

**UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES
PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CÂMPUS DE ERECHIM
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

MARCOS ISMAEL SCHULTZ

**MONITORAMENTO DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS
APLICADO À AGRICULTURA DE PRECISÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ERECHIM - RS
2020**

MARCOS ISMAEL SCHULTZ

**MONITORAMENTO DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS
APLICADO À AGRICULTURA DE PRECISÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharias e Ciência da Computação da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Câmpus de Erechim.

Orientador: Prof. Ma. Camila Sampaio dos Reis.

**ERECHIM - RS
2020**

MARCOS ISMAEL SCHULTZ

**MONITORAMENTO DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS
APLICADO À AGRICULTURA DE PRECISÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharias e Ciência da Computação da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Câmpus de Erechim.

Erechim, 9 de dezembro de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ma. Camila Sampaio dos Reis (Orientadora)
URI - Erechim

Prof. Me. Adilson Luís Stankiewicz (Examinador)
URI - Erechim

Prof. Me. Claodomir Martinazzo (Examinador)
URI - Erechim

Dedico este trabalho aos meus pais, irmãos, e a minha namorada pelo apoio, carinho e confiança.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço sempre a Deus, pela vida, família, amigos, sabedoria e todas as bênçãos que tenho!

Agradeço aos meus pais Adelar Vilfred Schultz e Gisela Heimann Schultz pelo apoio e incentivo, durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos meus irmãos Martin Daniel Schultz e Thomas Gabriel Schultz, pela companhia, ajuda incondicional e parceria, para todos os projetos que tenho.

Agradeço a minha namorada Suélen Bampi, por todo apoio, ajuda, incentivo e carinho que recebi e sempre recebo em minha vida.

Agradeço a minha professora orientadora Camila Sampaio dos Reis, por toda a parceria e amizade cultivada durante a graduação, e pela orientação sábia e rica em conhecimento.

Agradeço ao professor Adilson Luís Stankiewicz, pela amizade e parceria, por ser um professor incrível, e principalmente por ser um dos principais responsáveis pela existência e grande qualidade do curso de Engenharia Elétrica da universidade.

Agradeço a equipe técnica da universidade, em especial, a Marciele Schwanke, por todo o esforço que dedica em auxiliar todos os alunos a quem a sua experiência e conhecimento são solicitados.

Agradeço ao Gustavo Pansera, pela amizade, conhecimento e grande auxílio durante todo o desenvolvimento deste trabalho, por ajudar a entender diversas tecnologias utilizadas, por fornecer equipamento e ferramentas, além de auxiliar com grande conhecimento na área da eletrônica.

Agradeço ao Izair Antonio Bessegato Júnior, pela amizade formada durante a graduação, pela troca de conhecimento e aprendizado durante todo o curso, e pela constante e dedicada ajuda que oferece sempre que algo lhe é solicitado.

Por fim, agradeço a todos os demais companheiros de graduação, pela amizade, apoio e incentivo durante essa caminhada.

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de variáveis ambientais aplicado à agricultura de precisão. Para contextualizar o tema, uma revisão de literatura foi realizada, visando encontrar possíveis soluções existentes para o sistema proposto. Inicialmente foi determinada a metodologia e os sensores necessários para o projeto. A partir disso foi desenvolvido o sistema de comunicação utilizando o módulo E32-TTL-100 em conjunto com o Esp32. Os dados recebidos pelo microcontrolador foram inseridos em um banco de dados *online* que foi construído e hospedado utilizando o serviço de hospedagem compartilhada da *Hostinger*. As plataformas experimentais foram projetadas e implementadas, a fim de que a proposta fosse aplicada em ambiente prático. Para validação dos resultados foram realizadas medições por um intervalo de 14 dias, com intuito de obter dados consistentes a respeito das plataformas desenvolvidas e da confiabilidade dos dados coletados no local monitorado. *Softwares* como PSIM® e PROTEUS® foram utilizados para análises e desenvolvimento dos circuitos e sistemas de comunicação, além outros *softwares* como UNITY®, capazes de auxiliar no desenvolvimento do banco de dados e interface de usuário. Os resultados obtidos mostraram-se extremamente promissores e coerentes com o esperado, onde os módulos desenvolvidos apresentaram-se estáveis e confiáveis, autossuficientes em termos de energia, e abrangentes em aplicações diversas.

Palavras-chave: Monitoramento ambiental. Agricultura de precisão. Microcontrolador. Comunicação. *LoRa*.

ABSTRACT

This work presents the development of a monitoring system for environmental variables applied to precision agriculture. To contextualize the theme, a literature review was carried out, in order to find possible existing solutions for the proposed system. Initially, the methodology and sensors needed for the project were determined. From this, the communication system was developed using the E32-TTL-100 module together with Esp32. The data received by the microcontroller were inserted into an online database that was built and hosted using Hostinger's shared hosting service. The experimental platforms were designed and implemented, so that the proposal could be applied in a practical environment. In order to validate the results, measurements were taken over an interval of 14 days, in order to obtain consistent data regarding the developed platforms and the reliability of the data collected at the monitored location. Software such as PSIM® and PROTEUS® were used for analysis and development of circuits and communication systems, in addition to other software such as UNITY®, capable of assisting in the development of the database and user interface. The results obtained proved to be extremely promising and consistent with the expected, where the developed modules were stable and reliable, self-sufficient in terms of energy, and comprehensive in different applications.

Keywords: Environmental Monitoring. Precision Agriculture. Microcontroller. Communication. *LoRa*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplos de conversão de energia efetuadas pelos sensores	17
Figura 2 – Variações de anemômetros utilizados comercialmente	19
Figura 3 – Medidor automático de chuva tipo basculante.....	20
Figura 4 – Comparativo entre a taxa de dados e o alcance de diferentes tecnologias.....	21
Figura 5 – Diagrama de pinos do Esp32-DevKit	23
Figura 6 – Controlador de carga utilizado em sistemas fotovoltaicos.....	24
Figura 7 – Desenho esquemático de uma bateria	25
Figura 8 – Procedimentos metodológicos do trabalho	27
Figura 9 – Circuito da placa do módulo de medição.....	35
Figura 10 – Circuito do conversor <i>Buck</i>	37
Figura 11 – Formas de onda: tensão na saída, corrente no indutor e chaveamento	37
Figura 12 – Formas de onda ampliadas: tensão na saída, corrente no indutor e chaveamento	38
Figura 13 – Circuito da placa do módulo de recebimento das informações.....	39
Figura 14 – Circuito projetado do controlador de carga.....	40
Figura 15 – Código utilizado no microcontrolador do controlador de carga	41
Figura 16 - Simulação das tensões no circuito controlador de carga	41
Figura 17 – PCB do módulo de medições	42
Figura 18 – PCB do módulo de recebimento das informações	43
Figura 19 – Visualização 3D da placa do módulo de medições	44
Figura 20 – Visualização 3D da placa do módulo de recebimento das informações	44
Figura 21 – Visualização 3D do módulo de medições	45
Figura 22 – Módulos de medições construídos	46
Figura 23 – Circuitos internos dos módulos de medições.....	47
Figura 24 – Módulo de recebimento das informações	48
Figura 25 – Fluxograma referente ao código do módulo de medições	49
Figura 26 – Fluxograma referente ao código do módulo de recebimento das informações.....	49
Figura 27 – Placa do módulo de medições	52
Figura 28 – Tensões do painel solar, e da saída do LM317T, sem a bateria conectada.....	53
Figura 29 – Tensões do painel solar, e da saída do LM317T, com bateria a conectada	54
Figura 30 – Tensões após a saída do LM317T, e após a saída do conversor buck.	55
Figura 31 – Comparação de temperatura medida pelo BME-280 e pelo <i>Datalogger</i>	56
Figura 32 – Comparação da umidade medida pelo sensor BME-280 e pelo <i>Datalogger</i>	56

Figura 33 – Interface do aplicativo móvel.....	58
Figura 34 – Código em blocos, do aplicativo móvel.....	58
Figura 35 - Localização dos módulos durante o período de testes	59
Figura 36 – Interface de login do programa de monitoramento desenvolvido.....	63
Figura 37 – Interface principal do programa de visualização das variáveis.....	64
Figura 38 – Visualização dos dados em tempo real	64
Figura 39 – Interface com o histórico de dados de um módulo de monitoramento	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Especificações Esp32	22
---------------------------------------	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AUX	Conexão auxiliar
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i>
EEPROM	<i>Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
FIFO	<i>First In, First Out</i>
GND	Referência de aterramento do circuito
IDE	<i>Integrated development Environment</i>
InnoDB	Mecanismo de armazenamento para MySQL
IOT	Internet das coisas
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
LPWAN	<i>Low power Wide Area Network</i>
MySQL	Sistema de Gerenciamento de banco de dados
PCB	Placa de circuito impresso
PHP	<i>Personal Home Page</i>
PIB	Produto Interno Bruto
SGBD	Sistema de gerenciamento de banco de dados
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
SQL	<i>Structured Query Language</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
USB	<i>Universal serial bus</i>
URL	<i>Uniform Resource Locator</i>
VSAT	<i>Very Small Aperture Terminal</i>
WLAN	Rede de área local sem fio
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

A_{ut}	Autonomia [h]
C	Capacidade da bateria [Ah]
D	<i>Duty cycle</i>
f	Frequência de chaveamento [Hz]
i	Corrente [A]
I_{max}	Corrente máxima no indutor [A]
L	Indutância [H]
N	Número de interrupções
P	Perímetro [m]
r	Raio do sensor [m]
R	Resistência da carga [Ω]
T	Período de amostragem [s]
V_m	Velocidade de rotação do sensor [m/s]
V_k	Velocidade de rotação do sensor [km/h]
V_{out}	Tensão de saída do conversor [V]
V_s	Tensão de entrada do conversor [V]

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Objetivos	16
1.1.1 Objetivo geral	16
1.1.2 Objetivos específicos	16
2 REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 Sensores.....	17
2.2 Sensor BME280	18
2.3 Anemômetro	18
2.3.1 Anemômetros Rotacionais.....	18
2.4 Pluviômetro.....	19
2.5 Sistema de comunicação de grande área.....	20
2.5.1 LoRa.....	21
2.6 Microcontroladores.....	21
2.6.1 Esp32	22
2.6.2 Esp32 Devkit	22
2.7 Painéis fotovoltaicos	23
2.8 Controladores de carga.....	23
2.9 Baterias, vida útil e autonomia	24
2.10 Revisão de Literatura.....	25
3 METODOLOGIA	27
3.1 Variáveis monitoradas, microcontrolador e sensores.....	28
3.1.1 Temperatura, umidade relativa do ar e pressão barométrica	28
3.1.2 Velocidade do vento	28
3.1.3 Precipitação pluviométrica	29
3.1.4 Microcontrolador	30
3.2 Códigos e plataformas.....	31
3.3 Validação da calibração dos sensores.....	31
3.4 Sistemas de alimentação	32
3.4.1 Controlador de carga.....	33
3.5 Dispositivos de comunicação	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
4.1 Simulações.....	34
4.1.1 Simulações dos circuitos do módulo de medições e do módulo receptor	34
4.1.2 Simulações dos circuitos do controlador de carga.....	39
4.1.3 Esquemáticos de circuito impresso.....	42
4.2 Construção dos protótipos.....	45
4.2.1 Construção dos módulos.....	45
4.2.2 Programação dos microcontroladores.....	48
4.2.2.1 Comunicação entre módulos	50
4.2.2.2 Conexão com a rede <i>Wi-Fi</i>	50
4.3 Validação do funcionamento do controlador de carga projetado	51
4.4 Validação da calibração dos sensores por comparação.....	55
4.5 Desenvolvimento do aplicativo para dispositivos móveis	57
4.6 Validação do funcionamento dos módulos e da comunicação em mesh.....	59
4.7 Banco de dados e interface para visualização dos dados coletados	60
4.7.1 Inserção de dados no banco de dados	61
4.7.2 Interface para visualização dos dados.....	62

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
5.1 Perspectivas para continuação do trabalho	66
REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

A agricultura vem evoluindo ao longo dos anos. A partir de 1998, os agricultores brasileiros tem tido acesso a aparelhos de colheita mecânica com sistemas de mapeamento, o que vem possibilitando uma análise mais criteriosa da variedade espacial e produtividade nas lavouras (MANTOVANI, 2002).

Para Menendez (2013) o clima está intimamente relacionado à agricultura, pois a quantidade de chuvas, umidade do solo e temperatura do ambiente, constituem alguns dos componentes climáticos presentes no campo durante o ano todo, que afetam diretamente a produção de diversas culturas.

Na avaliação da produção de áreas agrícolas remotas, uma das maiores dificuldades é medir e registrar determinadas características físico-químicas e biológicas do local, impondo grandes desafios para técnicos e agricultores traçarem estratégias de manejo nestas áreas. Acompanhar o desenvolvimento de uma cultura com monitoramento direto no campo, torna-se uma das ações imprescindíveis na tomada de decisões e estabelecimento de critérios, visando a maior sustentabilidade, manejo racional e preservação ambiental (MANTOVANI, 2002).

Neste contexto, Garcia (2018) evidencia que, conhecer, monitorar e registrar dados de eventos que nos cercam, permite que analisemos, conheçamos e façamos previsões das tendências futuras sobre o ambiente. Além disto, o monitoramento de dados coletados através de sensores localizados de forma estratégica auxilia pecuaristas e agricultores a obter melhores resultados na lavoura. Tradicionalmente, os agricultores confiavam em suas experiências e intuição para realizar as diversas tarefas do campo, ano após ano. Porém, ao mudar para as novas tecnologias, com sensores e estatísticas aplicadas, as decisões de grande impacto podem ser tomadas de forma mais racional, analisando os dados em tempo real através dos sensores distribuídos em toda área.

Assim fica evidente para Bernardi (2014) que o monitoramento e a avaliação dos recursos e condições do solo, iniciaram uma nova era em busca da informação e da qualidade de produção em função das novas tecnologias de caráter inovador, como o sistema de informação geográfica e o sensoriamento remoto.

Sobre a agricultura de precisão, destaca-se que se trata de uma técnica de manejo do solo por sítio-específico, com uma amostragem intensiva, que em combinação com métodos geoestatísticos e de modelagem, a transformam na mais avançada abordagem científica desenvolvida para a agricultura. (BERNARDI, 2014)

Mediante este cenário, o presente trabalho busca justamente integrar a informação, para tomada de decisão, aos agricultores e pecuaristas. Tal integração se dá através de protótipos compostos por sensores, processamentos, comunicação a longa distância, e uma interface amigável, onde os dados coletados são dispostos de forma compreensível ao público almejado.

