Sensor de temperatura de superfície (Termopar tipo K + Módulo MAX6675)

Um termopar é um dispositivo que consiste em dois condutores elétricos diferentes que formam uma junção elétrica - uma junção térmica. Uma mudança de temperatura na junção produz uma tensão leve, mas mensurável, na junção de referência, que pode ser usada para calcular a temperatura. Um termopar tipo k, como ilustra a Figura 14, é feito de condutores de cromo e alumel e tem uma faixa de temperatura geral de -200 a 1260°C (-326 a 2300°F).



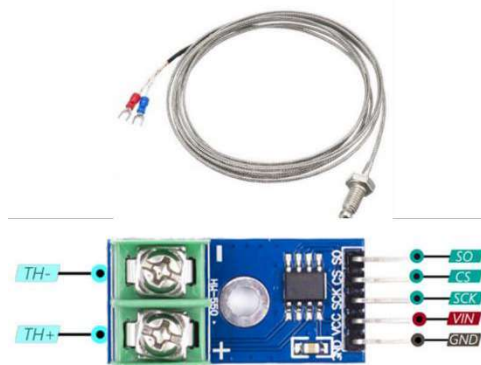
Fonte: Wikipédia, 2022.

Para obter a temperatura do termopar, precisamos de um módulo de termopar, que é um dispositivo eletrônico que faz a medição e leitura de temperatura de termopar. A saída de temperatura de um módulo de termopar depende da leitura de tensão na junção de referência. A tensão na junção de referência depende da diferença de temperatura entre a junção de referência e a junção quente. Portanto, precisamos saber a temperatura da junção de referência.

O termopar MAX6675 possui um sensor de temperatura que mede a temperatura na junção de referência (referência compensada a frio) e amplia a pequena tensão na junção de referência para que seja possível fazer a leitura com o microcontrolador Arduino. O módulo MAX6675 se comunica com o microcontrolador usando o protocolo de comunicação SPI e os dados são enviados com resolução de 12 bits.

A Figura 15 ilustra o sensor de temperatura da superfície (Termopar tipo K + Módulo MAX6675).

Figura 15- Termopar tipo K + módulo MAX6675.



Fonte: Adaptado de Geek Factory, 2023.

A Tabela 7 ilustra os parâmetros técnicos do sensor de temperatura da superfície (Termopar tipo K + Módulo MAX6675).

Tabela 6- Módulo MAX6675 + Termopar tipo K.

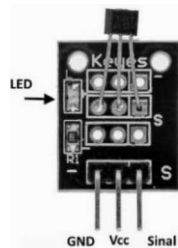
Módulo MAX6675 + Termopar tipo K	
Precisão (%)	~1,5%
Tensão de Entrada	3V ~ 5,5V
Faixa de Operação (°C)	0 °C a +85 °C
Faixa de medição	0 °C a +600 °C
Comprimento do termopar	45cm
Erro máximo	± 5 °C
Dimensões do módulo	32 x 15 x 14 mm

Fonte: Adaptado de Eletronik LV, 2023.

g) Módulo Sensor HALL

O Módulo Sensor de Efeito *Hall* é composto por um sensor A3144 cuja finalidade é reconhecer um campo magnético e converter este sinal magnético em um sinal elétrico com alta confiabilidade e sensibilidade, possibilitando assim sua utilização com um Arduino de forma bastante prática. Este módulo pode ser usado em várias aplicações, como detecção de velocidade, número de rotações que uma roda realizará, a rotação do motor em funcionamento, etc. A Figura 16 ilustra o Módulo Sensor *Hall*.

Figura 16- Módulo Sensor Hall.



Fonte: Arduino e cia. 2014.

A Tabela 8 ilustra os parâmetros técnicos do Módulo Sensor *Hall*.

Tabela 7- Módulo Sensor Hall.

Marca	KEYES
Modelo	KY-003
Tensão de Operação	4,5-24v DC
Serie	3144

Fonte: Adaptado de Vida de Silício, 2023.

h) Mini módulo fotovoltaico

A mini módulo fotovoltaico, como ilustra a Figura 17, funciona com o mesmo princípio dos modelos convencionais, convertendo a luz solar em eletricidade, porém com uma quantidade menor de tensão devido ao pequeno número de células fotovoltaicas.

Figura 17- Mini módulo fotovoltaico.



Fonte: Smart kits, 2022.

A Tabela 8 ilustra os parâmetros técnicos do mini módulo fotovoltaico.

Tabela 8- Mini módulo fotovoltaico.

Material	Silício Policristalino;
Tensão	0,5V;
Corrente	160mA;
Dimensão	53 x 18mm.

Fonte: Adaptado de Smart Kit, 2022.

i) Trimpot de 1k Ω

Um Trimpot é um componente eletrônico que funciona como um potenciômetro, variando a resistência quando giramos seu eixo, como ilustra a figura 18.

Figura 18- Trimpot.



Fonte: Adaptado de Casa da Robótica, 2023.

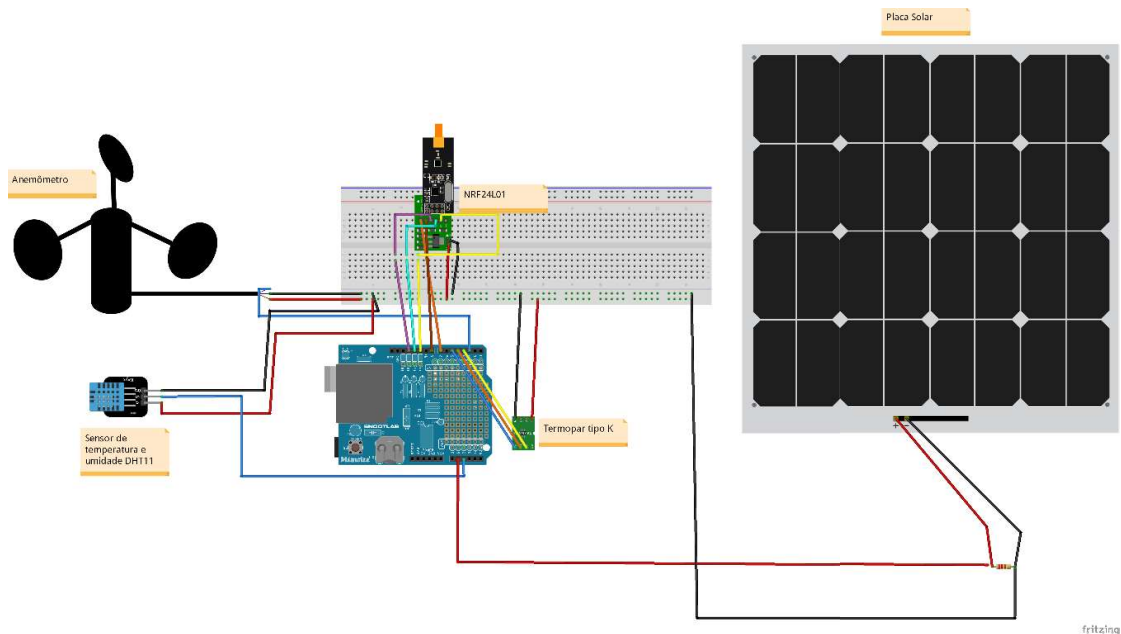
4.1.1.2 Esquemático

➤ Esquema de coleta e armazenamento dos dados do protótipo

A Figura 19 ilustra o esquema desenvolvido no *Fritzing*, que representa a parte de coleta e armazenamento de dados do protótipo, como também serve para enviar os dados coletados pelos sensores através do Módulo Wireless NRF24L01 para o receptor.

O *Fritzing* é um software utilizado para montagem de protótipos de circuitos eletrônicos (FRITZING, 2022).

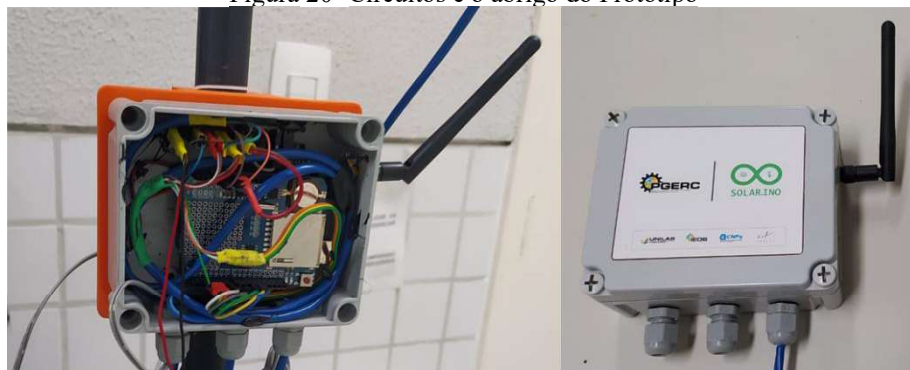
Figura 19- Esquemático desenvolvido no Fritzing- parte de coleta de dados do protótipo.



Fonte: Autor.

A Figura 20 ilustra a parte interna e o abrigo do circuito do transmissor.

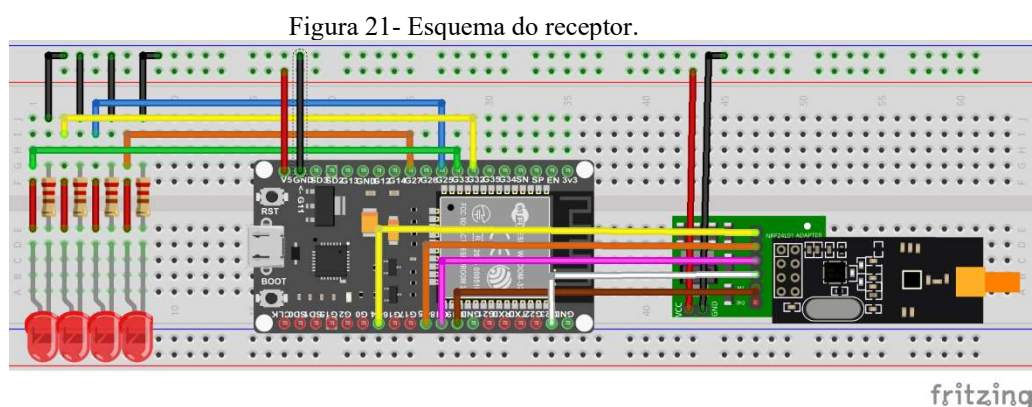
Figura 20- Circuitos e o abrigo do Protótipo



Fonte: Autor.