1.1 Objetivos

Os objetivos deste trabalho são classificados em geral e específicos.

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver um sistema remoto auto suficiente, capaz de monitorar variáveis ambientais aplicado à agricultura de precisão em tempo real, comunicar-se com outros módulos de monitoramento nas proximidades, e dispor os dados coletados para consulta e análise, por meio de uma interface simples e intuitiva.

1.1.2 Objetivos específicos

- Pesquisar as principais variáveis ambientais a serem monitoradas na agricultura e pecuária;
- Simular um sistema eficiente para obter dados do ambiente por meio de sensores;
- Projetar um sistema que permita o envio dos dados coletados pela plataforma à um banco de dados *online*;
- Desenvolver a plataforma de monitoramento das variáveis ambientais;
- Desenvolver e validar a comunicação em *mesh* entre plataformas de monitoramento.
- Desenvolver um módulo receptor de informações, responsável por inserir as informações coletadas em um banco de dados *online*;
- Desenvolver um aplicativo para dispositivos móveis, capaz de configurar o módulo de recebimento das informações.
- Desenvolver uma interface com mapa, para a visualização os dados processados.
- Desenvolver um sistema de acesso com usuário e senha, para conseguir acesso a interface desenvolvida.

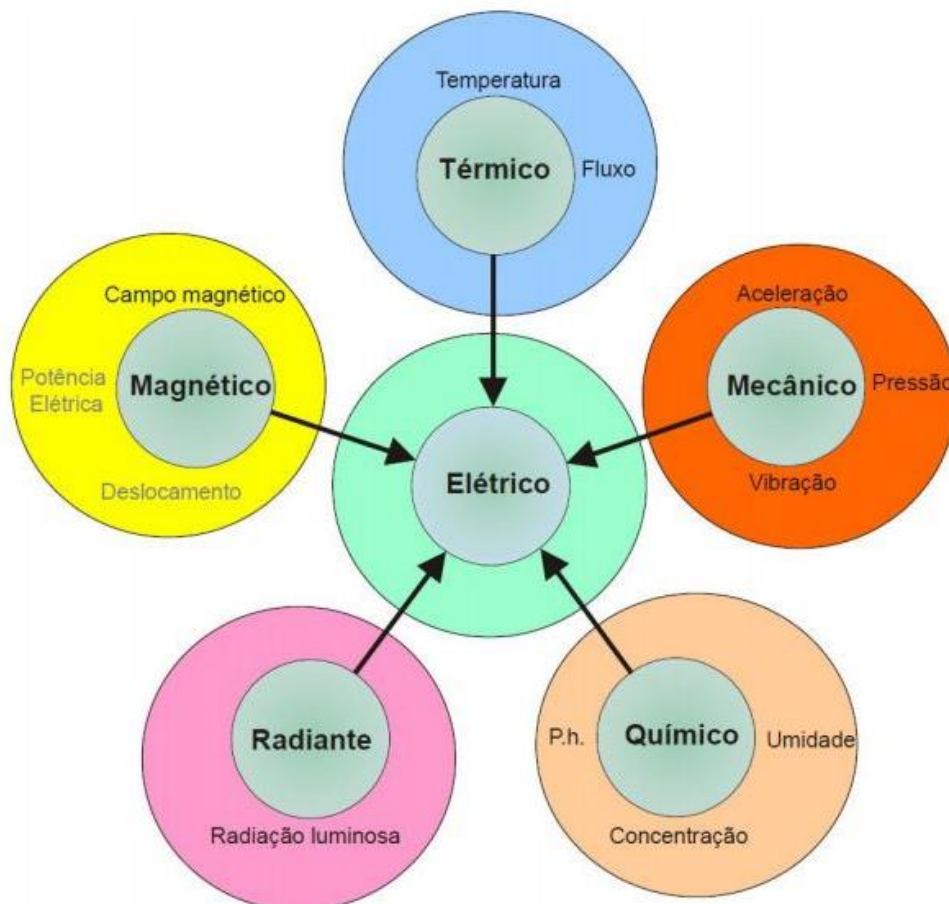
2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo apresenta uma revisão de literatura sobre sensores em geral, sistemas de comunicação, microcontroladores e baterias, explanando conceitos básicos sobre o tema e soluções propostas por outros autores com o objetivo de auxiliar no desenvolvimento do trabalho proposto.

2.1 Sensores

Os sensores são equipamentos fundamentais para a medição das variáveis ambientais. Eles efetuam a conversão da energia associada a um estímulo físico ou químico, como por exemplo, luz, calor, pressão, som, deslocamento particular ou campo magnético, em um sinal elétrico. A Figura 1 ilustra os seis domínios de sinais convertidos pelos sensores com seus principais parâmetros físicos (SILVA, 2013).

Figura 1 – Exemplos de conversão de energia efetuadas pelos sensores



Fonte: Silva (2013)

Os sensores microeletrônicos são construídos a partir do silício, ou outro material semicondutor. Os aspectos construtivos como dimensão, geometria, dopagem, entre outros, definem as características do sensor, sendo elas: resolução, estabilidade, seletividade, precisão, exatidão, tempo de vida, velocidade de resposta, tempo de recuperação, zona morta, histerese, formato de saída e impedância de entrada e saída (SILVA, 2013).

Os sensores podem ser classificados como ativos ou passivos, sendo os passivos, por definição, auto suficientes, isto é, são capazes por si mesmos de gerar um sinal elétrico equivalente à perturbação que estão submetidos, sem necessidade de polarização. Em contrapartida, os sensores ativos, ou modulantes, necessitam de polarização para efetuarem a conversão de energia à que estão submetidos para um sinal elétrico (SILVA, 2013).

2.2 Sensor BME280

O sensor BME280 é um sensor de temperatura, umidade e pressão atmosférica que fornece medições em tempo ágil (1 segundo) e em grandes faixas. A pressão neste sensor varia de 300 hPa a 1100 hPa, a temperatura apresenta uma faixa de variação de -40 °C a 85 °C e a umidade relativa do ar de 0 % a 100 %. Após análises comparativa com sensores similares, por exemplo: BMP180, BME280, DHT11, DHT22 e LM35, Rocha (2019) concluiu que, o BME280 possui o melhor custo benefício entre todos estes sensores avaliados na leitura de pressão, temperatura e umidade, por possuir como características, baixo consumo de energia e apresentar melhores correlações nas medições.

2.3 Anemômetro

Anemômetros são instrumentos que tem como finalidade medir a velocidade de fluidos e, em certos casos também, a direção dos mesmos. A medição de velocidade estende-se à muitas aplicações, dentre as quais se destacam moinhos de vento, túneis de vento, geração de energia elétrica a partir da energia eólica e meteorologia. Alguns modelos de anemômetro para medição de ventos podem ser classificados em tipo concha, tipo hélice e tipo sônico (ALMEIDA, 2004).

2.3.1 Anemômetros Rotacionais

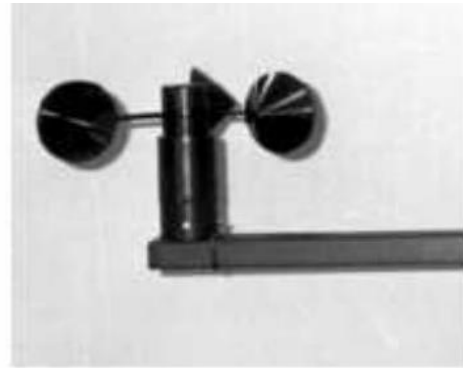
Os anemômetros rotacionais são os mais simples e populares utilizados para a medição da velocidade do vento. Sua construção se baseia em hélices que giram à uma velocidade angular, a qual é proporcional à velocidade do vento que passa por elas. Este tipo de anemômetro pode ser formado por canecas semicômicas presas à um eixo horizontal, que se

movem à medida que as moléculas de ar exercem uma força sobre as canecas. Na Figura 2 – (a), está ilustrado um anemômetro que utiliza hélices para efetuar as medições, enquanto na Figura 2 – (b) está ilustrado um anemômetro de conchas (PINTO, 2006).

Figura 2 – Variações de anemômetros utilizados comercialmente



(a)



(b)

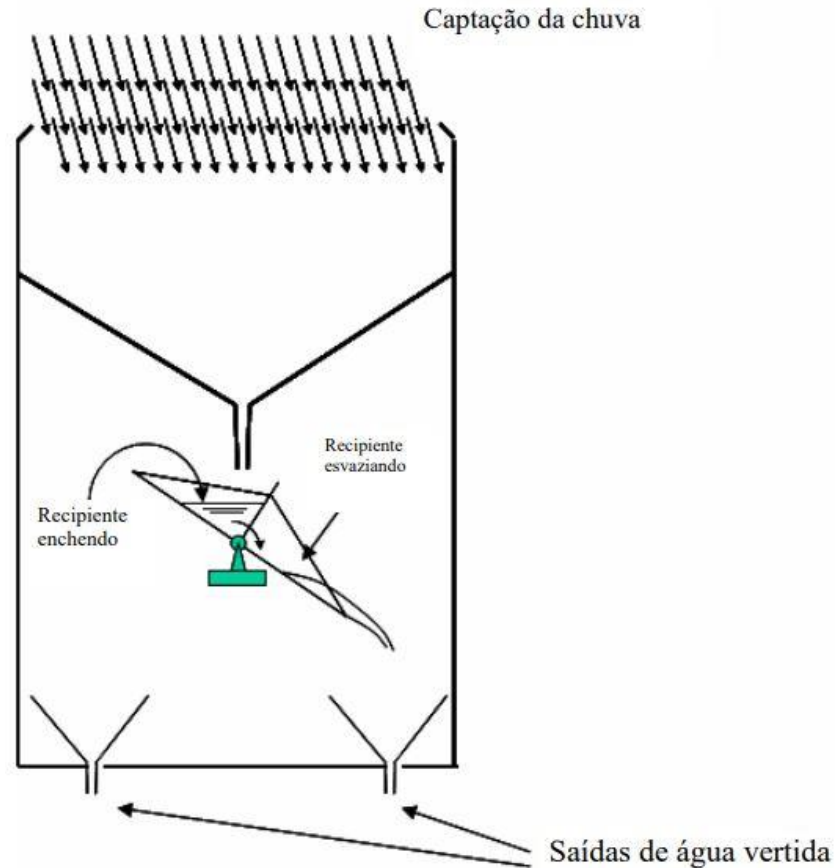
Fonte: Pinto (2006)

2.4 Pluviômetro

Pluviômetros automáticos do tipo basculante operam com base no volume de água vertido em cada basculamento. Toda vez que determinado volume de água é coletado por uma das básculas, esta cede para um lado devido ao peso da água, dando espaço para que a outra báscula continue a coletar a água. Tal processo se mantém enquanto a chuva persistir. Cada movimento que a báscula fizer é considerado por um sensor eletromagnético como uma fração de 1mm de altura de chuva e é salvo na memória de um *datalogger* (registrador de dados ao longo do tempo). As frações mais comuns no mercado são de 0,1 mm; 0,2 mm e 0,254 mm (REDA, 2008).

Muitos pluviômetros deste tipo padecem de erro. Tal incerteza está presente geralmente em medidas físicas. Há também um erro tendencioso, em geral determinístico, que deve ser corrigido com testes e ajustes após a identificação dos padrões do dispositivo. A Figura 3 ilustra o funcionamento deste tipo de pluviômetro, onde ocorre a captação da chuva pela parte superior, fazendo com que ocorra o basculamento do recipiente a cada determinado nível de água captada e após isto, a água já mensurada é eliminada por meio das saídas presentes na parte inferior do dispositivo (REDA, 2008).

Figura 3 – Medidor automático de chuva tipo basculante



Fonte: Reda (2008)

2.5 Sistema de comunicação de grande área

A Internet das Coisas (IOT) refere-se à interconexão e troca de dados entre dispositivos/sensores. Com o crescimento acelerado de tecnologias envolvendo IOT, um número crescente de aplicações práticas vem surgindo em diversas áreas, incluindo rastreamento de ativos, agricultura, segurança, medições inteligentes, residências inteligentes e cidades inteligentes. As tecnologias amplamente utilizadas de rádio com curto alcance como o *ZigBee* ou *Bluetooth* não são adaptadas para cenários de longo alcance, impulsionando o surgimento de uma nova tecnologia de comunicação sem fio, a rede de área ampla de baixa potência (LPWAN). Esta tecnologia está ganhando cada vez mais popularidade nas comunidades de pesquisa, em virtude de suas características de comunicação e baixo consumo energético (MEKKI, 2018).

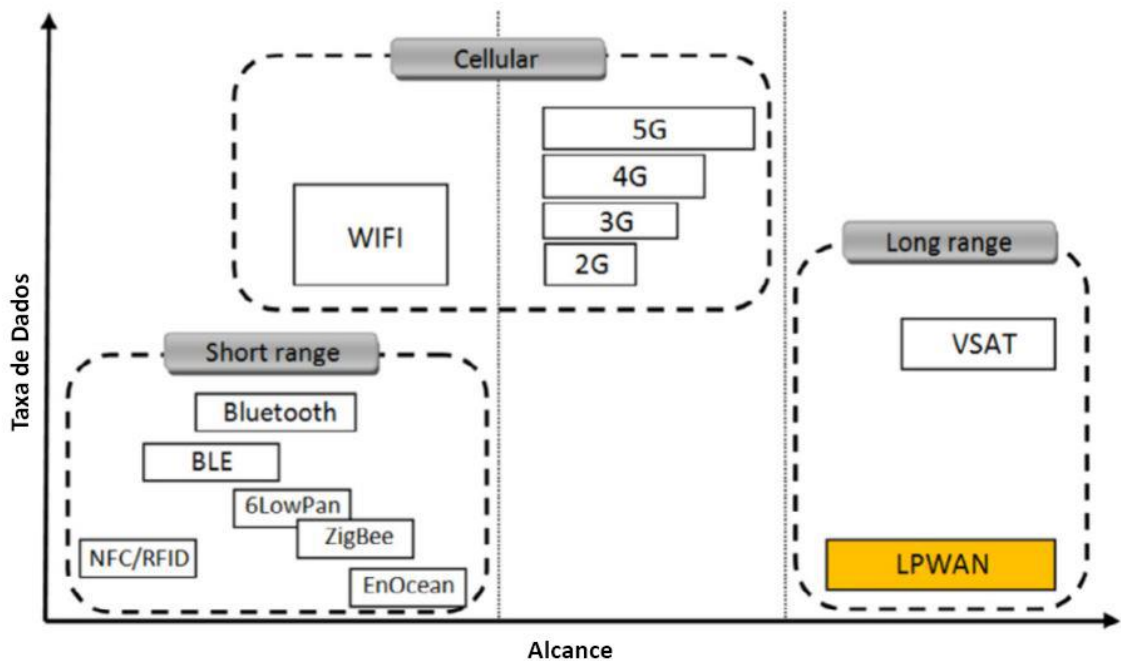
No início de 2013, o termo LPWAN nem sequer existia. Muitas tecnologias foram surgindo nas largas de banda de frequências licenciadas e não licenciadas. Algumas das tecnologias emergentes hoje são a *Sigfox*, *LoRa* e *NB-IOT* (MEKKI, 2018).