4.1.1.3 Esquema do receptor

A Figura 21 ilustra o esquema desenvolvido no *Fritzing*, que representa a parte receptora de dados do protótipo, que em seguida exibe os dados para o usuário através de um dispositivo com acesso à internet ou um dispositivo Android com o Bluetooth, para que seja possível acompanhar em tempo real as coletas realizadas pelo sistema de aquisição de dados através da web que exibe os dados e os gráficos ou pelo aplicativo PGERC que exibe apenas os dados.



Fonte: Autor.

Foram adicionados 4 Leds para informar ao usuário os seguintes status:

1. Se o sistema receptor está ligado ou não;
2. Se o sistema receptor está conectando com Wi-Fi ou não;
3. Se o sistema receptor tem internet ou não;
4. Se o sistema está recebendo dados ou não do transmissor.

A figura 22 ilustra a parte interna e o abrigo do circuito do receptor.



Fonte: Autor.

4.1.1.4 Desenvolvimento do piranômetro de baixo custo

Neste protótipo, foi utilizado um mini módulo fotovoltaico para medir o nível de irradiação solar global, uma vez que o nível de irradiação solar é diretamente proporcional ao valor da corrente de curto-circuito (I_{sc}) da placa solar. Foi utilizada essa relação diretamente proporcional para estimar a irradiância solar.

A corrente de curto-circuito, medida em ampere(A), é a corrente máxima produzida pela placa solar.

A figura 23 ilustra o mini módulo fotovoltaico usado para medir o nível de irradiação solar, ela gera energia convertendo a energia solar do sol em energia elétrica.

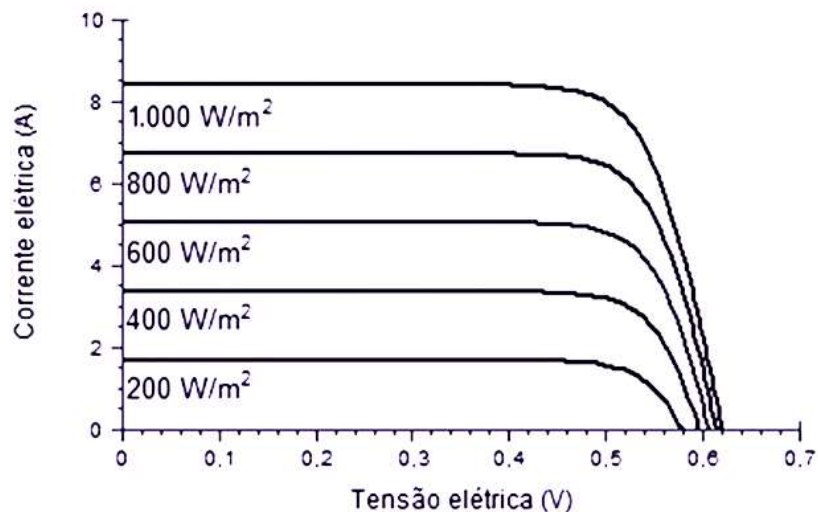
Figura 23- Mini módulo fotovoltaico.



Fonte: Fonte: Smart kits, 2022.

A corrente elétrica gerada pelo módulo fotovoltaico aumenta de acordo com a irradiação solar, ou seja, corrente de curto-circuito tem um aumento linear com a irradiância solar como ilustra a figura 24.

Figura 24- Alteração da curva I-V com a influência de radiação.



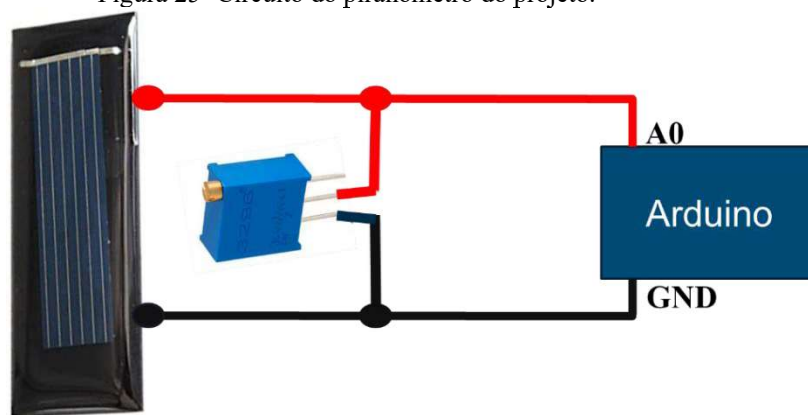
Fonte: Adaptado de PEREIRA et al., 2019.

➤ Circuito do piranômetro

A Figura 25 ilustra o circuito do piranômetro, nota-se que é colocada uma resistência de $1k\Omega$ tipo trimpot nos terminais do mini módulo fotovoltaico de modo a medir a tensão de curto-circuito do mini módulo, para ser usado nos cálculos da irradiância solar global.

O resistor do tipo trimpot, foi usado para calibrar a irradiância de modo a igualar-se ou aproximar-se da medição do pirômetro da estação meteorológica comercial presentes no campus das Auroras UNILAB, localizada no município de Redenção, Ceará.

Figura 25- Circuito do piranômetro do projeto.

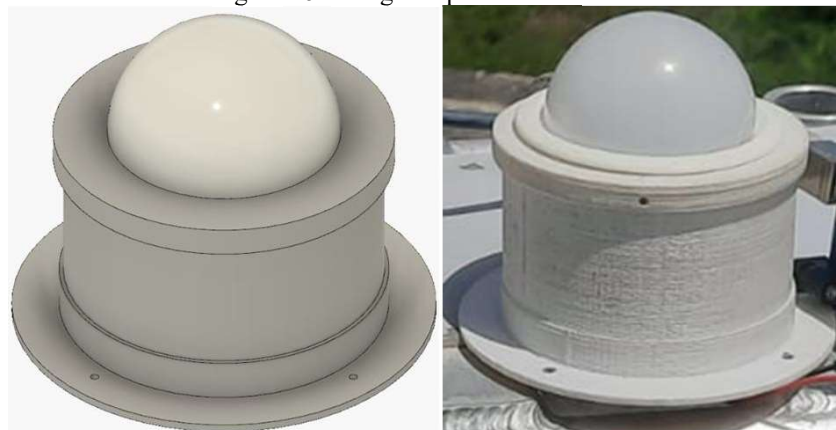


Fonte: Autor

➤ Abrigo do piranômetro

A Figura 26 ilustra o abrigo do circuito e o mini módulo fotovoltaico do piranômetro, projetado e impresso numa impressora 3D, para evitar quaisquer interferências externas na medição e evitando a passagem de água para seu interior.

Figura 26- Abrigo do piranômetro.



Fonte: Autor.

➤ Filtro de luz do piranômetro

No piranômetro fotovoltaico, o difusor tem a função de distribuição uniforme, podendo também reduzir a intensidade da radiação incidente no módulo fotovoltaico e aumentar sua vida útil (DE PAULA et al., 2020, p. 5).

A finalidade do uso do filtro de luz no piranômetro desenvolvido é reduzir e distribuir uniformemente a intensidade da luz solar no mini módulo fotovoltaico, uma vez que o mini módulo fotovoltaico é muito sensível a qualquer variação da luz solar.

A vantagem de se utilizar o filtro de luz é proteger o mini módulo fotovoltaico de alguns fatores climáticos que podem interferir na eficiência do mini módulo fotovoltaico, como a temperatura. Como foi argumentado anteriormente, que, com a variação da temperatura, o fator que varia radicalmente é a tensão de saída, porém a corrente presente tem uma variação insignificante. Estas variações podem interferir na medição da irradiância solar do protótipo.

Notou-se também que o piranômetro desenvolvido sem o filtro tinha um valor muito alto de irradiância solar medido e o mesmo valor variava mesmo sem haver quaisquer variações da luz solar.

O filtro de luz utilizado foi de uma garrafa de shampoo de cor branca, como ilustra a Figura 27.

Figura 27- Filtro de luz.



Fonte: Autor

➤ Teste do piranômetro

A Figura 28 e a figura 29 ilustra os testes feitos no laboratório de energias renováveis e na estação meteorológica comercial presentes no campus das Auroras UNILAB, localizada no município de Redenção, Ceará.

Figura 28-Testes do piranômetro no laboratório.



Fonte: Autor.

Figura 29-Testes do piranômetro no campo.



Fonte: Autor.

➤ **Cálculo usado para estimar a irradiância solar no projeto.**

Na Tabela 8 tem os dados do mini módulo fotovoltaico que foi usado no projeto para mensurar a irradiância solar:

A irradiância solar é a razão entre a potência radiante e área de radiação solar incidente em uma superfície, como mostra a 1ª equação.

$$(1^{\text{a}} \text{ equação}) \quad \text{Irradiância} = \frac{P(w)}{A(m^2)}$$

Dimensão do mini módulo fotovoltaico: 53 x 18mm

Área do mini módulo fotovoltaico:

$$A = 0,053 * 0,018 = 0,000985 \text{ m}^2$$

$$\text{Irradiância} = \frac{P(w)}{A(m^2)} = \frac{P}{0,000985 \text{ m}^2}$$

A potência elétrica dissipada em um resistor é o produto da tensão em seus terminais e a corrente que atravessa nele, temos então assim a 2ª equação.

$$(2^{\text{a}} \text{ equação}) \quad P = I * V = \left(\frac{V}{R}\right) * V = \frac{V^2}{R}$$

Utilizou-se uma resistência de 1kΩ tipo trimpot nos terminais do mini módulo fotovoltaico de modo a medir a tensão de curto-circuito do mini módulo.

$$R=1k\Omega=1000\Omega$$

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{V^2}{1000 \Omega}$$

O V é a tensão do curto-circuito do mini módulo fotovoltaico, como mostra a figura 25.

$$\text{Irradiância} = \frac{P(w)}{A(m^2)} = \frac{P}{0,000985 \text{ m}^2}$$

4.1.1.5 Desenvolvimento do anemômetro de copos

Neste projeto usamos um sensor de efeito *Hall* para medir a velocidade do vento, uma vez que o sensor de efeito Hall pode detectar a presença de objetos magnético. Ou seja, sempre que um ímã passa por esse sensor, ele pode detectá-lo.

Foi colocado o sensor *Hall* dentro da torre e um ímã na capa em direção ao braço da copa, de modo que, quando o ímã passar, o sensor possa detectar a presença, contabilizando sim quantas rotações as copas dão em um período de tempo.

A Figura 30 ilustra o anemômetro construído no laboratório de robótica do campus das Auroras UNILAB, localizada no município de Redenção, Ceará. O anemômetro foi impresso em uma impressora 3D e utilizou-se o Filamento ABS PREMIUM Laranja.

Figura 30- Anemômetro.



Fonte: Autor.

4.1.1.6 Desenvolvimento do abrigo do sensor DHT11

A Figura 31 ilustra o abrigo do sensor DHT11, projetado e impresso numa impressora 3D, para evitar quaisquer interferências externas na medição e evitando a passagem de água para seu interior. Nota-se que o abrigo do piranômetro está fixado acima do abrigo do sensor DHT11.

Figura 31- Abrigo para o sensor DHT11.



Fonte: Autor.

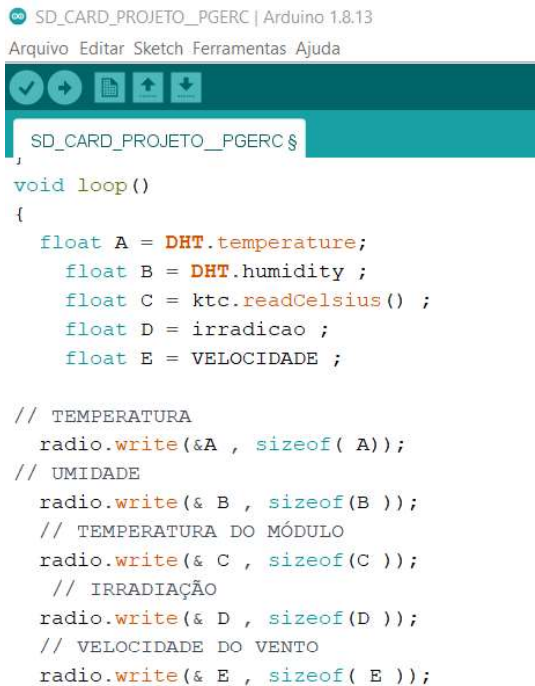
4.1.2 Desenvolvimentos de software.

O software utilizado no projeto foi IDE Arduino versão 1.8.13, do inglês, IDE significa *Integrated Development Environment* ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado, e o desenvolvimento do software foi subdividido em:

a) Desenvolvimento do software para o Arduino Uno.

A construção do algoritmo, inicia com a leitura da temperatura ambiente, umidade relativa do ar, temperatura do módulo fotovoltaico, irradiância solar e a velocidade do vento, como ilustra a figura 32.

Figura 32- Código-fonte para o Arduino Uno



```
SD_CARD_PROJETO_PGERC | Arduino 1.8.13
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda
SD_CARD_PROJETO_PGERC $
,
void loop()
{
  float A = DHT.temperature;
  float B = DHT.humidity ;
  float C = ktc.readCelsius() ;
  float D = irradiacao ;
  float E = VELOCIDADE ;

  // TEMPERATURA
  radio.write(&A , sizeof( A));
  // UMIDADE
  radio.write(& B , sizeof(B ));
  // TEMPERATURA DO MÓDULO
  radio.write(& C , sizeof(C ));
  // IRRADIAÇÃO
  radio.write(& D , sizeof(D ));
  // VELOCIDADE DO VENTO
  radio.write(& E , sizeof( E ));
```

Fonte: Autor.

O código faz a leitura e ao mesmo tempo transmite os dados para o ESP32 através do módulo Transceptor Wireless 2.4GHz - NRF24L01.

b) Desenvolvimento de software para o ESP32.

A partir do ESP32, os dados coletados pelos sensores são disponibilizados na internet utilizando o protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*). É importante ressaltar que será necessário também possuir conectividade Wi-Fi (com acesso à Internet disponível) no local que onde ESP32 estiver, para que seja possível enviar os dados ao *web site* da Adafruit IO.

O protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*). é um protocolo de mensagens leve criado em 1999. Seu propósito original era ser um protocolo adequado para comunicação entre máquinas em rede, tanto localmente quanto pela Internet. Esse tipo de comunicação é chamado de M2M (*Machine-to-Machine*) na literatura técnica. Por não utilizar alto poder computacional (processamento e uso de memória RAM), e não utilizar alta largura de banda de Internet, o MQTT é um dos protocolos mais indicados para comunicação M2M e telemetria em dispositivos embarcados em geral. É por isso que o MQTT é famoso no conceito de IoT (*Internet of Things*) (INSTITUTO NEWTON C. BRAGA, 2018).

O algoritmo no ESP32 inicia com a leitura do módulo Transceptor Wireless 2.4GHz - NRF24L01 que recebe os dados aquisitados pelo Arduino Uno e em seguida executa o código para o ESP32 se conectar com a rede Wi-Fi e com *Bluetooth*, para enviar os dados para o *web site* da *Adafruit IO* através do *wifi* e para o aplicativo PGERC através do *Bluetooth*, como ilustra a Figura 33.

Figura 33- Código-fonte para o ESP32

```

RECEPTOR-CERTO | Arduino 1.8.13
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

RECEPTOR-CERTO $
  rx11_connect();

  radio.available();
  // TEMPERATURA
  float A;
  radio.read(&A , sizeof( A));
  // UMIDADE
  float B ;
  radio.read(& B , sizeof( B ));
  // TEMPERATURA DO MÓDULO
  float C ;
  radio.read(& C , sizeof( C ));
  // IRRADIANCIA SOLAR
  float D ;
  radio.read(& D , sizeof( D ));
  // VELOCIDADE DO VENTO
  radio.write(& E , sizeof( E ));
  Serial.println("-----");
  Serial.print( " TEMPERATURA: " );
  Serial.println( A );
  Serial.print( " UMIDADE: " );
  Serial.println(B);
  Serial.print( " TEMPERATURA DO MÓDULO: " );
  Serial.println(C);
  Serial.print( " IRRADIANCIA SOLAR: " );
  Serial.println( D );
  Serial.print( " ELOCIDADE DO VENTO: " );
  Serial.println( E );

```

Fonte: Autor.

4.1.3 Configuração do web site da *Adafruit IO* e o desenvolvimento do App PGERC

A configuração do *web site* da *Adafruit IO* e o desenvolvimento do App PGERC, servem para monitorar os dados do protótipo, através do *wifi* ou *Bluetooth*.

a) Configuração do *web site* da *Adafruit IO*

O *Adafruit io* é uma plataforma projetada para exibir, responder e interagir com os dados dos projetos feitos em plataformas de desenvolvimento de projetos eletrônicos como, Arduino e ESP32. O *Adafruit IO* permite conectar projetos à internet para registrar, transmitir e interagir com os dados que os projetos produzem (Adafruit io, 2022).

A configuração do *web site* da *Adafruit IO* para o projeto começa com a criação de uma conta no próprio site e em seguida criação dos *feeds* para cada fonte exclusiva de dados que é enviado ao sistema. Os *feeds* são o núcleo do sistema *Adafruit IO*, eles contêm os dados que foram carregados e os dados que o protótipo enviou para o *Adafruit IO* (Adafruit io, 2015).

E por último a configuração dos painéis, que permitem visualizar dados e gerenciar projetos conectados ao *Adafruit IO* a partir de qualquer navegador, como ilustra a figura 34.

Figura 34- Configuração do web site da *Adafruit IO*.

Nome do feed	Chave	último valor	Gravado
<input type="checkbox"/> Irradiação	irradiação	178,17	2 meses atrás
<input type="checkbox"/> Temperatura	temperatura	24h00	2 meses atrás
<input type="checkbox"/> Umidade	umidade	90,00	2 meses atrás

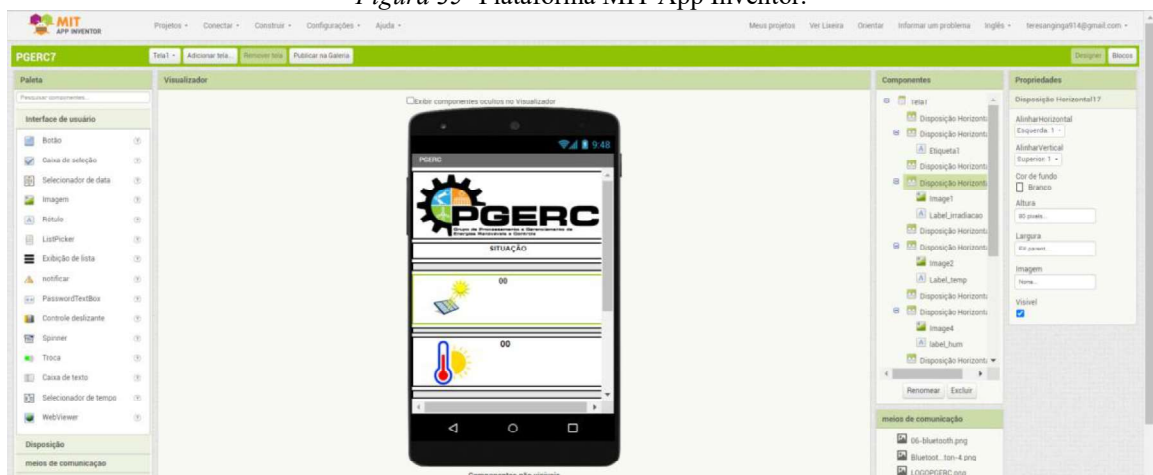
Fonte: Autor.

b) Desenvolvimento do App PGERC

O App PGERC foi desenvolvido no *software* MIT *App Inventor* (Instituto de Tecnologia de Massachusetts): é uma plataforma de código aberto, voltada para o desenvolvimento de aplicativos para os celulares Android e dispõe de uma linguagem de programação simplificada por blocos e fornecer uma interface de comunicação *Bluetooth* ao aplicativo.