2.5.1 LoRa

O *LoRa* foi desenvolvido pela *start-up* *Cycleo* em 2009 na França, e três anos depois foi adquirido pela *Semtech* nos Estados Unidos. Passados 6 anos, em 2015, o *LoRa* foi padronizado pela *LoRa-Alliance* e já está implantado em 42 países com expansão para outros, devido ao investimento de diversas operadoras móveis (MEKKI, 2018).

A Figura 4 ilustra as diferenças entre a quantidade de dados transmitidos e o alcance de diferentes tecnologias de comunicação.

Figura 4 – Comparativo entre a taxa de dados e o alcance de diferentes tecnologias



Fonte: Adaptado de Mekki (2018)

2.6 Microcontroladores

Microcontroladores são equipamentos programáveis de pequeno porte com um baixo custo, atuando sobre a administração de eventos e ações. São compostos por uma unidade de processamento, memórias, entradas e saídas, *timers*, conversores digitais e analógicos, entre outros, que possibilitam a realização de ações de controle de maneira presencial ou remota em sistemas embarcados (SANTOS, 2019).

2.6.1 Esp32

O Esp32 é um microcontrolador projetado pela *Espressif Systems*, uma empresa chinesa sediada em Xangai. O ESP32 foi anunciado como uma solução para redes *Wi-Fi* independentes, sendo como uma ponte controladora para *Wi-Fi*, e também capaz de executar aplicativos independentes. A produção em volume do dispositivo Esp32 não começou até o final de 2016, o que significa que esta é uma tecnologia nova e emergente na linha de processadores (KOBLAN, 2017).

Quando um novo dispositivo eletrônico emerge no cenário comercial, algo que gera grande interesse são suas especificações técnicas. Elas informarão do que o dispositivo será ou não capaz de proporcionar quando for implementado. O Quadro 1 mostra as especificações do Esp32.

Quadro 1 – Especificações Esp32

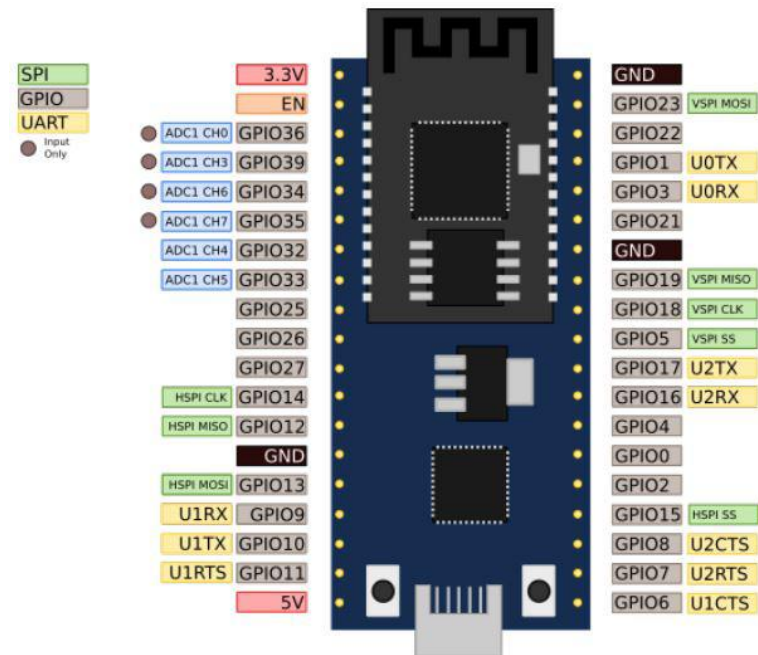
Atributos	Detalhes
Tensão	3,3 V
Corrente de consumo	Desconhecido
Memória <i>Flash</i> acoplável	Baseado em módulo
Processador	Tensilica L108 32 bit
Velocidade do processador	Dual 160 MHz
RAM	520K
GPIOs	34
Analógico para digital	7
802,11 suportes	11b/g/n/e/i
<i>Bluetooth</i>	BLE
Máxima conexões simultâneas TCP	16
SPI	3
I2S	2
I2C	2
UART	3

Fonte: Adaptado de Koblan (2017)

2.6.2 Esp32 Devkit

Com o lançamento do Esp32, a *Espressif* lançou um módulo próprio a fim de expor a mais consumidores o Esp32. Esta placa foi chamada de “Esp32-DevKit”. A placa contém o microcontrolador, um adaptador micro USB e botões para ativar e inicializar, além de possuir módulo *Bluetooth* integrado. A distribuição de pinos da placa pode ser visualizada na Figura 5 (KOBLAN, 2017).

Figura 5 – Diagrama de pinos do Esp32-DevKit



Fonte: Koblan (2017)

2.7 Painéis fotovoltaicos

Os painéis fotovoltaicos são estruturas compostas por uma ou mais células fotovoltaicas. Apesar de estarem disponíveis em diversas formas, estas células, em geral tem uma estrutura em sanduíche, de materiais semicondutores, dentro dos quais uma junção p-n ou um diodo de grande área é formado. Quando submetido à irradiação de luz, uma carga elétrica é gerada entre a junção do ânodo e do cátodo. A corrente elétrica gerada é transferida da célula por meio de uma grade frontal de contatos metalizados. Um contato na parte inferior da célula completa o circuito e uma camada antirreflexiva minimiza a quantidade de luz que retorna ao silício, maximizando a conversão para eletricidade (ROAF, 2014).

Tal potencial energético pode ser usado para alimentar cargas estacionárias ou compondo parques ou usinas solares, dependendo da potência instalada e da aplicação projetada em sua concepção, sendo assim uma forma de geração bastante adaptável e útil (MIKI, 2019).

2.8 Controladores de carga

Sistemas fotovoltaicos que utilizam baterias devem obrigatoriamente fazer o uso de um controlador de carga. Este dispositivo que faz a correta conexão entre o painel e a bateria, evitando sobrecargas ou descargas excessivas da bateria. Alguns controladores realizam a carga da bateria conforme o perfil estipulado pelo fabricante, aumentando a vida útil da mesma

(VILLALVA, 1983). A Figura 6 mostra um controlador de carga utilizado em painéis fotovoltaicos.

Figura 6 – Controlador de carga utilizado em sistemas fotovoltaicos



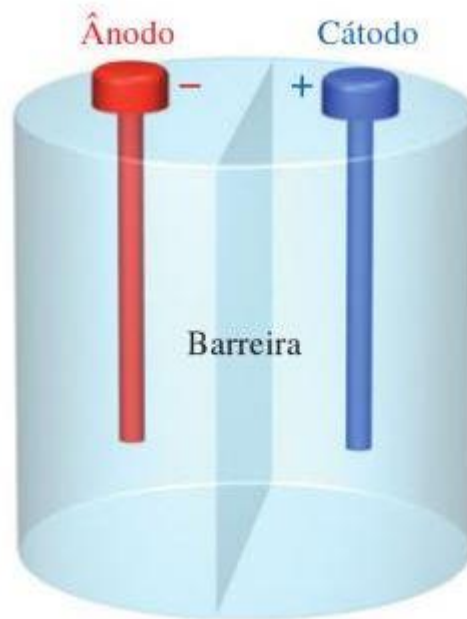
Fonte: Villalva (1983)

2.9 Baterias, vida útil e autonomia

Baterias são resumidamente elementos armazenadores de energia. A maneira mais simples que existe para criar uma bateria, consiste em duas meias células, preenchidas com um eletrólito condutor. O eletrólito é separado em duas partes por meio de uma barreira, que impede que a maior parte do eletrólito passe de um lado para outro, porém permite que íons carregados atravessem. Os íons negativamente carregados, denominados ânions, movem-se em direção ao ânodo, enquanto que os íons com carga positiva se movem em direção ao cátodo, gerando uma diferença de potencial entre os terminais da bateria (BAUER, 2012). A Figura 7 ilustra a bateria descrita acima.

A vida útil de uma bateria está associada ao número de ciclos de carga e descarga que ela pode realizar. Este número depende da profundidade da descarga realizada na bateria. Em cada ciclo de carga e descarga, o material presente nas placas metálicas é transferido para os terminais da bateria. Uma vez separado do eletrodo, este material não pode ser utilizado novamente, fazendo com que a bateria se desgaste conforme é utilizada. Nas baterias de chumbo ácido, o fim da vida útil é atingido uma vez que a bateria em seu estado totalmente carregado armazena apenas 80 % de sua capacidade nominal especificada pelo fabricante (BAUER, 2012).

Figura 7 – Desenho esquemático de uma bateria



Fonte: Bauer (2012)

Quanto à autonomia de uma bateria, esta pode ser mensurada por meio da sua capacidade C . A autonomia, em horas pode ser determinada por meio da equação (2.1):

$$Aut = \frac{C}{i}, \quad (2.1)$$

onde C é a capacidade da bateria em Ah e i é a corrente drenada em ampere (FUHS, 2009).

2.10 Revisão de Literatura

Pereira (2019) propôs o desenvolvimento de um sistema para atuar em uma rede de sensores sem fio, utilizando o protocolo *LoRa* em conjunto com a energia solar como fonte de alimentação para o sistema. O sistema dispunha de sensores, voltados para aplicações no campo, tornando mais eficientes os processos ligados à agricultura. Os resultados do comportamento de cada sensor durante as 24 horas do dia são transmitidos e detalhados, facilitando a agricultura de precisão.

Em seu trabalho, Pereira e Cruvinel (2019) desenvolveram um equipamento para coleta de dados utilizando módulos *Heltec Wi-Fi Lora 32*, que tem como principais vantagens o longo alcance e o baixo consumo de energia, permitindo a interligação de diversas estações de medições, o que possibilita o envio dos dados coletados por cada equipamento de forma individual, mesmo estando distante do nó receptor conectado à *internet*, o que possibilita o armazenamento dos dados em servidores. Os testes feitos em ambiente controlado

demonstraram que o sistema é funcional e promissor a uma distância de 30 metros com paredes entre os módulos.

Santos, Righi, Costa (2018), apresentaram um modelo de arquitetura de redes de sensores sem fio (*Agri-Prediction*), utilizando a rede *LoRa* para implementação na agricultura de precisão e predição. O modelo possibilita a previsão de problemas e a possibilidade de tomada de ações ativas, melhorando o rendimento de cultivos agrícolas. Com a utilização do Arduino, *LoRa* e sensores aplicados ao cultivo, obteve-se sucesso nos testes de transmissão de dados, obtendo-se assim um ganho de 17,95 % no desenvolvimento das folhas e 14,29 % no peso das plantas, sinalizando assim, por meio dos resultados obtidos, a viabilidade da proposta. Porém os autores reconhecem alguns limites do modelo, sugerindo a criação de aplicativo para celular, possibilitando o acompanhamento em tempo real dos cultivos e também o desenvolvimento dos mecanismos de segurança atrelados à transmissão de dados.

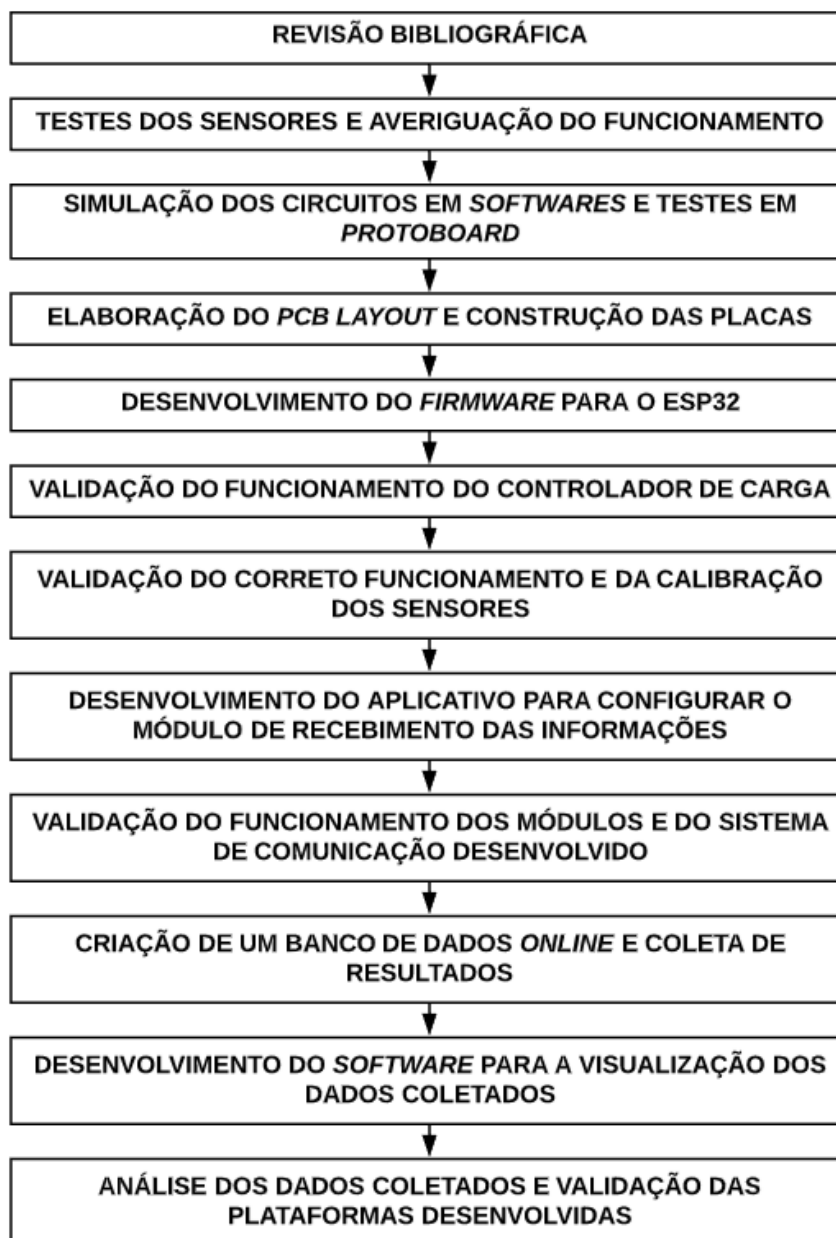
Conforme propuseram Silveira et al. (2019), têm-se há algumas décadas uma necessidade de aumentar o fornecimento de água, energia, alimentos, entre outros. O agronegócio no Brasil é responsável por 25 % do PIB (Produto Interno Bruto) nacional, sendo de grande importância para a sociedade. Com os avanços tecnológicos, se faz cada vez mais necessário produzir em larga escala, trazendo à tona conceitos como agricultura de precisão ou agricultura digital.

A agricultura de precisão tem um vínculo grande com a Internet das Coisas (IOT), que propõe basicamente a interconexão em torno de nós de uma variedade de objetos, sensores, atuadores, entre outros. Para isto, propõe-se a utilização do *LoRa* na agricultura de precisão, visto que o mesmo tem capacidade de enviar dados a longas distâncias, garantindo uma comunicação entre atuadores, sensores e o gerenciador geral instalado no ambiente monitorado.

3 METODOLOGIA

Tomando como base o que foi apresentado na revisão bibliográfica foi adotado um fluxograma para realização do trabalho. O fluxograma elaborado pode ser visualizado na Figura 8.

Figura 8 – Procedimentos metodológicos do trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor

Para que os sensores funcionassem adequadamente foi necessário averiguar o correto funcionamento dos mesmos, efetuando testes e comparando as medições realizadas com gráficos presentes nos *datasheets* dos sensores.

3.1 Variáveis monitoradas, microcontrolador e sensores

Com base na literatura e buscando reduzir os custos para a construção de um módulo monitor útil na agricultura e pecuária, foram determinadas as principais variáveis ambientais a serem monitoradas, sendo elas:

- Temperatura;
- Umidade relativa do ar;
- Pressão barométrica;
- Precipitação pluviométrica;
- Velocidade do vento.

Estas variáveis foram escolhidas visto que são parâmetros que afetam diretamente a produção de diversas culturas (MENENDEZ, 2013).

3.1.1 Temperatura, umidade relativa do ar e pressão barométrica

Para fazer o monitoramento da temperatura ambiente, da umidade relativa do ar e da pressão barométrica no local, buscou-se a utilização de um sensor preciso, eficiente e duradouro, capaz de efetuar medições concisas por longos períodos sem descalibrar. Para tal, foi escolhido o sensor BME-280, por apresentar maior confiabilidade e fácil utilização em relação a diversos outros sensores existentes no mercado (ROCHA, 2019).

O sensor BME-280 é capaz de coletar as informações com precisão, e pode ser facilmente integrado em um sistema microcontrolado, por possuir comunicação I2C e SPI de fácil utilização, ser extremamente compacto, versátil e ocupar pouca energia, permitindo o seu uso em longos períodos de amostragem, e em sistemas alimentados com bateria (DATASHEET BME-280).

3.1.2 Velocidade do vento

Para medir a velocidade do vento, almejou-se a utilização de um anemômetro de baixo custo, porém com boa precisão. Para tal, foi utilizado um anemômetro da marca WRFCOMERCIAL, sendo este um anemômetro rotacional, cuja rotação é proporcional a velocidade do vento, tornando simples averiguar a precisão da medição efetuada.

O anemômetro é composto por três canecas semicômicas acopladas a um eixo central. Essa estrutura contém um contato normalmente aberto que é fechado a cada volta completa que o eixo central executa, de modo que é possível calcular a velocidade do vento baseado no diâmetro do sensor e no número de rotações medidas em um período de tempo, de acordo com o número de interrupções acionadas pelo contato normalmente aberto do sensor.

O sensor possui raio de 147 mm, e a mensuração foi feita de 5 em 5 segundos. Deste modo, para calcular a velocidade do vento, primeiro obtêm-se o número de rotações por minuto do sensor, multiplicando por 60 o número de interrupções somadas no período da medição, e dividindo o resultado pelo próprio período de medição, conforme a equação (3.1), onde N é o número de interrupções, T é o período de amostragem e RPM é o número de rotações por minuto do sensor.

$$RPM = \frac{N * 60}{T} \quad (3.1)$$

Para transformar RPM em uma velocidade do vento na unidade km/h, utilizou-se as equações (3.1), (3.2), (3.3), (3.4) e (3.5), onde r é o raio do sensor, P é o perímetro calculado, Vm é a velocidade de rotação do sensor em metros por segundo (m/s), e Vk é a velocidade de rotação do sensor em quilômetros por hora (km/h).

$$P = (4 * \pi * r) \quad (3.1)$$

$$P = (4 * 3,141592 * 0,147) \quad (3.2)$$

$$P = 1,847m \quad (3.3)$$

$$Vm = \frac{(P * RPM)}{60} \text{ m/s} \quad (3.4)$$

$$Vk = (Vm * 3.6) \text{ km/h} \quad (3.5)$$

ou

$$Vk = (0,11082 * RPM) \text{ km/h} \quad (3.6)$$

Deste modo, foi possível calcular a velocidade do vento com relativa precisão, apenas utilizando um anemômetro rotacional com pouquíssimo atrito, que causa uma interrupção a cada volta que executa.

3.1.3 Precipitação pluviométrica

A quantidade de chuva é medida em milímetros, e para esta mensuração, foi utilizado o pluviômetro digital da marca WRFCOMERCIAL. O pluviômetro fecha um contato

normalmente aberto a cada 0,25 mm de chuva coletada pelo sensor, tornando simples a mensuração da quantidade de chuva no local.

Esse sensor digital funciona com uma gangorra interna, de modo que, não é necessário esvaziar o recipiente de medição, pois isto é feito automaticamente pelo próprio sensor, permitindo que as medições sejam feitas de maneira contínua e ininterrupta, apenas verificando o número de interrupções acionadas. Outra vantagem desse sensor, é que ele não descalibra, pois contém um volume fixo a ser preenchido e esvaziado, tornando assim o sistema confiável.

Para calcular o volume de chuva coletado, multiplicou-se o número de vezes que o contato do sensor foi fechado pelo valor de 0,25 mm, que corresponde ao volume de água que cabe no recipiente do sensor. Sendo assim, a cada 4 interrupções do sensor, a medida de 1 mm é registrada pelo microcontrolador.

3.1.4 Microcontrolador

O microcontrolador e o dispositivo de comunicação utilizados foram escolhidos pelas suas especificações, sendo estas, capazes de atender as necessidades do sistema proposto. Desse modo foi escolhido para o desenvolvimento dos protótipos o Esp32, pois adequa-se bem aos critérios de projeto e possui várias vantagens de implementação prática em relação a outros microcontroladores disponíveis no mercado. Outra vantagem considerada é que o microcontrolador possui grande capacidade de processamento, presença de saídas digitais para comunicação com dispositivos, baixo consumo de energia, conectividade *Wi-Fi* integrada, grande capacidade de memória, EEPROM integrada, tensão de alimentação em 5 V rebaixada para 3,3 V no Esp32 Dev Kit V1, preço acessível e principalmente, pelo tamanho ajustável do *buffer* FIFO da comunicação serial, que possibilita enviar e receber informações com uma quantidade grande de *bytes* por vez.

Esse microcontrolador apresenta uma memória SRAM de 512 kB, permitindo a manipulação de várias variáveis e até listas de variáveis durante o processamento das informações, além de possuir um processador de 160 MHz com dois núcleos (KOBLAN, 2017). Tal característica possibilita processar dados em um núcleo e interrupções em outro núcleo, tornando-o ideal para receber e enviar informações ao mesmo tempo em que lê e processa os dados fornecidos pelos sensores. Também apresenta pinos de comunicação, como UART, I2C e SPI, que viabiliza uma grande gama de sensores e dispositivos de comunicação, bem como, expandir o projeto e torná-lo mais complexo, dada a capacidade do microcontrolador.

3.2 Códigos e plataformas

Para o desenvolvimento do código responsável pelo gerenciamento do Esp32, foi utilizada a IDE (*Integrated Development Enviroment*) oficial do Arduino, onde é possível criar, editar, compilar e gravar o algoritmo no microcontrolador.

A IDE do Arduino é um ambiente baseado em C/C++, voltado a programação e compilação de códigos para microcontroladores da família ATmega, possibilitando criar códigos complexos para Arduino e outros microcontroladores compatíveis, incluir bibliotecas de códigos auxiliares, verificar a sintaxe do algoritmo desenvolvido, compilar o código criado e gravar no microcontrolador escolhido. Esta IDE foi escolhida por ser compatível com o Esp32 e por possuir diversas bibliotecas, que facilitam a utilização de sensores, dispositivos de comunicação, módulos de medição, dentre outros.

O banco de dados e os códigos responsáveis por receber e processar os dados do módulo de recebimento das informações devem ser hospedados em um servidor, para que seja possível acessar e manipular as informações a distância por meio da *internet*, bem como, solicitar dados armazenados para visualização e processamento em outros lugares. Para isto, foi utilizado o serviço de hospedagem compartilhada da *Hostinger*, permitindo criar o banco de dados, os códigos em PHP responsáveis pelo gerenciamento dos dados e os códigos responsáveis pela consulta de dados remotamente. Com esta estruturação torna-se possível o monitoramento das variáveis a distância.

Para desenvolver o aplicativo responsável por configurar o nome e a senha da rede *Wi-Fi* em que o módulo de recebimento das informações deve se conectar, foi utilizada a aplicação *online* MIT App Inventor, que é uma aplicação de código aberto, e possui programação em blocos, sendo extremamente simples de ser utilizada, tornando possível criar e compilar um aplicativo de maneira rápida e simples.

A interface para visualizar os dados coletados pelos módulos, em um mapa online, bem como o histórico de dados obtidos, foi desenvolvida utilizando o *software* UNITY®, em conjunto com o *plug-in* Online Maps V3, utilizando a linguagem de programação C# para desenvolver toda a lógica e comportamentos do programa desenvolvido.

3.3 Validação da calibração dos sensores

Buscando tornar a plataforma confiável e validar os resultados obtidos durante este trabalho, considerou-se de vital importância que os sensores escolhidos estejam corretamente

calibrados, tornando possível assegurar a confiabilidade dos dados coletados, bem como dos sensores utilizados para as medições.

Para efetuar validação da calibração do sensor BME-280, foi utilizado o módulo *datalogger* AK172 mini, que permite medir a temperatura e a umidade, além de coletar os dados na sua memória interna, para análise posterior. Esse *datalogger* é calibrado e apresenta certificado se solicitado ao fabricante.

A validação foi feita por meio de comparação entre os valores obtidos pelo *datalogger* AK172 mini e os valores obtidos pelo sensor BME-280 em um período de 24 horas, onde ambos os medidores permaneceram no mesmo local, permitindo gerar gráficos de temperatura e umidade de cada sensor, e verificar se os dados do sensor e do *datalogger* são compatíveis ou se uma curva de correção é necessária. A validação da correta calibração da pressão barométrica do sensor BME-280 não foi possível, dado a falta de sensores de pressão para uma comparação.

O anemômetro e o pluviômetro não necessitaram de validação, visto que já vem calibrados de fábrica, e é possível calcular os valores obtidos pelos sensores por meio de parâmetros mecânicos dos mesmos, como por exemplo, o raio do anemômetro, ou o volume de água do recipiente do pluviômetro.

3.4 Sistemas de alimentação

A tensão de alimentação recomendada para o módulo Esp32 Dev Kit V1 varia de 5 V a 12 V, sendo que esses valores podem ser extrapolados. O microcontrolador Esp32 trabalha com a tensão de 3,3 V, no entanto, o módulo de desenvolvimento citado conta com um regulador de tensão AMS1117-3.3 em sua entrada, o que permite que seja alimentado com tensões maiores do que 3,3 V pelo pino V_{in} .

Buscando não sobreaquecer o regulador de tensão do próprio módulo Esp32 Dev Kit V1, a tensão de alimentação escolhida foi de 5 V, permitindo assim utilizar também essa tensão nos periféricos do circuito, bem como em outros componentes que trabalham com 5 V.

A bateria utilizada no protótipo tem uma capacidade C de 7,0 Ah cada, sendo utilizada uma bateria para cada módulo. Os circuitos totalizam uma drenagem de 150 mAh, portanto, se não recarregada, a bateria possui uma autonomia de 46 horas. A tensão da bateria é de 12 V, e para rebaixar essa tensão para 5 V, foi projetado um conversor *Buck*, com entrada variável e saída fixa na tensão estabelecida. O módulo receptor das informações não necessita de bateria, portanto, ele foi alimentado diretamente com uma fonte de alimentação de 5 V com capacidade de corrente de 1 A.

3.4.1 Controlador de carga

Os módulos de monitoramento desenvolvidos contam com um painel solar cada, para que a bateria possa ser recarregada paralelamente enquanto os circuitos continuam funcionando normalmente, proporcionando um funcionamento constante dos circuitos, sem que haja necessidade de alimentação externa, tornando os módulos monitores independentes da rede elétrica.

Para utilizar o painel solar, um controlador de carga é necessário, sendo este, responsável por regular a tensão fornecida pelo painel solar para um valor de aproximadamente 13,8 V, próprio para o carregamento de baterias estacionárias de 12V, e também por liberar ou não a energia armazenada na bateria, para os circuitos, de acordo com a carga disponível na bateria, a fim de evitar descargas profundas e danos aos circuitos.

Deste modo, um controlador de carga foi projetado, utilizando o microcontrolador PIC16F675, que faz a leitura da tensão atual da bateria, e controla o fluxo de energia nos circuitos, protegendo a integridade do sistema.

3.5 Dispositivos de comunicação

Buscando tornar a comunicação entre os módulos eficiente, fácil e confiável, o dispositivo de comunicação utilizado neste trabalho foi o dispositivo *LoRa* E32-TTL-100, pois é capaz de alcançar distâncias de até 3 km em campo aberto, além de trabalhar com 32 canais e permitir o endereçamento de dispositivos, evitando assim, interferências externas de sinais de rádio que estejam na mesma frequência dos dispositivos utilizados (DATASHEET E32-TTL-100).

Podendo endereçar os pacotes de dados entre módulos e garantir comunicação em grandes distâncias, o dispositivo *LoRa* E32-TTL-100 torna-se ideal para este trabalho, onde módulos de monitoramento conversam entre si, e também com o módulo de recebimento das informações.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base na execução da metodologia proposta é apresentado neste capítulo as simulações efetuadas, validação da calibração dos sensores, programação dos microcontroladores, comunicação entre os módulos, conexão com a rede *Wi-Fi*, desenvolvimento do aplicativo para dispositivos móveis, banco de dados *online*, e desenvolvimento do programa com mapa, para monitoramento em tempo real dos módulos desenvolvidos.