Portanto, o aplicativo desenvolvido no *software* MIT *App Inventor*, viabiliza o monitoramento remoto dos dados adquiridos pelo protótipo através do *Bluetooth*, como ilustra a figura 35.

Figura 35- Plataforma MIT App Inventor.



Fonte: Autor.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados os principais resultados e discussões do projeto.

5.1 Comparativo de custo

Os custos dos componentes utilizados no protótipo, possui uma diferença significativa em relação a uma estação meteorológica convencional que foi instalada nas proximidades da usina solar do campus das Auroras UNILAB, localizada no município de Redenção, Ceará. A diferença de preços é bem notável, e pode ser observada na Tabela 1, que mostra os custos de cada componente da estação convencional e do protótipo de baixo custo.

Tabela 9- Comparativo de Custo entre o protótipo e a estação meteorológica, 2022.

Protótipo de baixo custo		Estação meteorológica convencional	
Equipamento	Preço	Equipamento	Preço
Arduino Uno	R\$ 99,00	Datalogger CR310	R\$ 11.710,00
ESP32	R\$ 41,90	Sensor de temperatura eumidade relativa do ar – EE060	R\$ 1.960,00
Transceptor Wireless 2.4GHz-NRF24L01	R\$ 18,00	Sensor de temperatura para módulo fotovoltaico -PT100	R\$ 690,00
Sensor de Temperatura eUmidade - DHT 11	R\$ 14,00	Piranômetro	R\$ 1943,77
Módulo MAX6675 + Termopar tipo K	R\$ 47,00	Sensor de velocidade do vento	R\$ 836,00
Data Logger Shield com RTC DS1307	R\$ 46,00		
Mine painel solar	R\$ 4,90		
Módulo Sensor Hall	R\$ 2,99		
Total	R\$ 311,59	Total	R\$ 17.139,77

Fonte: Autor.

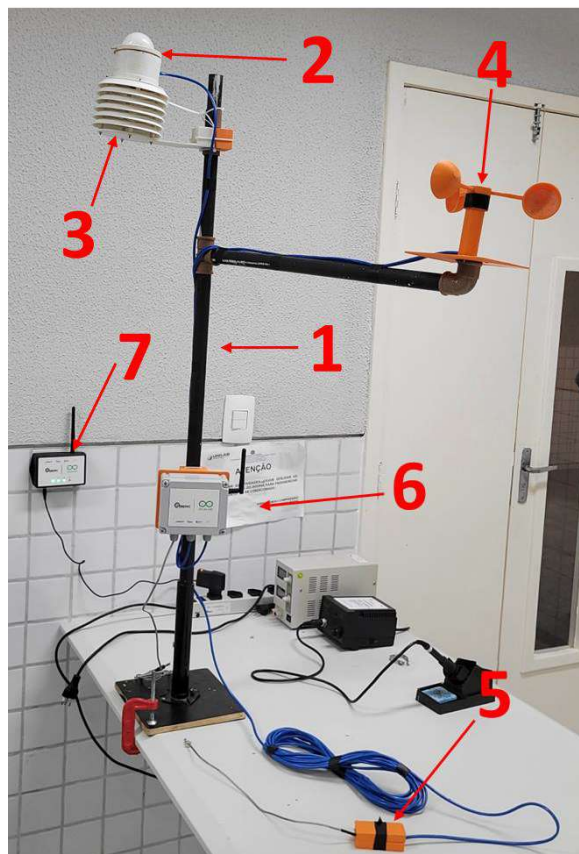
Conforme a Tabela 1 o custo dos equipamentos do protótipo é baixo em relação às estações comerciais, o que torna o protótipo uma ferramenta de baixo custo e sem grande impacto no orçamento de empreendimentos que necessitam de sistemas de medição de variáveis meteorológicas, por exemplo, em termos de custo, essa alternativa seria aplicável no contexto de usinas fotovoltaicas.

5.2 Estrutura física do protótipo

A Figura 36 apresenta o protótipo finalizado, pronto para ser utilizado para testes e estudos. E a seguir, serão descritas as partes que constituem o protótipo:

1. Suporte;
2. Piranômetro;
3. Abrigo do sensor de temperatura e umidade relativa do ar;
4. Anemômetro;
5. Sensor de temperatura do módulo fotovoltaico;
6. Datalogger e transmissor de dados;
7. Receptor de dados.

Figura 36- Estrutura física do protótipo.



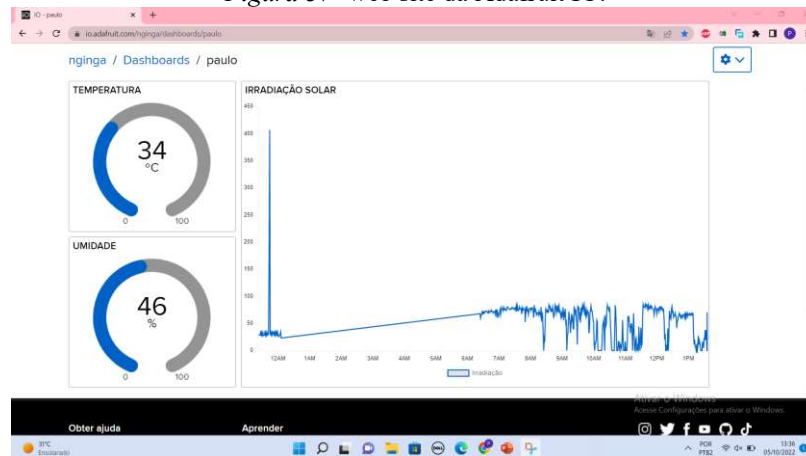
Fonte: Autor

5.3 Sistema de monitoramento de dados

a) *web site* da Adafruit IO

Os dados obtidos pelos sensores do protótipo são enviados pelo ESP32 através do módulo Transceptor Wireless 2.4GHz - NRF24L01, que se conecta com a rede *Wi-Fi* para enviar os dados para o web site da Adafruit IO, como ilustra a figura 37.

Figura 37- web site da Adafruit IO.



Fonte: Autor

b) App PGERC

O App PGERC viabiliza o monitoramento remoto dos dados adquiridos pelo protótipo através do *Bluetooth*, como ilustra a figura 38.

Figura 38- App PGERC.



Fonte: Autor.

5.4 Análise quantitativa dos dados de medição

A seguir serão descritas as análises quantitativas dos dados obtidos pelo protótipo em relação aos dados adquiridos pela estação meteorológica presente no Campus das Auroras na Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB).

A tabela 2 mostra a comparação entre os dados obtidos pelo protótipo e pela estação meteorológica presente no Campus das Auroras no dia 18 de dezembro de 2022 durante 25 minutos.

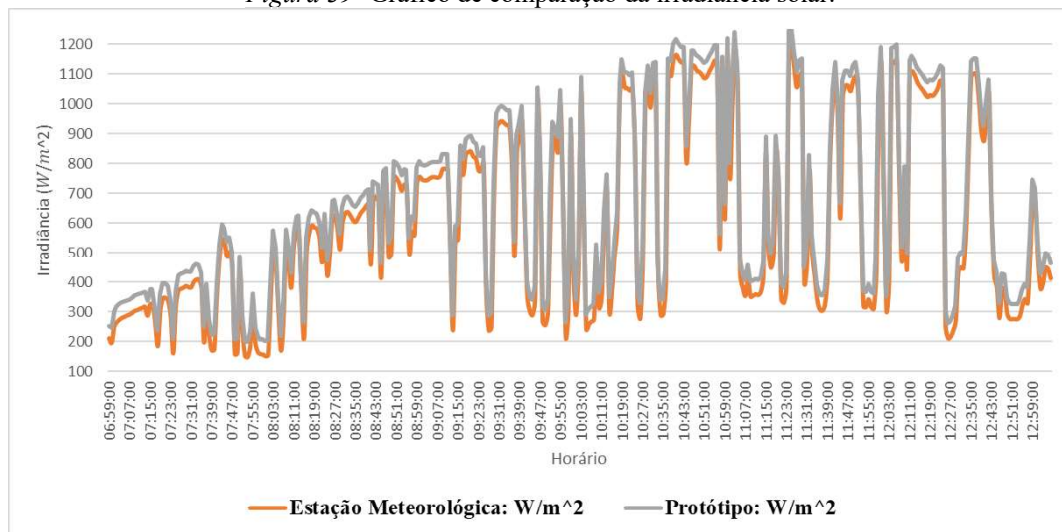
Tabela 10- Comparação entre os dados obtidos pelo protótipo e pela estação meteorológica.

Horário	Dados de aquisição do protótipo					Estação meteorológica				
	W/m ²	°C (Ar)	°C Módulo	Umidade (%)	Km/h	W/m ²	°C (Ar)	°C Módulo	Umidade (%)	Km/h
06:59:00	252,50	27,33	34,26	66,11	3,50	228,10	27,98	33,58	65,53	1,52
07:00:00	247,00	27,24	34,35	66,46	3,11	247,00	27,89	33,67	65,88	1,13
07:01:00	302,50	27,26	34,45	66,24	4,39	302,50	27,91	33,77	65,66	2,41
07:02:00	316,00	27,09	34,67	66,20	4,65	316,00	27,74	33,99	65,62	2,67
07:03:00	324,50	27,03	34,84	66,81	4,29	324,50	27,68	34,16	66,23	2,31
07:04:00	330,70	27,00	34,90	66,71	3,19	330,70	27,65	34,22	66,13	1,21
07:05:00	334,30	27,08	35,27	66,57	4,11	334,30	27,73	34,59	65,99	2,13
07:06:00	338,80	27,03	35,53	66,17	3,69	338,80	27,68	34,85	65,59	1,71
07:07:00	341,90	26,98	36,01	66,56	1,98	341,90	27,63	35,33	65,98	0,00
07:08:00	347,70	27,12	36,35	66,43	3,24	347,70	27,77	35,67	65,85	1,26
07:09:00	354,50	27,24	36,39	65,49	4,74	354,50	27,89	35,71	64,91	2,76
07:10:00	357,00	27,20	36,50	65,54	4,01	357,00	27,85	35,82	64,96	2,03
07:11:00	361,50	27,18	36,62	66,03	3,71	361,50	27,83	35,94	65,45	1,73
07:12:00	364,60	27,33	36,92	65,85	3,20	364,60	27,98	36,24	65,27	1,22
07:13:00	367,50	27,40	37,02	64,99	3,69	367,50	28,05	36,34	64,41	1,71
07:14:00	338,60	27,35	37,51	65,13	3,72	338,60	28,00	36,83	64,55	1,74
07:15:00	376,70	27,37	37,72	65,34	1,98	376,70	28,02	37,04	64,76	0,00
07:16:00	375,20	27,61	37,99	64,93	1,98	375,20	28,26	37,31	64,35	0,00
07:17:00	312,40	27,78	38,40	64,02	1,98	312,40	28,43	37,72	63,44	0,00
07:18:00	236,40	27,77	38,42	63,98	1,98	236,40	28,42	37,74	63,40	0,00
07:19:00	359,30	27,81	38,26	63,92	3,62	359,30	28,46	37,58	63,34	1,64
07:20:00	397,10	27,78	38,49	63,98	3,11	397,10	28,43	37,81	63,40	1,13
07:21:00	397,80	27,73	38,56	63,00	3,82	397,80	28,38	37,88	62,42	1,84
07:22:00	388,40	27,77	38,81	62,87	1,98	388,40	28,42	38,13	62,29	0,00
07:23:00	337,60	27,94	38,82	62,57	1,98	337,60	28,59	38,14	61,99	0,00
07:24:00	211,80	27,93	38,78	62,15	1,98	211,80	28,58	38,10	61,57	0,00

Fonte: Autor.

A Figura 39 mostra a comparação entre os dados obtidos pelo piranômetro termopilha da estação meteorológica comercial e o piranômetro fotovoltaico do protótipo.

Figura 39- Gráfico de comparação da irradiância solar.



Fonte: Autor.

Os dados do Piranômetro fotovoltaico do protótipo, figura 39, apresentaram uma grande variação em relação ao Piranômetro termopilha da estação meteorológica comercial. Tais variações são justificadas pelo facto do mini módulo fotovoltaico ser muito sensível qualquer luminosidade, por este motivo o Piranômetro fotovoltaico do protótipo apresenta maior sensibilidade a variações de luminosidades externas, como mostra o cálculo de erro do Piranômetro fotovoltaico do protótipo que foi feito.

Para os cálculos do erro absoluto e relativo do protótipo, foi escolhido um valor de irradiância solar do protótipo e um valor de irradiância solar da estação meteorológica comercial.

$$X_{\text{protótipo}} = 252.5 \text{ W/m}^2$$

$$X_{\text{estação met}} = 228.1 \text{ W/m}^2$$

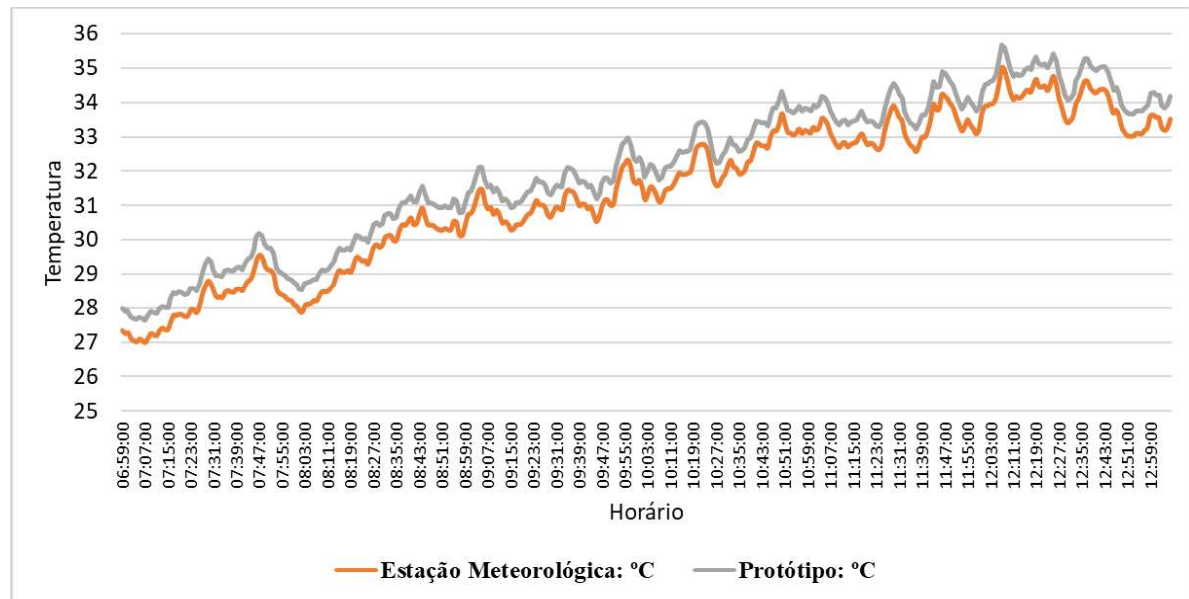
$$\text{Erro absoluto: } X_{\text{protótipo}} - X_{\text{estação met}} = 252.5 - 228.1 = 24.40 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Erro relativo: } \frac{X_{\text{protótipo}} - X_{\text{estação met}}}{X_{\text{estação met}}} * 100\% = \frac{252.5 - 228.1}{228.1} * 100\% = 10.69\%$$

As figuras 40 e 41 ilustram a comparação entre os dados obtidos pelo sensor de temperatura e umidade relativa do ar da estação meteorológica (EE060) e o sensor de temperatura e umidade relativa do ar do protótipo (DHT 11).

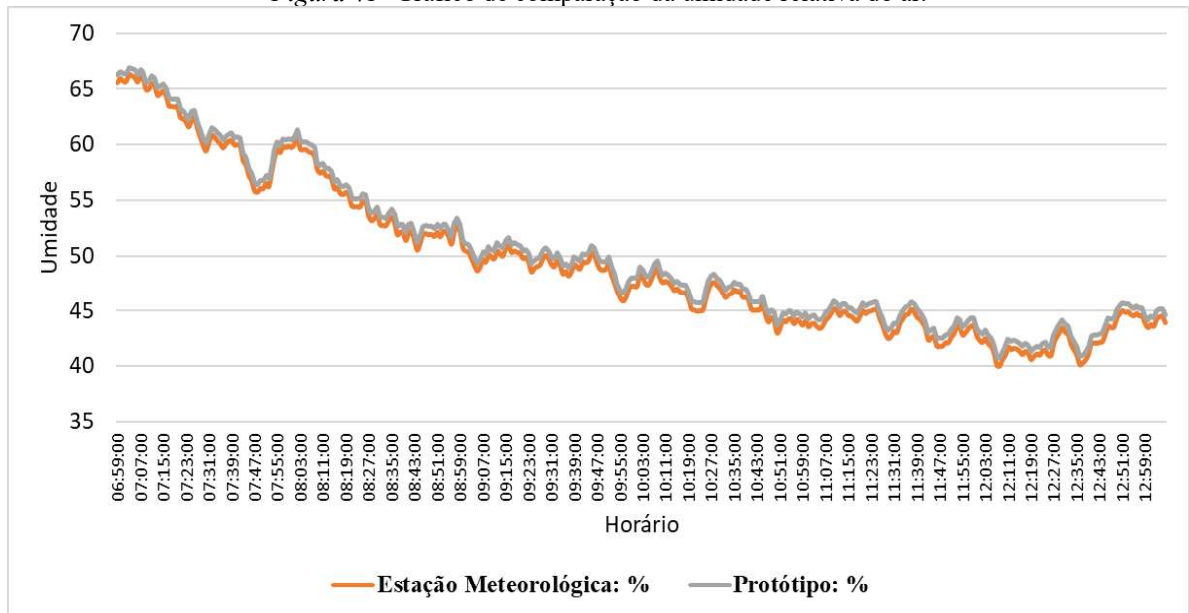
Os dados do sensor DHT 11, as figuras 40 e 41, apresentaram uma pequena variação em relação ao sensor EE060 da estação meteorológica. Tais variações são justificadas pelo facto do sensor EE060 da estação meteorológica ter melhor precisão em relação ao do protótipo.

Figura 40- Gráfico de comparação da temperatura do ar.



Fonte: Autor.