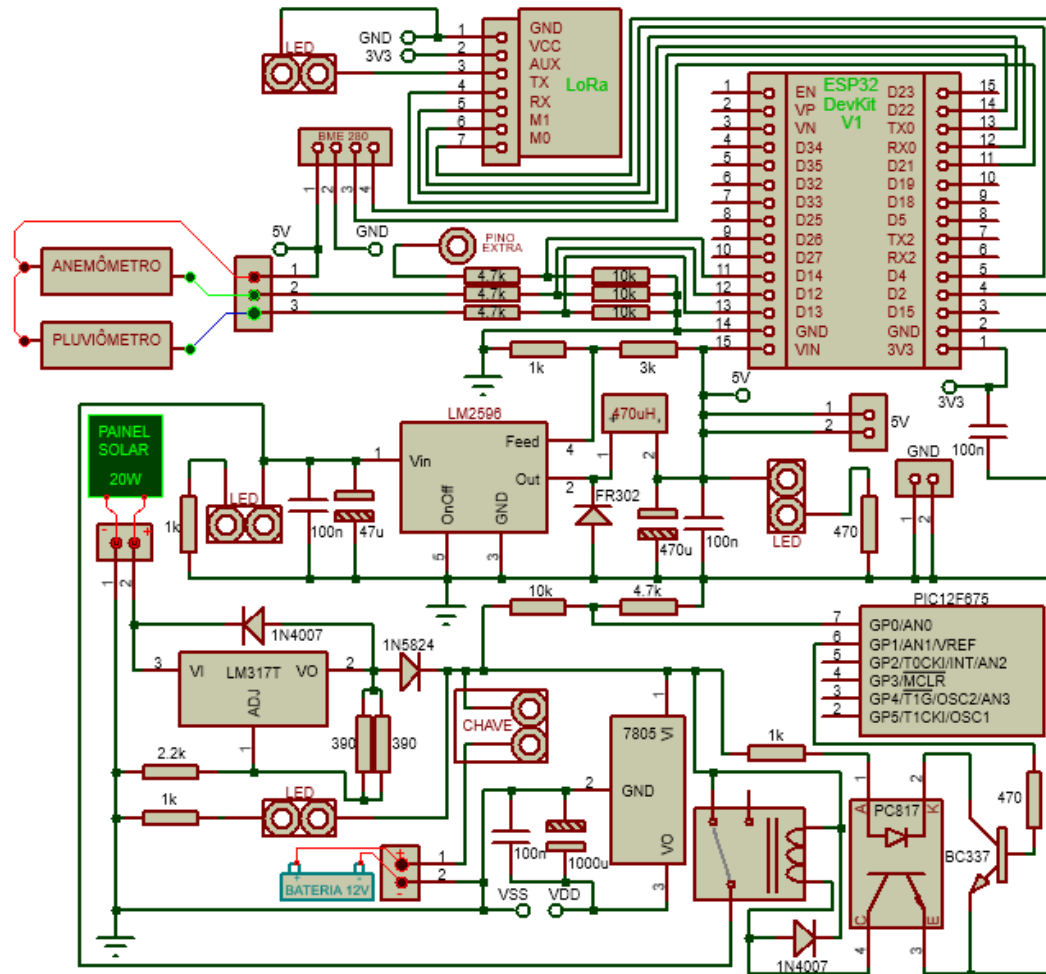
4.1 Simulações

Para projetar corretamente os circuitos e averiguar o seu funcionamento, foram utilizados os *softwares* PROTEUS® versão 8.6 SP2 e PSIM® versão 9.0, buscando descobrir possíveis erros, projetar as placas de circuito impresso, gerar visualizações em 3D dos circuitos, e projetar os módulos de coleta e recebimento de informações.

4.1.1 Simulações dos circuitos do módulo de medições e do módulo receptor

Para simular todo o circuito de medições, foi utilizado o *software* PROTEUS®, onde componentes customizados como o Esp32 Dev Kit V1 foram criados, tornando possível simular o funcionamento integrado de diversos dispositivos e circuitos. A Figura 9 mostra o circuito projetado.

Figura 9 – Circuito da placa do módulo de medição



Fonte: Elaborado pelo autor

O circuito conta com um barramento I2C para a comunicação com o sensor BME-280, entradas com divisor resistivo para o anemômetro e pluviômetro, uma entrada extra com divisor resistivo, para a implementação de outros tipos de sensores, encaixe com LED na configuração *pull-down* para o correto funcionamento do dispositivo de comunicação *LoRa* E32-TTL-100, uma fonte de alimentação integrada, que utiliza um conversor *buck* para reduzir a tensão de 12 V fornecida pela bateria, para uma tensão de 5 V, compatível com o Esp32 Dev Kit V1, e um circuito controlador de carga, para gerenciar o fluxo de corrente entre o painel solar, a bateria, e os circuitos responsáveis pelo monitoramento das variáveis.

A utilização do LED no módulo *LoRa* é necessária, pois o microcontrolador não faz nenhuma checagem para saber se a comunicação foi executada ou não por meio do pino AUX, e por isso, o módulo *LoRa* interrompe a sua comunicação, esperando que alguma leitura seja efetuada. Para que a comunicação não seja interrompida, um LED na configuração *pull-down* é conectado entre o pino AUX do *LoRa* e o GND do circuito, fazendo com que a comunicação

nunca pare de funcionar, mesmo que nenhuma checagem de estado seja feita por parte do microcontrolador Esp32.

Para alimentar o sistema foi utilizada uma bateria estacionária de 12 V, com capacidade de 7 Ah. A bateria não é diretamente interligada ao circuito por motivos de proteção, sendo que antes, ela é conectada a um controlador de carga projetado com um PIC12F675, responsável por fazer a correta interligação entre o painel solar, a bateria e a carga, evitando corrente reversa ou sobretensão na bateria ou no circuito. O painel solar também conta com um diodo de proteção, que evita a corrente reversa vinda da bateria para o painel solar, durante períodos em que o painel está gerando uma tensão menor do que 13,8 V, que é a tensão de carregamento da bateria configurada no controlador de carga.

O painel solar escolhido foi o modelo YL022P-17B, que gera uma potência de pico de 22 W, trabalhando com uma tensão máxima de 21,7 V e uma corrente máxima de 1,24 A (DATASHEET, YL022P-17B), de modo que é compatível com o controlador de carga projetado, que suporta até 1,5 A de corrente e regula com facilidade a tensão fornecida pelo painel solar.

Para o dimensionamento do conversor *Buck* utilizou-se o *software* PSIM®. Com a disponibilidade em bancada de um indutor de 470 μ H suportando uma corrente máxima de 5 A e um capacitor de 470 μ F com tensão máxima de 50 V, verificou-se primeiramente a possibilidade destes componentes atenderem a expectativa de projeto, com saída de 5 V a partir de uma entrada de 12 V, com intuito de mitigar custos.

Determinando como frequência de chaveamento 150 kHz e uma carga relativamente baixa no valor de 5 Ω em relação ao projeto real, considerando um caso extremo, obteve-se, de acordo com equacionamento apresentado por Hart (2011), um *duty cycle* conforme equação (4.1).

$$D = \frac{V_{out}}{V_s} = \frac{5}{12} = 0,41667 \quad (4.1)$$

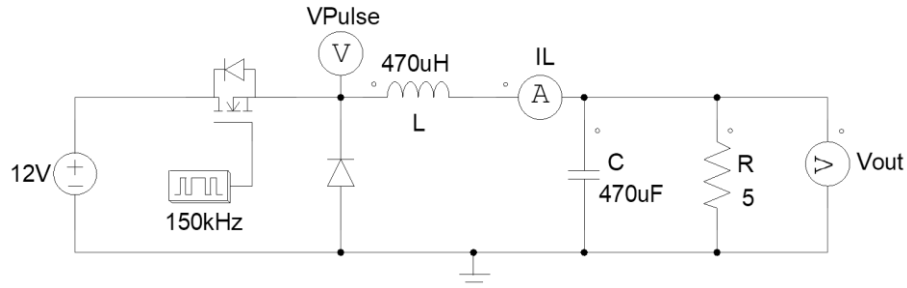
A corrente máxima no indutor pode ser obtida de acordo com a equação (4.2):

$$I_{max} = \frac{V_{out}}{R} + \frac{1}{2} \left[\frac{V_{out} * (1 - D) * \frac{1}{f}}{L} \right] = \frac{5}{5} + \frac{1}{2} \left[\frac{5 * (1 - 0,41667) * \frac{1}{150k}}{470\mu} \right] = 1,020 \text{ A} \quad (4.2)$$

Como o valor da corrente máxima do indutor ficou abaixo do valor limite do componente, mesmo para uma carga pequena, simulou-se a resposta do conversor afim de verificar seu

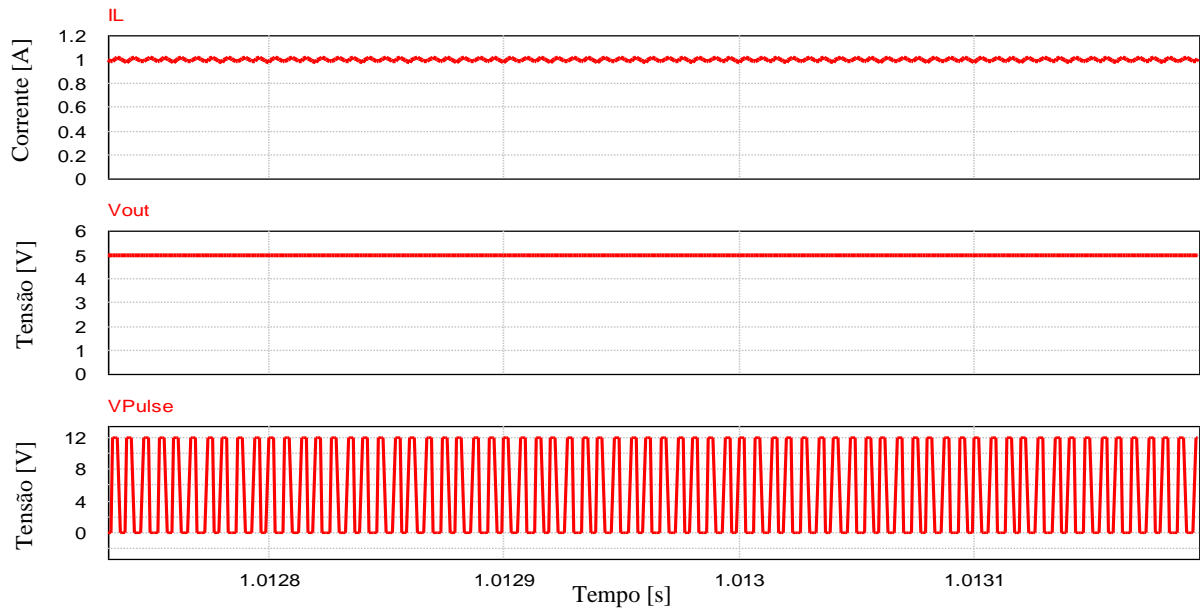
desempenho. Na Figura 10, tem-se o circuito do conversor *Buck* e na Figura 11 o comportamento da corrente sobre o indutor, a tensão na saída e a tensão de chaveamento.

Figura 10 – Circuito do conversor *Buck*



Fonte: Elaborado pelo autor

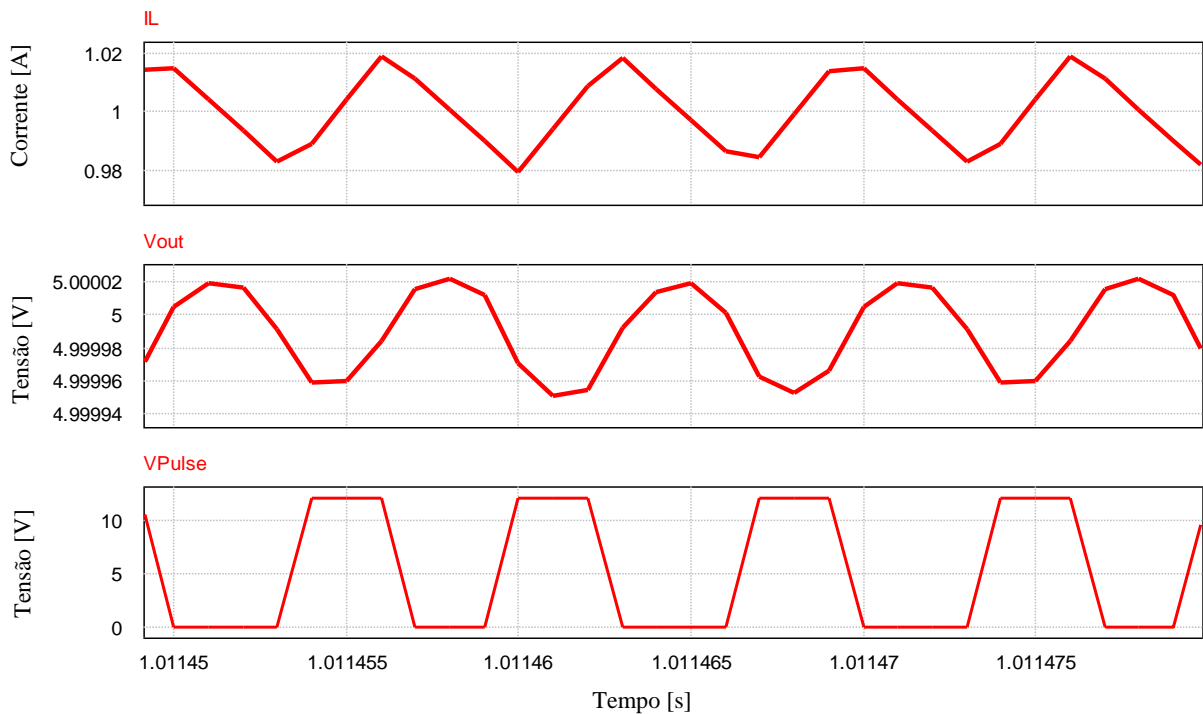
Figura 11 – Formas de onda: tensão na saída, corrente no indutor e chaveamento



Fonte: Elaborado pelo autor

Ampliando o comportamento demonstrado na Figura 11, pode-se verificar a ondulação no nível de tensão na saída do conversor. Tal análise pode ser feita verificando a Figura 12.