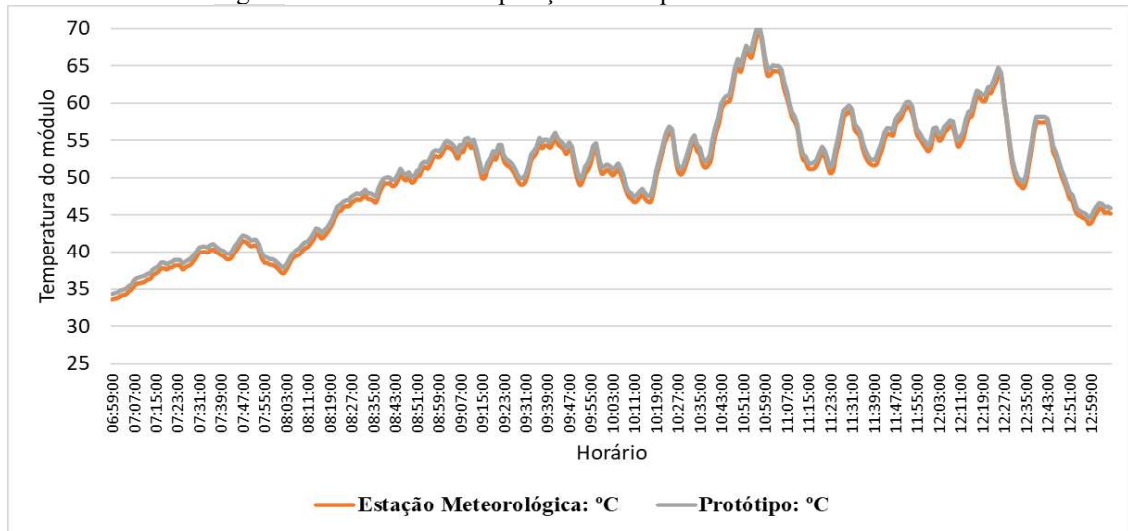
Figura 41- Gráfico de comparação da umidade relativa do ar.



Fonte: Autor.

A figura 42 ilustra a comparação dos dados da temperatura do módulo fotovoltaico realizado pelos sensores termopar tipo K do protótipo e o sensor PT100 da estação meteorológica. Os dados do sensor termopar tipo K do protótipo, apresentaram valores muito próximo em relação ao sensor PT100 da estação meteorológica. Isso se justifica pelo facto do sensor termopar tipo K do protótipo, contar com alta sensibilidade e precisão superiores à 2°C.

Figura 42- Gráfico de comparação da temperatura do módulo fotovoltaico.

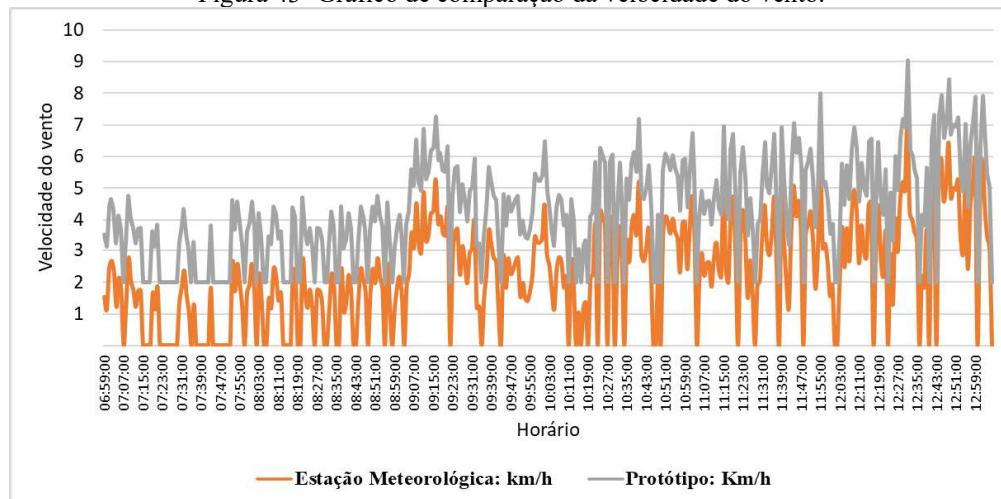


Fonte: Autor.

A figura 43 ilustram a comparação entre os dados obtidos pelo sensor de velocidade do vento da estação meteorológica e o sensor de velocidade do vento do protótipo.

Os dados do sensor de velocidade do vento, como ilustra a figura 43, visualmente, possuem a mesma tendência, o mesmo comportamento, diferindo por um fator de calibração que pode ser identificado na Tabela.

Figura 43- Gráfico de comparação da velocidade do vento.



Fonte: Autor.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho se coloca na fronteira do conhecimento propondo uma solução que permite que dados climatológicos sejam estimados e medidos, através de dispositivos fotossensíveis de baixo custo, em uma estação meteorológica móvel, permitindo que a mesma possa ser utilizada em áreas remotas. A observação e monitoramento dos dados podem ser realizados de forma remota através do uso de uma plataforma IoT, proporcionando ganhos no sentido de deslocamento e agilidade. A partir dos resultados obtidos, constatou-se que o protótipo operou de acordo com as funcionalidades requeridas para o sistema de monitoramento das variáveis climatológicas: irradiância solar, temperatura ambiente, umidade relativa do ar, temperatura do módulo fotovoltaico e a velocidade do vento. A comunicação dos módulos de transmissão e recepção ocorreu de forma satisfatório em todo o processo de teste. E por último, e tão importante, foi observado que o protótipo desenvolvido constitui uma solução de baixo custo, se comparado aos preços de sistemas comerciais disponíveis no mercado, tornando-se extremamente viável para utilização por proprietários de usina fotovoltaicas de pequeno porte, de zonas rurais e em instituições de ensino. A partir dessa proposta, é possível vislumbrar muitas outras funcionalidades que podem ser implementadas para aprimorar a estação, tais como, utilização de técnicas de inteligência artificial para estimação de variáveis de clima futuras. Assim, o presente projeto tem forte impacto para a prospecção de projetos de pesquisa futuros, como também na difusão e incentivo ao investimento em fontes de energias sustentáveis.

7 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, P. M. **Condicionamento da Energia Solar Fotovoltaica para Sistemas Interligados à Rede Elétrica**. 5f. LABSOLAR. Juiz de Fora. 2011.

ARDUINO, 2022. **ARDUINO R3**, Disponível em: < <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno> >. Acesso em: 15 Fev. 2022.

Bastos, Ícaro G. P., De Melo, Gustavo C. G., De Araújo, Ícaro B. Q., Barboza, Erick de A., Vieira, Tiago F., Brito, Davi B., 2020. **Previsão de geração fotovoltaica a partir de dados meteorológicos utilizando rede LSTM**. VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Fortaleza.

BESSO, R. **Sistema solar fotovoltaico conectado à rede – estudo de caso no Centro de Tecnologia da UFRJ**. Monografia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, fevereiro, 2017.

BLOG ELETRÔNICA DE POTÊNCIA, 2020. **Célula fotovoltaica: Tudo que Você Precisa Saber**. Disponível em: < <https://eletronicadepotencia.com/celula-fotovoltaica/>>. Acesso em: 11 Mar. 2022.

CANTOR, G. A. R. **Influência dos Fatores Climáticos no Desempenho de Módulos Fotovoltaicos em Regiões de Clima Tropical**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Energias Renováveis. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

DE PAULA, João Frederico Souza et al. **Confecção e Análise de um Piranômetro Fotovoltaico de Baixo Custo**. In: Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS. 2020.

ENERGIA RENOVÁVEL, 2014. **Tipos de painéis fotovoltaicos**. Disponível em: < <https://www.energiasrenovablesinfo.com/solar/tipos-paneles-fotovoltaicos/> >. Acesso em: 15 Mar. 2022.

ESPRESSIF. **ESP32-DevKitC**. Disponível em: < <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32> >. Acesso em: 19 Jan. 2022.

GIL, Antônio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. São Paulo: Atlas, 1987.

GRNDWORK, 2022. **Estações Meteorológicas para Usinas Solares**. Disponível em: < <https://grndwork.mx/serie-zenith-estaciones-meteorologicas-met-para-plantas-solares/>>. Acesso em: 10 Nov. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Sobre meteorologia**. disponível em: < <https://portal.inmet.gov.br/sobre-meteorologia> >. Acesso em: 28 Fev. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Sobre o inmet**. disponível em: < <https://portal.inmet.gov.br/sobre> >. Acesso em: 28 Fev. 2022.

INSTITUTO NEWTON C. BRAGA. **Monitoramento de Temperatura Ambiente e Umidade Relativa do Ar via Internet**. Disponível em:< <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/microcontrolador/143-tecnologia/14409->

monitoramento-de-temperatura-ambiente-e-umidade-relativa-do-ar-via-internet >. Acesso em: 20 Fev. 2022.

SOUZA, A. ARISTONE, F. OLIVEIRA, A. P. G. RODRIGUES, V. S. MELLO, G. O. S. **Efeito da temperatura ambiente e da velocidade do vento no desempenho de módulos solares fotovoltaico**. Revista Interespaço, Vol 4, nº 15, pg. 362-375, 2018.

TAMIZHMANI, G. *Et al.* **Photovoltaic module thermal/wind performance: Long - Term Monitoring and Model Development For Energy Rating**. Arizona State University East, Photovoltaic Testing Laboratory, NCPV and Solar Program Review Meeting. Meza, Arizona. 2003.

PEREIRA, Helisa Moreira Peixoto; MENDES, Luiz Fernando Rosa. **Análise de rendimento do sistema de bombeamento de água por energia solar fotovoltaica para irrigação de um viveiro de mudas**. Vértices (Campos dos Goitacazes), v. 21, n. 3, p. 463-494, 2019.

VIANA, Carol Correia. Blog da Robótica, 2020. **Medindo temperatura e umidade usando o sensor DHT11**. Disponível em: <<https://www.blogdarobotica.com/2020/10/29/medindo-temperatura-e-umidade-usando-o-sensor-dht11/>>. Acesso em: 14 Jan. 2022.

VILLALVA, M.G.; GAZOLI, J.R. **Energia Solar Fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Érica, 2012.

WIKIPEDIA. **Termopar tipo K (cromel – alumel)**. Disponível em: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Thermocouple>>. Acesso em: 12 Mar. 2022.

SIGMA SENSORS. **Anemômetro**. Disponível em: <<https://sigmasensors.com.br/produtos/sensor-de-velocidade-do-vento-reed>>. Acesso em: 12 Mar. 2022.

TICMAKER. **Configurando o sensor DHT11 no Home Assistant**. Disponível em: <<https://pertiga.es/ticmaker/home-assistant/configurar-dht11-en-home-assistant/>>. Acesso em: 23 Jan. 2022.

SMART KITS. **Mini Placa Solar Fotovoltaica 0,5V 160mA 53x18mm**. Disponível em: <<https://www.smartkits.com.br/mini-placa-solar-fotovoltaica-0-5v-160ma-53x18mm>>. Acesso em: 24 Mar. 2022.

ARDUINO E CIA. **Detectando campos magnéticos com o Sensor Hall KY-003**. Disponível em: <<https://www.arduinoecia.com.br/sensor-hall-ky-003-arduino/>>. Acesso em: 13 Fev. 2022.

SOLARDUINO. **DIY Irradiation Meter with Arduino**. Disponível em: <<https://solarduino.com/diy-irradiation-meter-with-arduino/>>. Acesso em: 05 Nov. 2022.

CEMTEC. **Instrumentos Meteorológicos**. Disponível em: <<https://www.cemtec.ms.gov.br/instrumentos-meteorologicos/>>. Acesso em: 08 Jan. 2023.

SOUZA, MARCO POLO MORENO DE. **Curso Básico de Arduino**. Disponível em: <<http://www.arduino.unir.br/images/downloads/apostila-arduino.pdf>>. Acesso em: 20 Jan. 2022.

BAÚ DA ELETRÔNICA. **Arduino Uno R3 + Cabo USB 2.0 - A-B**. Disponível em: < <https://www.baudaeletronica.com.br/arduino-uno-r3.html> >. Acesso em: 25 Nov. 2022.

ALIEXPRESS. **Placa de desenvolvimento bluetooth, esp32, esp32, esp32, esp32, visual, cp2102, sem fio, micro usb, dual core**. Disponível em: < <https://m.pt.aliexpress.com/i/32996463686.html> >. Acesso em: 01 Nov. 2022.

XPROJETOS.NET. **ESP32 – Especificação Técnica**. Disponível em: < <https://xprojetos.net/esp32-especificacao-tecnica/> >. Acesso em: 15 Nov. 2022.

JOOM. **NRF24L01 2.4ghz Transceiver Antenna PA LNA Wireless Module com antena de 1000 metros de distância para Arduino Raspberry Pi**. Disponível em: < <https://www.joom.com/pt-br/products/5de0870d36b54d0101232962> >. Acesso em: 10 Fev. 2022.

MASTERWALKER. **Módulo Transceptor Wireless NRF24L01 2.4GHz com Antena**. Disponível em: < <https://www.masterwalkershop.com.br/modulo-transceptor-wireless-nrf24l01-24ghz-com-antena>>. Acesso em: 09 Fev. 2022.

INDIAMART. **SEES Data Logger Shield For Arduino**. Disponível em: < <https://www.indiamart.com/proddetail/data-logger-shield-for-arduino-20434062791.html>>. Acesso em: 10 Mar. 2022.

ELETROGATE. **Data Logger Shield para Arduino com RTC DS1307**. Disponível em: < <https://www.eletrogate.com/data-logger-shield-para-arduino-com-rtc-ds1307>>. Acesso em: 09 Mar. 2022.

CIRCUITO FACIL. **Módulo Sensor de Temperatura e Umidade DHT11**. Disponível em: < <https://www.circuitofacil.com.br/produto/modulo-sensor-de-temperatura-e-umidade-dht11/>>. Acesso em: 10 Fev. 2023.

GEEK FACTORY. **Módulo de interface de termopar tipo K MAX6675**. Disponível em: < <https://www.geekfactory.mx/tienda/modulos/max6675-modulo-interfaz-para-termopar-tipo-k/>>. Acesso em: 11 Fev. 2023.

ELETRONIK LV. **MODULO MAX6675 COM TERMOPAR TIPO K**. Disponível em: < <https://eletroniklv.com.br/modulo-max6675-com-termopar-tipo-k>>. Acesso em: 10 Fev. 2023.

VIDA DE SILÍCIO. **Módulo sensor Hall Ky-003**. Disponível em: < <https://www.vidadesilicio.com.br/produto/modulo-sensor-hall-ky-003/>>. Acesso em: 12 Fev. 2023.

CASA DA ROBÓTICA. **Trimpot / Potenciômetro 10K Multivoltas 3296 - Vertical**. Disponível em: < <https://www.casadarobotica.com/componentes-eletronicos/componentes/resistor/trimpot-potenciometro-multivoltas-10k>>. Acesso em: 13 Fev. 2023.

FRITZING. **Difinição de fritzing**. Disponível em: < <https://fritzing.org/>>. Acesso em: 13 Mar. 2022.

APÊNDICE A – CÓDIGO UTILIZADO NO PROTÓTIPO-TRANSMISSOR

```

//*****
#include <SPI.h>
#include <RH_NRF24.h>
#include <SD.h>
#include <max6675.h>
#include "RTCLib.h"
#include <dht.h>
dht DHT;
#define DHT11_PIN A2
RH_NRF24 nrf24(7, 8); //CE, CS digital
const int chipSelect = 10; //SD card CS
int ktcSO = 3; //PINO DIGITAL (SO)
int ktcCS = 4; //PINO DIGITAL (CS)
int ktcCLK = 5; //PINO DIGITAL (CLK / SCK)
MAX6675 ktc(ktcCLK, ktcCS, ktcSO);
RTC_DS1307 rtc;
File file;
// ----- IRRADIAÇÃO ----- //
#define ANALOG_PIN A1
#define R 1000
#define C_PAINEL 0.053
#define L_PAINEL 0.018
volatile float A;
volatile float P;
volatile float Irradiancia;
volatile float Isc;
// ----- //
float humidity;
float temperature;
float temp_modulo;
volatile byte Rotacao;
float rpm;
float speed;
float status_speed;
unsigned long timeold=0 ;
void setup(){
  Serial.begin(115200);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), rpm_fun, RISING);
  Rotacao = 0;
  rpm = 0;
  timeold = 0;
  SD.begin(chipSelect); // INICIALIZA O CARTAO SD
  rtc.begin(); // INICIALIZA O RELÓGIO
  Initialize_SDcard(); // VERIFICA SE TEM CARTAO
  Initialize_PlxDaq();

  while (!Serial);
  // RF
  Serial.print("Status RF: ");
  if (!nrf24.init()) {
    Serial.println("Falha RF");
  } else {

```

```

    Serial.println("Sucesso");
}
if (!nrf24.setChannel(3)){
    Serial.println("setChannel failed");
} else {
    Serial.println("setChanne ok");
}
if (!nrf24.setRF(RH_NRF24::DataRate2Mbps, RH_NRF24::TransmitPower0dBm)) {
    Serial.println("RF falha");
}
}
}
void loop() {
//*****
int chk = DHT.read11(DHT11_PIN);
humidity = DHT.humidity;
temperature = DHT.temperature;
temp_modulo=ktc.readCelsius();
// *****
delay(10);

A = C_PAINEL * L_PAINEL;
Vsc=analogRead( ANALOG_PIN );
P = (pow(Vsc, 2))/R;
Irradiancia = P/A;
if (Rotacao >= 1) {
    rpm = ((float)Rotacao)/(millis()-timeold);
    timeold = millis();
    Rotacao = 0;
    speed = rpm*1.288053600;
}
uint8_t data[6];
data[0] = humidity;
data[1] = temperature;
data[2] = Irradiation;
data[3] = temp_modulo;
data[4] = speed;
Serial.println("----- BEM-VINDO A PGERC -----");
Serial.println("----- status sistema -----");
Initialize_SDcard();
if (isnan(humidity) || isnan(temperature)){
    Serial.println(F("Falha DHT sensor!"));
}
Serial.println("-----");
// MONITOR SERIAL
Write_PlxDaq(data[0], data[1], data[2], data[3], data[4]);
Write_SDcard();
nrf24.send(data, sizeof(data));
nrf24.waitPacketSent();
uint8_t buf[RH_NRF24_MAX_MESSAGE_LEN];
uint8_t len = sizeof(buf);
delay(200);
}

void rpm_fun()
{

```

```

    Rotacao++;
}
//*****
//Serial monitor informacoes de hora
void Write_PlxDaq(float dado_0, float dado_1, float dado_2, float dado_3, float dado_4){
    DateTime now = rtc.now();
    Serial.print(now.day() < 10 ? "0" : "");
    Serial.print(now.day(), DEC);
    Serial.print('/');
    Serial.print(now.month() < 10 ? "0" : "");
    Serial.print(now.month(), DEC);
    Serial.print('/');
    Serial.print(now.year(), DEC);
    Serial.println(' ');
    Serial.print(now.hour() < 10 ? "0" : "");
    Serial.print(now.hour(), DEC);
    Serial.print(':');
    Serial.print(now.minute() < 10 ? "0" : "");
    Serial.print(now.minute(), DEC);
    Serial.print(':');
    Serial.print(now.second() < 10 ? "0" : "");
    Serial.print(now.second(), DEC);
    Serial.println(" ");
    Serial.print("Temperatura do modulo: ");
    Serial.print(dado_3);
    Serial.println("°C");
    Serial.print("Temperatura ambiente: ");
    Serial.print(dado_1);
    Serial.println("°C");
    Serial.print("Humidade relativa do ar: ");
    Serial.print(dado_0);
    Serial.println("%");
    Serial.print("irradiação: ");
    Serial.print(dado_2);
    Serial.println(" W/m²");
    Serial.print("velociade: ");
    Serial.print(speed);
    Serial.println("km/h");
    Serial.println();
}
void Initialize_PlxDaq(){
    Serial.println("CLEARDATA");
}
void Write_SDcard(){
    DateTime now = rtc.now();
    File dataFile = SD.open("LoggerCD.txt", FILE_WRITE);
    if(dataFile) {
        dataFile.print(now.day() < 10 ? "0" : "");
        dataFile.print(now.day(), DEC);
        dataFile.print('/');
        dataFile.print(now.month() < 10 ? "0" : "");
        dataFile.print(now.month(), DEC);
        dataFile.print('/');
        dataFile.print(now.year(), DEC);
        dataFile.print(',');
    }
}