Figura 12 – Formas de onda ampliadas: tensão na saída, corrente no indutor e chaveamento

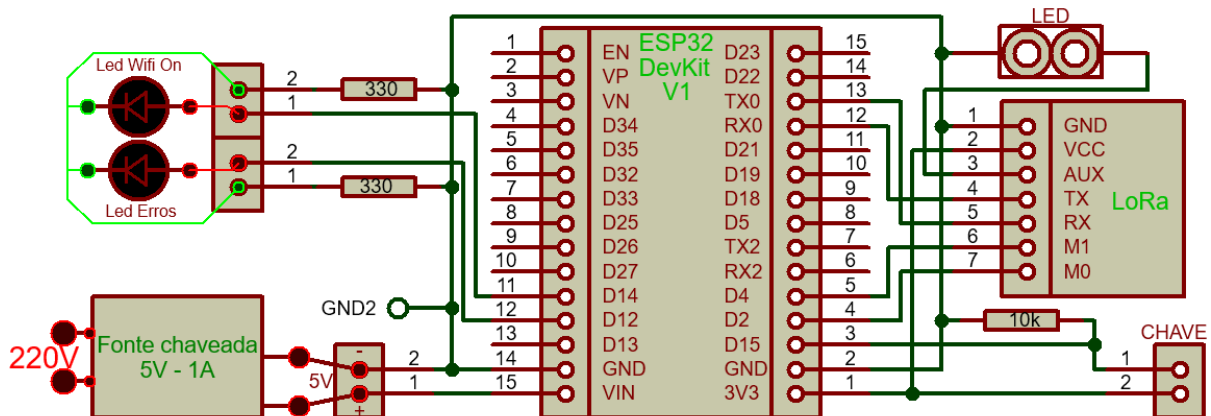


Fonte: Elaborado pelo autor

Nota-se, analisando a Figura 12, que as oscilações no nível de tensão da saída (V_{out}) limitam-se a uma diferença de 0,0000692 V e o indutor opera no modo de condução contínua, dessa forma, atestou-se a utilização dos componentes já possuídos para a confecção do conversor, pois os cálculos e as simulações o apontaram como uma fonte confiável de tensão, principalmente para a utilização em um microcontrolador, que facilmente pode apresentar mal funcionamento se alimentado com tensões que variam demasiadamente. Também é interessante atentar-se ao ponto de que como os componentes usados no sistema estão super dimensionados, já que a corrente máxima requerida pelo módulo de monitoramento é de 150 mA, logo, expansões no projeto podem ser feitas com uma boa faixa de corrente de suprimento.

O circuito do módulo receptor das informações também foi simulado utilizando o *software* PROTEUS®, onde foi inserido o encaixe para o módulo *LoRa*, para o Esp32 Dev Kit V1, para dois LEDs que indicam o estado de conexão do microcontrolador com a rede *Wi-Fi*, para uma chave seletora, responsável pela escolha do modo de funcionamento do módulo, e para a alimentação do circuito, por meio de uma fonte externa de 5 V, com capacidade máxima de corrente de 1 A. O circuito projetado é mostrado na Figura 13.

Figura 13 – Circuito da placa do módulo de recebimento das informações



Fonte: Elaborado pelo autor

O módulo receptor deve ficar próximo a um local que possua rede *Wi-Fi* disponível, para que possa se conectar à *internet* e enviar as informações recebidas para um banco de dados *online*. Por isso, esse módulo é alimentado diretamente por uma fonte de alimentação comum de 5 V, e não por um painel solar ou bateria.

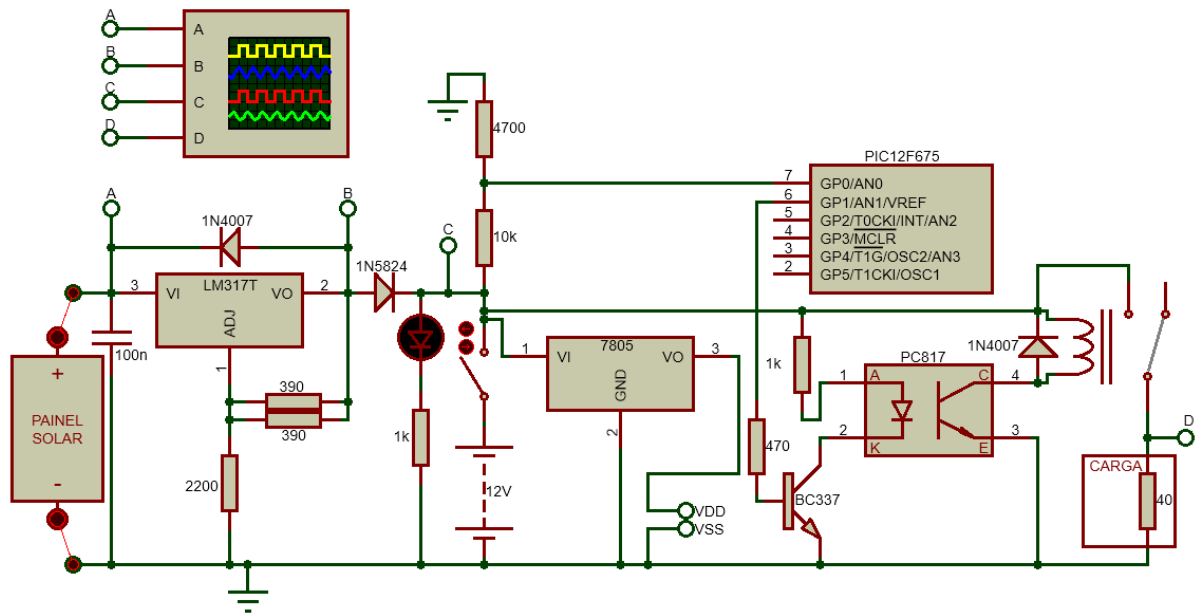
4.1.2 Simulações dos circuitos do controlador de carga

O circuito controlador de carga é responsável por rebaixar a tensão do painel solar para um nível que possa efetuar o carregamento da bateria, sem que a danifique, além de controlar a liberação de energia da bateria, para os circuitos conectados a ela, prevenindo descargas profundas na bateria. Para isto, um controlador de carga foi projetado e simulado, utilizando o *software* PROTEUS®. Esse controlador foi integrado no circuito do módulo de medições, mostrado anteriormente na Figura 9.

Para regular a tensão do painel solar, o regulador de tensão ajustável LM317T foi utilizado, pois suporta uma corrente de 1,5 A, que é maior do que a corrente máxima que o painel pode gerar, e suporta tensões de entrada de 1,2 V a 37 V, sendo compatível com a tensão máxima de 21,7 V gerada, e possui uma tensão de saída regulável, por meio de um divisor resistivo (DATASHEET LM317T), sendo assim, uma boa opção para regular a tensão de alimentação do sistema.

O circuito controlador de carga também conta com diodos de proteção para evitar que a tensão da bateria retorne para o painel solar, uma chave de dois estados, para ligar ou desligar a bateria do circuito, e um sistema de controle para alimentar ou não a carga conectada na bateria, utilizando um microcontrolador PIC12F675. O circuito projetado do controlador de carga é mostrado na Figura 14.

Figura 14 – Circuito projetado do controlador de carga



Fonte: Elaborado pelo autor

Para efetuar o controle da energia que é liberada para os circuitos de medições, o microcontrolador compara o nível de tensão da bateria com dois valores pré-estabelecidos, um valor menor de 10,8 V, para desligar o fornecimento de energia aos circuitos de medições e proteger a vida útil da bateria, e um valor maior, de 12 V, para começar a alimentar os circuitos de monitoramento quando a bateria estiver com carga suficiente para ser utilizada novamente, por meio da ativação de um relé, que permite a passagem de corrente aos circuitos conectados a bateria.

O código do microcontrolador responsável por efetuar o controle do controlador de carga foi feito em linguagem C, utilizando o compilador CCS C Compiler. O código é mostrado na Figura 15.

A simulação das formas de onda das tensões no circuito controlador de carga são mostradas na Figura 16, onde a cor amarela representa a tensão fornecida pelo painel solar, a cor azul representa a tensão de saída do regulador de tensão, a cor rosa representa a tensão após o diodo de proteção, ou seja, a tensão que está carregando a bateria, e a cor verde representa a tensão que está sendo fornecida para o circuito de monitoramento, pelo acionamento do relé.

Pelas formas de onda mostradas na Figura 16, é possível verificar que a tensão está sendo corretamente regulada, atingindo um valor máximo de 14,5 V na bateria, e fornecendo energia para os circuitos de monitoramento, quando a tensão da bateria é maior do que 12 V, ou parando de fornecer energia, quando a tensão da bateria cai para um valor inferior a 10,8 V.

Figura 15 – Código utilizado no microcontrolador do controlador de carga

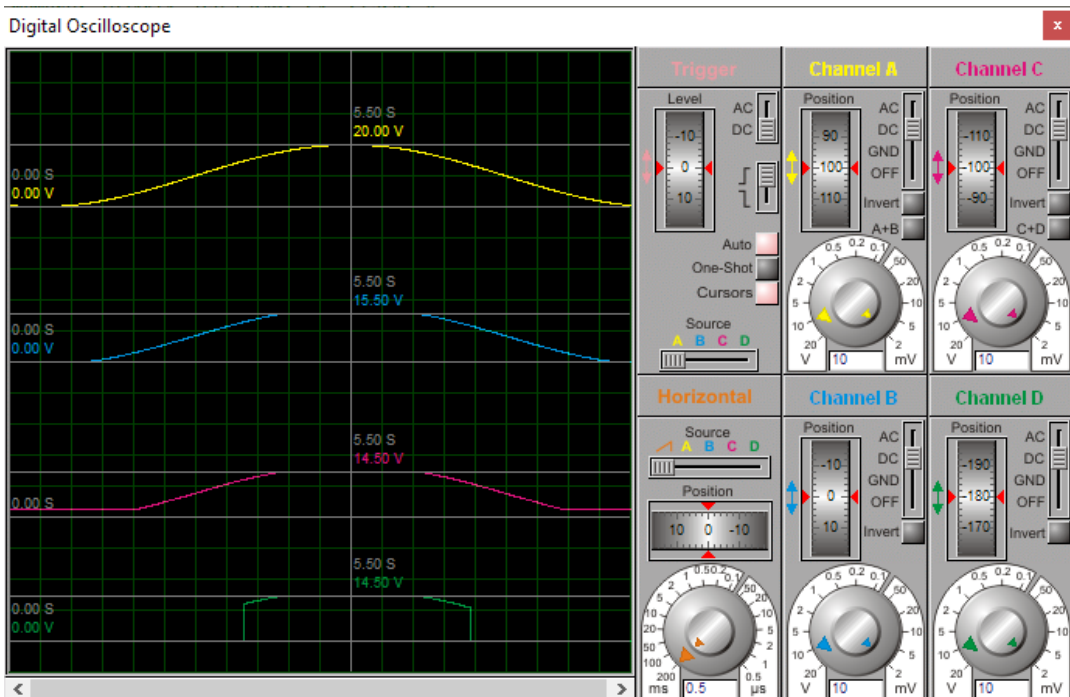
```

#include <12F675.h>
#define ADC = 10 //declaração do ADC deve ficar logo após a inclusão da biblioteca
#define WDT, INTRC_IO, NOPUT, NOPROTECT, NOCPD, NOMCLR, NOBROWNOUT
#define delay (clock=4Mhz)
long leituraAnalogica;
float tensaoMensurada, tensaoTotal;
int main (void){
    setup_adc_ports(sAN0); setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_32); set_adc_channel(0); delay_ms(10);
    set_tris_a(0b11100001);
    output_bit(PIN_A1, 0);
    SETUP_WDT(WDT_2304MS); //[18-36-72-144-288-576-1152-2304]
    while (1){
        /* Cálculos:
        [R total = 14700 ohms] --> [divisor de tensao (10000/14700 = 0,68)] --> [(1 - 0,68) = 0,3197]
        [tensao mensurada = 31,97% da tensao total] --> [tensao total = (tensao mensurada * 100)/31,97]
        [10 bits = 1023 = 5V] --> [tensao mensurada = (leituraAnalogica*5.0)/1023.0]
        */
        leituraAnalogica = read_adc();
        delay_ms(10);
        tensaoMensurada = (leituraAnalogica * 5.0) / 1023.0;
        tensaoTotal = (tensaoMensurada * 100.0) / 31.97;
        restart_wdt();
        // controle:
        if(tensaoTotal >= 12){
            output_bit(PIN_A1, 1);
        }
        if(tensaoTotal <= 10.8){
            output_bit(PIN_A1, 0);
        }
    }
    return 0;
}

```

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 16 - Simulação das tensões no circuito controlador de carga



Fonte: Elaborado pelo autor

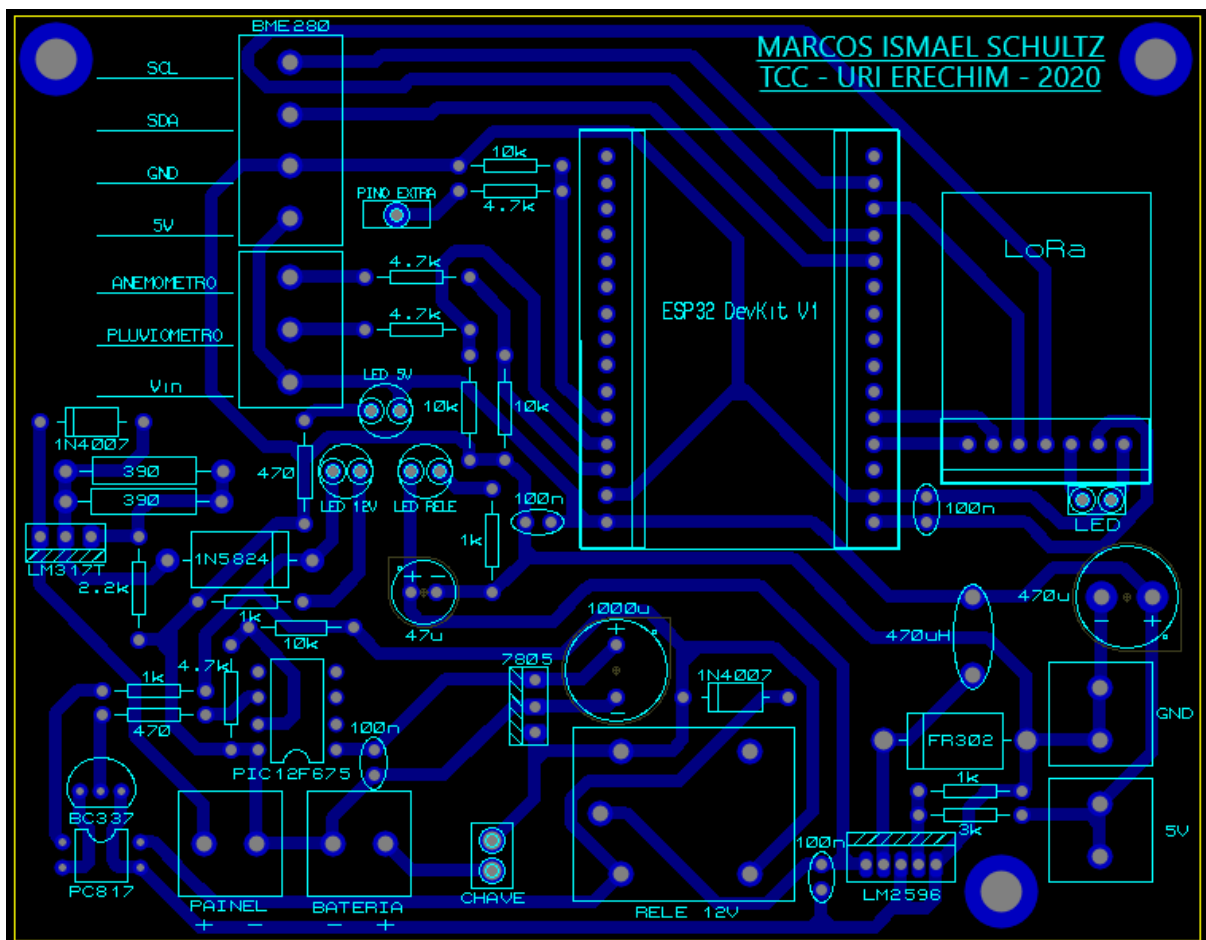
O valor ideal de tensão para o carregamento das baterias estacionárias, segundo o fabricante, é de 13,8 V, e o circuito controlador de carga está fornecendo um valor um pouco maior, de 14,5 V. Isto se deve a utilização de resistores de valor comercial no circuito, o que

fez com que a tensão de carregamento das baterias atingisse um nível um pouco superior ao ideal, mas que não causa danos na bateria em si, nem nos circuitos conectados à ela.