```

```

dataFile.print(now.hour() < 10 ? "0" : "");
dataFile.print(now.hour(), DEC);
dataFile.print(':');
dataFile.print(now.minute() < 10 ? "0" : "");
dataFile.print(now.minute(), DEC);
dataFile.print(':');
dataFile.print(now.second() < 10 ? "0" : "");
dataFile.print(now.second(), DEC);
dataFile.print(",");
dataFile.print(humidity);
dataFile.print(",");
dataFile.print(temperature);
dataFile.print(",");
dataFile.print(Irradiancia);
dataFile.print(",");
dataFile.print(temp_modulo);
dataFile.print(",");
dataFile.print(speed);
dataFile.print(",");
dataFile.println();
dataFile.close();
} else {
  Serial.println("OOPS!! FALHA NO CARTÃO SD");
}
}
}
void Initialize_SDcard(){
  //Inicia o cartao SD
  Serial.print("Status cartao_SD: ");
  if(SD.begin(chipSelect)){
    Serial.println("iniciado. OK");
  } else {
    Serial.println("Falha ou nao inserido");
    return;
  }
}
}
//*****

```


APÊNDICE A – CÓDIGO UTILIZADO NO RECEPTOR

```

//*****
#include <ESP32Ping.h>
#include <RH_NRF24.h>
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <WiFi.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include "Adafruit_MQTT.h"
#include "Adafruit_MQTT_Client.h"
#include "BluetoothSerial.h"

// PORTAS PARA OS LEDS
const int led1 = 27; // IDENTIFICAR SE TA LIGADO O DISPOSITIVO
const int led2 = 25; // SE TEM CONEXAO WIFI
const int led3= 33; // SE TEM INTERNET
const int led4 = 32; // SE TEM COMUNICAÇÃO COM ANTENA

// STATUS INICIAIS DOS LEDS
int status_led1 = 1;
int status_led2 = 1;
int status_led3 = 1;
int status_led4 = 1;

RH_NRF24 nrf24(4, 5); // PORTAS MODULO RF

const char *ssid = "PGERC_UNILAB"; // NOME DO WIFI
const char *pass = "labpgerc"; // SENHA DA REDE WiFi

WiFiClient client;

#define MQTT_SERV "io.adafruit.com"
#define MQTT_PORT 1883
#define MQTT_NAME "nginga"
#define MQTT_PASS "aio_PUOR16UIYJw1xWp6mijvYnvZjI9F"

Adafruit_MQTT_Client mqtt(&client, MQTT_SERV, MQTT_PORT, MQTT_NAME,
MQTT_PASS);
Adafruit_MQTT_Publish S_data = Adafruit_MQTT_Publish(&mqtt, MQTT_NAME
"/f/Temperatura");
Adafruit_MQTT_Publish T_data = Adafruit_MQTT_Publish(&mqtt, MQTT_NAME
"/f/Umidade");
Adafruit_MQTT_Publish F_data = Adafruit_MQTT_Publish(&mqtt, MQTT_NAME
"/f/TEMPERATURA DO MÓDULO");
Adafruit_MQTT_Publish P_data = Adafruit_MQTT_Publish(&mqtt, MQTT_NAME
"/f/Irradiancia");
Adafruit_MQTT_Publish G_data = Adafruit_MQTT_Publish(&mqtt, MQTT_NAME

```

```
"/f/VELOCIDADE DO VENTO");
```

```
BluetoothSerial SerialBT;
```

```
void setup(){
```

```
  pinMode (led1, OUTPUT); // LED STATUS POWER
```

```
  pinMode (led2, OUTPUT); // LED STATUS WIFI
```

```
  pinMode (led3, OUTPUT); // LED STATUS INTERNET
```

```
  pinMode (led4, OUTPUT); // LED STATUS RF
```

```
  digitalWrite (led1, HIGH); // LED = INFORMA QUE O DISPOSITIVO TA LIDAGADP
```

```
  Serial.print("INICIO");
```

```
  SerialBT.begin("PROTOTIPO-PGERC"); //Bluetooth device name
```

```
  Serial.println("");
```

```
  Serial.begin(115200);
```

```
  Serial.print("RF: ");
```

```
  Serial.print("Connecting to ");
```

```
  nrf24.init();
```

```
  nrf24.setChannel(3);
```

```
  nrf24.setRF(RH_NRF24::DataRate2Mbps, RH_NRF24::TransmitPower0dBm);
```

```
  WiFi.begin(ssid, pass); // INICIA A LIB DO WIFI
```

```
  // NAO COLOCAR A VERIFICAÇÃO DE WIFI AQUI. JA TEM UMA FUNCAO NO LOOP
```

```
  wifi_connect_setup();
```

```
  internet_connect_setup();
```

```
  rf_connect_setup();
```

```
}
```

```
void loop(){
```

```
  //wifi_connect();
```

```
  //internet_connect();
```

```
  if (nrf24.available()){
```

```
    uint8_t buf[RH_NRF24_MAX_MESSAGE_LEN];
```

```
    uint8_t len = sizeof(buf);
```

```
    if (nrf24.recv(buf, &len)){
```

```
      uint8_t sdata[] = "Data Received.";
```

```
      nrf24.send(sdata, sizeof(sdata));
```

```
      nrf24.waitPacketSent();
```

```
      float humidity = buf[0];
```

```

float temperature = buf[1];
float irradiancia = buf[2];
float temp_modulo=buf[3];
float velocidade=buf[4];

Serial.println("---- BEM-VINDO A PGERC ----");
Serial.print("Humidity:");
Serial.println(humidity);
Serial.print("Temperature:");
Serial.println(temperature);
Serial.print("Irradiancia: ");
Serial.println(irradiancia);
Serial.print("Temp_modulo:");
Serial.println(temp_modulo);
Serial.print("Velocidade:");
Serial.println(velocidade);

MQTT_connect();

S_data.publish(irradiancia);
T_data.publish(temperature);
F_data.publish(humidity);
P_data.publish(temp_modulo);
G_data.publish(velocidade);
//delay(500);

SerialBT.println(irradiancia);
SerialBT.println(";");
SerialBT.println(temperature);
SerialBT.println(";");
SerialBT.println(humidity);
SerialBT.println(";");
SerialBT.println(temp_modulo);
SerialBT.println(";");
SerialBT.println(velocidade);
SerialBT.println(";");
}
//delay(200);
}

wifi_connect(); // FUNCAO PARA VERIFICAR SE TA CONECTADO AO WIFI
internet_connect(); // FUNCAO PARA VERIFICAR A INTERNET
rf_connect(); // FUNCAO PARA VERIFICAR A ANTENA RF
}

void MQTT_connect() {
  int8_t again;
  if (mqtt.connected()) {
    return;
  }
}

```

```

Serial.print("Connecting to Adafruit IO");
uint8_t retry = 5;

if ((again = mqtt.connect()){// != 0) {

    Serial.println(mqtt.connectErrorString(again));
    mqtt.disconnect();
    //delay(500);
}

Serial.println("");
}

void wifi_connect_setup() {
if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(200);
    digitalWrite (led2, status_led2); // turn on the LED
    status_led2 = !status_led2;
    Serial.println("mnao tem sinal wifi");
    delay(200);
}

if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
    digitalWrite (led2, 1); // turn on the LED
    Serial.println("tem sinal wifi");
}
}

void wifi_connect() {

if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(200);
    digitalWrite (led2, status_led2); // turn on the LED
    status_led2 = !status_led2;
    Serial.println("mnao tem sinal wifi");
    delay(200);
}

if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
    digitalWrite (led2, 1); // turn on the LED
    // Serial.println("tem sinal wifi");
}
}

void internet_connect_setup() {

if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {

```

```

bool success = Ping.ping("www.google.com", 3); // VERIFICA SE TEM INTERNET

if (!success) {

    delay(200);
    digitalWrite (led3, status_led3); // turn on the LED
    status_led3 = !status_led3;
    Serial.println("Com WiFi - Mas sem internet");
    delay(200);

} else{

    digitalWrite (led3, 1); // turn on the LED
    Serial.println("Com wifi e com internet");
}
} else {

    delay(200);
    digitalWrite (led3, status_led3); // turn on the LED
    status_led3 = !status_led3;
    Serial.println("Sem wifi e sem internet");
    delay(200);
}
}

void internet_connect() {

if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {

    bool success = Ping.ping("www.google.com", 3); // VERIFICA SE TEM INTERNET

    if (!success) {

        delay(200);
        digitalWrite (led3, status_led3); // turn on the LED
        status_led3 = !status_led3;
        //Serial.println("Com WiFi - Mas sem internet");
        delay(200);

    } else{

        digitalWrite (led3, 1); // turn on the LED
        // Serial.println("Com wifi e com internet");
    }
} else {

    delay(200);
    digitalWrite (led3, status_led3); // turn on the LED
    status_led3 = !status_led3;
    Serial.println("Sem wifi e sem internet");
}
}

```

```

    delay(200);
  }
}

void rf_connect_setup() {

  if (!nrf24.available()){

    delay(200);
    digitalWrite (led4, status_led4); // turn on the LED
    status_led4 = !status_led4;
    Serial.println("mnao tem sinal RF");
    delay(200);

  } else {

    digitalWrite (led4, 1); // turn on the LED
    Serial.println("tem sinal rf");

  }
}

void rf_connect() {

  if (!nrf24.available()){

    delay(200);
    digitalWrite (led4, status_led4); // turn on the LED
    status_led4 = !status_led4;
    Serial.println("mnao tem sinal RF");
    delay(200);

  } else {

    digitalWrite (led4, 1); // turn on the LED
    // Serial.println("tem sinal rf");

  }
}

//*****

```