4.1.3 Esquemáticos de circuito impresso

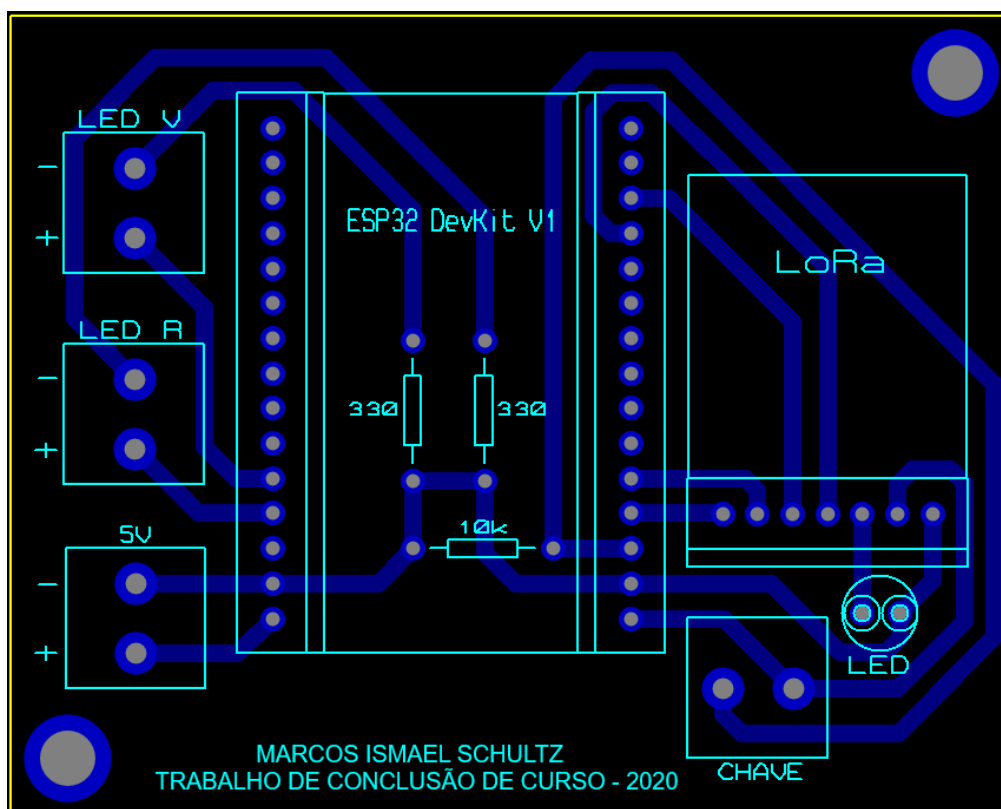
Com as simulações efetuadas foi utilizado o *software* PROTEUS® para criar os esquemáticos de circuito impresso (PCB) dos módulos de medições e do módulo de recebimento das informações. O esquemático do circuito de medições é mostrado na Figura 17, e o esquemático do circuito de recebimento das informações pode ser visto na Figura 18.

Figura 17 – PCB do módulo de medições



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 18 – PCB do módulo de recebimento das informações



Fonte: Elaborado pelo autor

Os esquemáticos de circuito gerados foram utilizados para construir as placas utilizadas nos módulos de medições e no módulo de recebimento das informações.

Também no *software* PROTEUS® foi gerada a visualização 3D das placas, ferramenta útil para verificar se a disposição dos componentes está corretamente dimensionada em escala real. A visualização 3D da placa do circuito de medições é mostrada na Figura 19, e na Figura 20 é mostrada a visualização da placa do módulo de recebimento das informações.

4.2 Construção dos protótipos

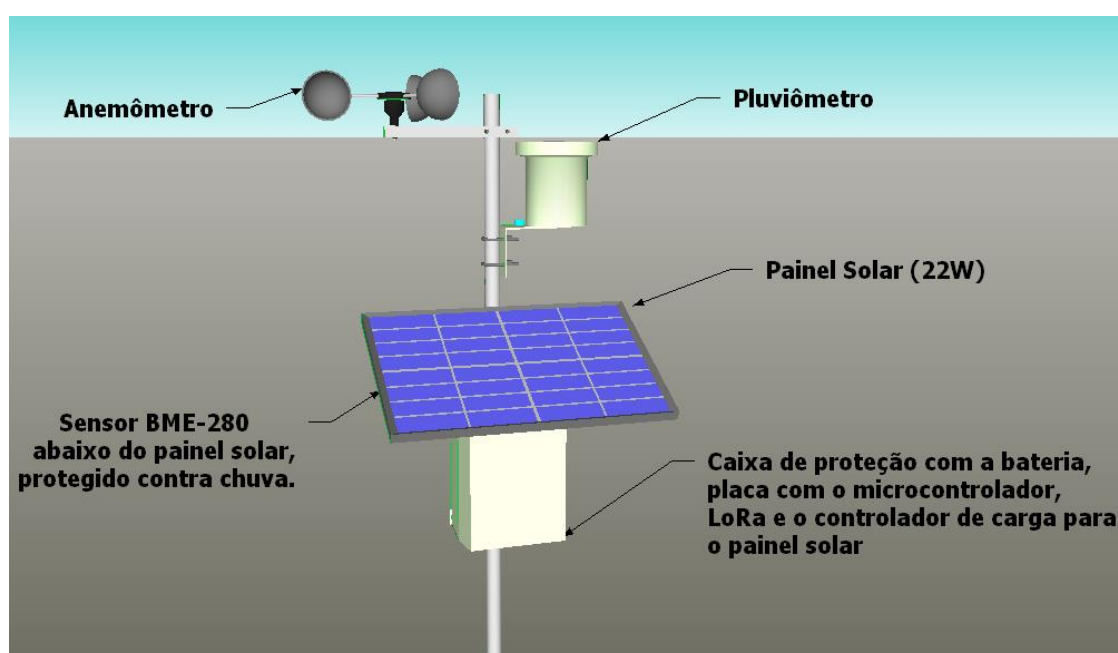
A construção do módulo de medições e do módulo de recebimento das informações consiste de etapas como o projeto dos módulos, a montagem das placas de circuito impresso, construção da estrutura dos módulos e programação dos microcontroladores utilizados. Para testar a comunicação em *mesh* entre módulos *LoRa* e garantir dados mais confiáveis para a validação dos resultados, três módulos de medições foram construídos, e um módulo de recebimento das informações, responsável por solicitar os dados para os módulos de medições de 15 em 15 minutos.

4.2.1 Construção dos módulos

Antes de construir os módulos de medições e do recebimento das informações fornecidas pelos sensores, o módulo de medições foi esboçado no *software* SketchUp, vide Figura 21. O modelo 3D permitiu visualizar o posicionamento de cada sensor, prever possíveis quedas de tensão ou o mal dimensionamento dos cabos, assim, correções nos circuitos puderam ser feitas antes da implementação prática, com o sistema sendo facilmente reprojetoado.

Com o módulo projetado, assim como os seus respectivos circuitos, anteriormente mostrados na Figura 9, foram construídos os circuitos e todas as estruturas dos módulos de medições, conforme é mostrado na Figura 22.

Figura 21 – Visualização 3D do módulo de medições



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 22 – Módulos de medições construídos



Fonte: Elaborado pelo autor

A parte interna da caixa de proteção que contém o controlador de carga integrado ao circuito de monitoramento, a placa de circuito impresso, o microcontrolador, o módulo de comunicação *LoRa* e a bateria, é apresentada na Figura 23.

Figura 23 – Circuitos internos dos módulos de medições



Fonte: Elaborado pelo autor

A construção do módulo de recebimento das informações consistiu da montagem dos circuitos projetados, anteriormente mostrados na Figura 13. Para a confecção do mesmo, foi confeccionada a placa de circuito impresso mostrada na Figura 20, que torna simples a integração de todos os componentes utilizados pelo circuito. O módulo receptor comporta a funcionalidade solicitar e receber informações de dispositivos *LoRa* e inseri-las em um banco de dados *online* por meio de uma conexão *Wi-Fi*, e também possui uma função secundária, onde gera um cliente *Bluetooth*, destinado a receber dados de nome de redes *Wi-Fi*, e senhas, para que possa se conectar à internet em qualquer lugar onde for instalado. A Figura 24 mostra o módulo concluído.

Figura 24 – Módulo de recebimento das informações



Fonte: Elaborado pelo autor

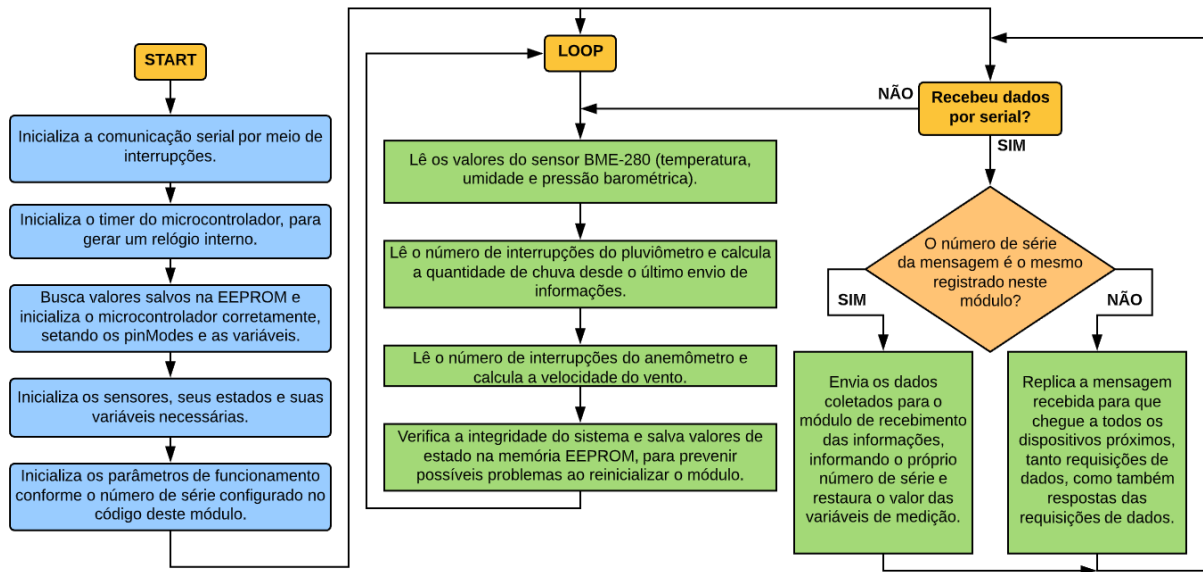
4.2.2 Programação dos microcontroladores

Para que os microcontroladores pudessem executar as funções projetadas foi necessário programar um código em linguagem C, estabelecendo os parâmetros de funcionamento e as ações que cada microcontrolador deveria executar caso condições específicas fossem atendidas.

No código, toda a lógica a ser seguida foi programada, bem como o envio e recebimento de informações por meio de comunicação serial, leitura dos sensores, a manipulação dos dados coletados e os procedimentos de contingência, caso ocorressem problemas no microcontrolador, como por exemplo, falta de tensão para alimentar o módulo, o que causaria a reinicialização do microcontrolador.

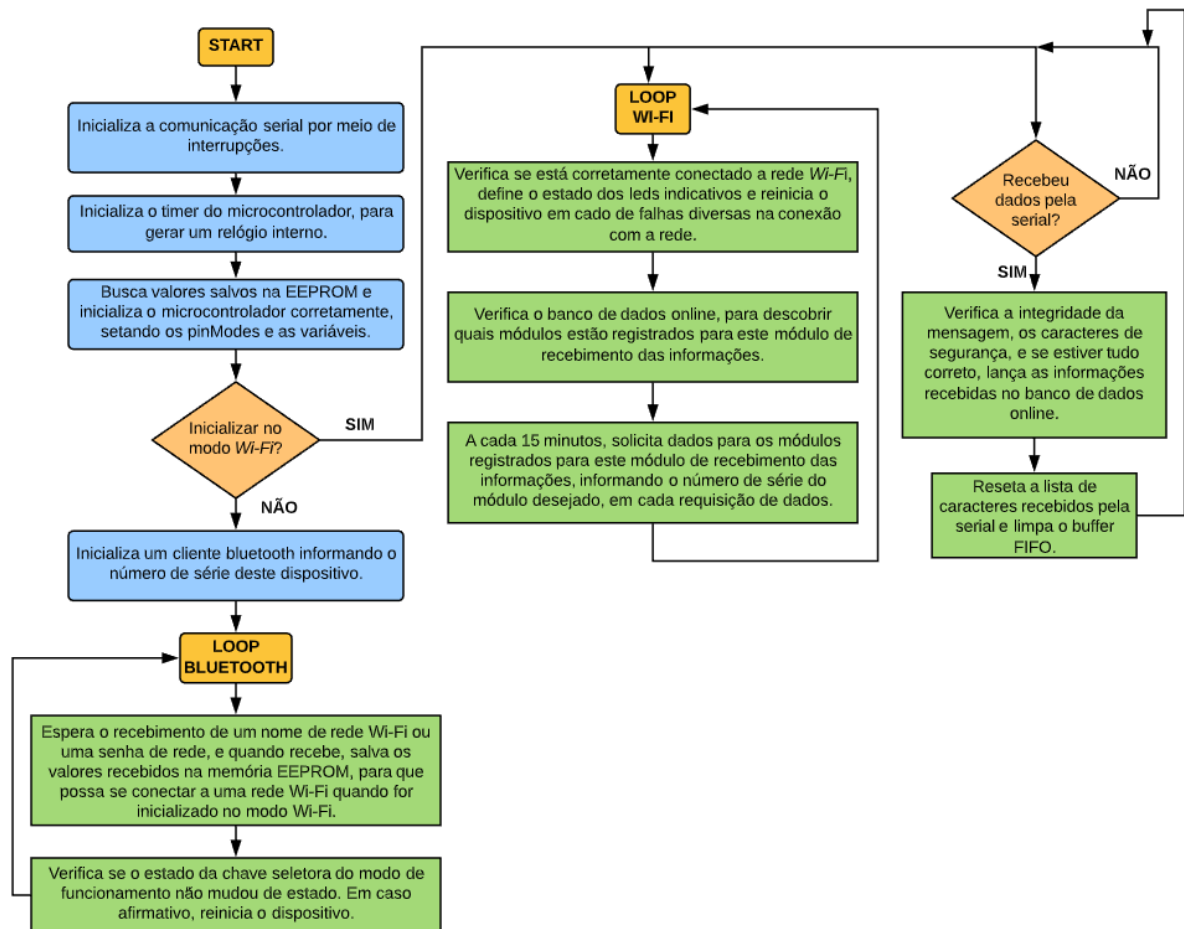
Para criar os códigos, foram feitos os fluxogramas do comportamento que cada microcontrolador deveria ter, de modo a facilitar a escrita do código e prever possíveis problemas de implementação. O fluxograma do código referente ao Esp32 dos módulos de medições é mostrado na Figura 25, e o do módulo de recebimento das informações é mostrado na Figura 26.

Figura 25 – Fluxograma referente ao código do módulo de medições



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 26 – Fluxograma referente ao código do módulo de recebimento das informações



Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.2.1 Comunicação entre módulos

Para fazer a comunicação entre os módulos de medições e o módulo de recebimento das informações foi utilizado o dispositivo de comunicação *LoRa* E32-TTL-100, capaz de atingir distâncias de até 3 km em campo aberto (DATASHEET E32-TTL-100). Este dispositivo trabalha com comunicação serial, e permite endereçar o dispositivo que vai receber as informações, bem como trabalhar em 32 canais diferentes, em torno da frequência de 433 MHz, tornando possível ter diversos dispositivos no mesmo ambiente, sem que existam interferências na comunicação.

A configuração dos dispositivos *LoRa* e o envio e recebimento de dados foram feitos utilizando interrupções UART do Esp32, de modo que, ao obter dados nas entradas RX do barramento de comunicação serial, uma interrupção é imediatamente chamada, para tratar os dados recebidos. As interrupções referentes a comunicação serial foram configuradas para trabalhar no segundo núcleo do microcontrolador, permitindo receber ou enviar informações sem afetar o processamento do código onde os dados dos sensores são coletados.

O envio dos dados das variáveis monitoradas para o módulo de recebimento das informações, é realizado a cada 15 minutos, quando o módulo de recebimento das informações solicita dados aos módulos de monitoramento, informando na solicitação, o número de série do módulo ao qual deseja obter dados, de maneira que apenas o módulo que contiver o número de série especificado na solicitação, responde para a central com dados de monitoramento, provenientes de amostragens desde o seu último envio de dados. Os outros módulos que recebem a mensagem, mas não possuem o número de série solicitado, ficam responsáveis apenas por reenviar a mensagem do módulo de recebimento das informações, e replicar respostas dos outros módulos de monitoramento próximos, para que a comunicação em *mesh* funcione, e módulos que não estão recebendo sinal do módulo de recebimento das informações, ainda possam se comunicar com ele, por meio dos módulos de monitoramento próximos a ele.

4.2.2.2 Conexão com a rede *Wi-Fi*

A conexão do microcontrolador Esp32 com a rede *Wi-Fi* é feita com o auxílio da biblioteca *WiFi.h*, onde o comando *WiFi.begin* (rede, senha) gera a conexão com a *internet*, possibilitando acessar qualquer site, apenas verificando periodicamente se o microcontrolador permanece conectado à rede, para que possa acessar os *sites* necessários e lançar as informações no banco de dados.

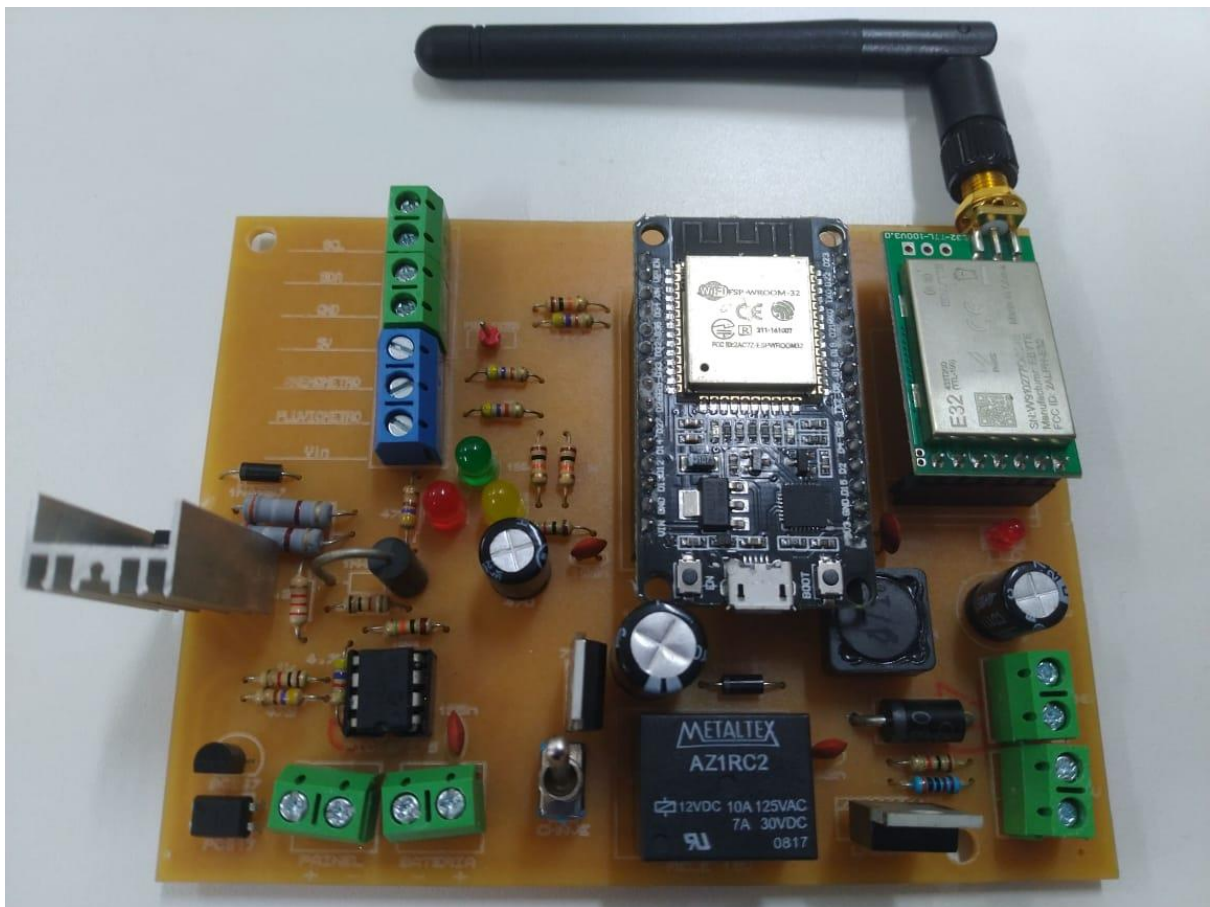
O nome da rede *Wi-Fi* e a senha dela, são configurados no microcontrolador, por meio de um aplicativo para dispositivos móveis, desenvolvido especificamente para este fim, tornando possível enviar mensagens para o módulo de recebimento das informações, quando o mesmo estiver com o modo de operação BLE (*Bluetooth Low Energy*) selecionado, que é o modo responsável por gerar um cliente *Bluetooth*, para que possa receber os dados necessários para se conectar à rede *Wi-Fi*.

Quando a conexão com a rede *Wi-Fi* é perdida, o microcontrolador entra em um *loop*, buscando reconectar-se com a rede, e caso não consiga reconectar-se após 120 segundos, o microcontrolador é reiniciado, para que possa tentar reestabelecer a conexão com a rede após reiniciar o processamento do código. A conexão com a rede *Wi-Fi* é necessária para que o microcontrolador do módulo de recebimento das informações possa inserir os dados coletados pelos sensores em um banco de dados *online*. Caso o microcontrolador reinicie e ainda assim não consiga conectar-se a uma rede *Wi-Fi*, uma rotina de *backup* é iniciada, onde os dados coletados são armazenados na memória do próprio microcontrolador, até que a conexão com a rede seja reestabelecida. Com o reestabelecimento da conexão com a rede *Wi-Fi*, os dados armazenados na memória do microcontrolador são inseridos no banco de dados *online*, encerrando a rotina de *backup* e o monitoramento retorna ao processo padrão de inserção de dados no banco de dados.

4.3 Validação do funcionamento do controlador de carga projetado

Para verificar o correto funcionamento do controlador de carga projetado, primeiro a placa de um módulo de monitoramento foi construída, vide Figura 27, e todos os seus periféricos foram conectados, a fim de estipular o consumo máximo de corrente durante o monitoramento das variáveis ambientais, e também, o consumo de corrente quando apenas o controlador de carga está em funcionamento.

Figura 27 – Placa do módulo de medições



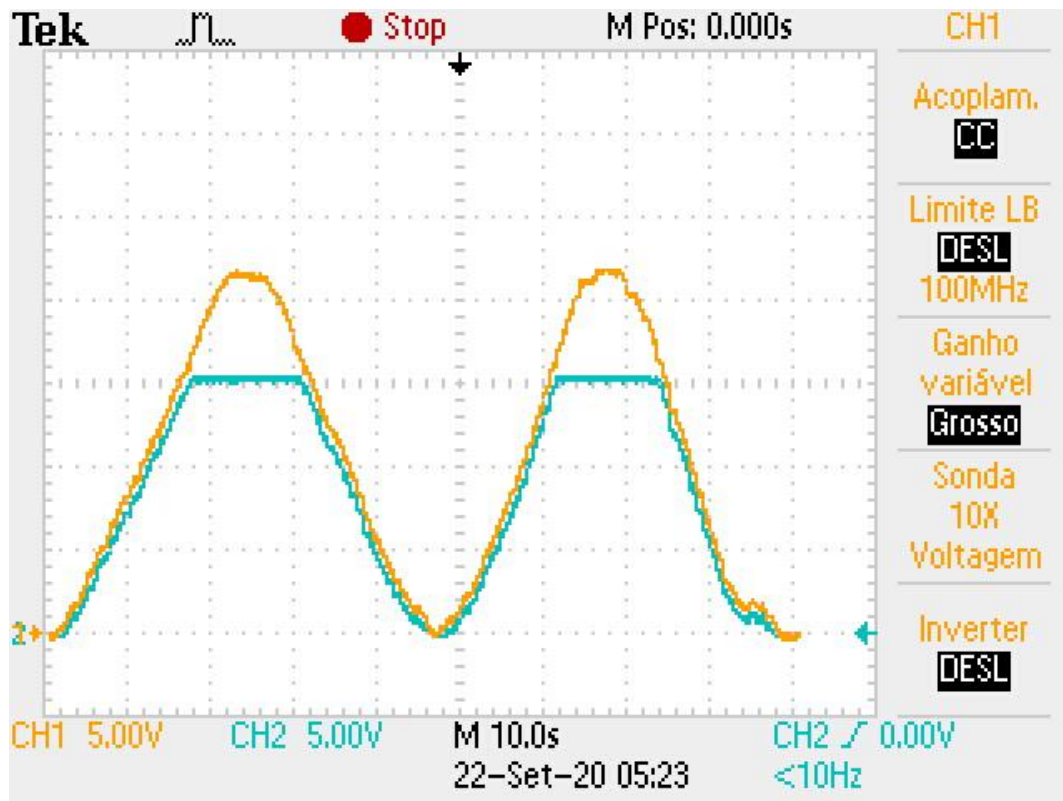
Fonte: Elaborado pelo autor

Alimentando o circuito com 12,5 V, pelos terminais de conexão da bateria, e com um multímetro em série para mensurar o consumo de corrente, verificou-se que o módulo consome 150 mA de corrente com todos os circuitos em funcionamento. Para verificar apenas o consumo de corrente do controlador de carga, a tensão de alimentação foi reduzida para um valor de 10,7 V, onde pode-se verificar que, após a desativação do relé que alimenta os circuitos de monitoramento, a corrente demandada passou a ser de 15 mA, o que torna o controlador de carga eficiente, pois possui um consumo pequeno de corrente enquanto controla o carregamento da bateria.

Para validar o correto funcionamento do comportamento do controlador de carga, uma fonte regulada foi conectada nos terminais de conexão do painel solar na placa, a fim de simular o comportamento da variação de tensão que o painel pode apresentar durante o dia, e um osciloscópio foi conectado a diversos pontos do circuito, para que medidas de tensão fossem adquiridas, e o comportamento do controlador de carga pudesse ser avaliado.

Primeiro, foram feitas medidas da tensão fornecida pela fonte, e da tensão na saída do regulador LM317T, onde a tensão da fonte recebeu variações de 0 V a 22 V, para verificar o funcionamento do regulador de tensão. O comportamento das tensões no circuito é mostrado na Figura 28, onde o sinal em cor laranjada representa a tensão fornecida pela fonte variável, e o sinal na cor azul representa a tensão na saída do regulador de tensão.

Figura 28 – Tensões do painel solar, e da saída do LM317T, sem a bateria conectada

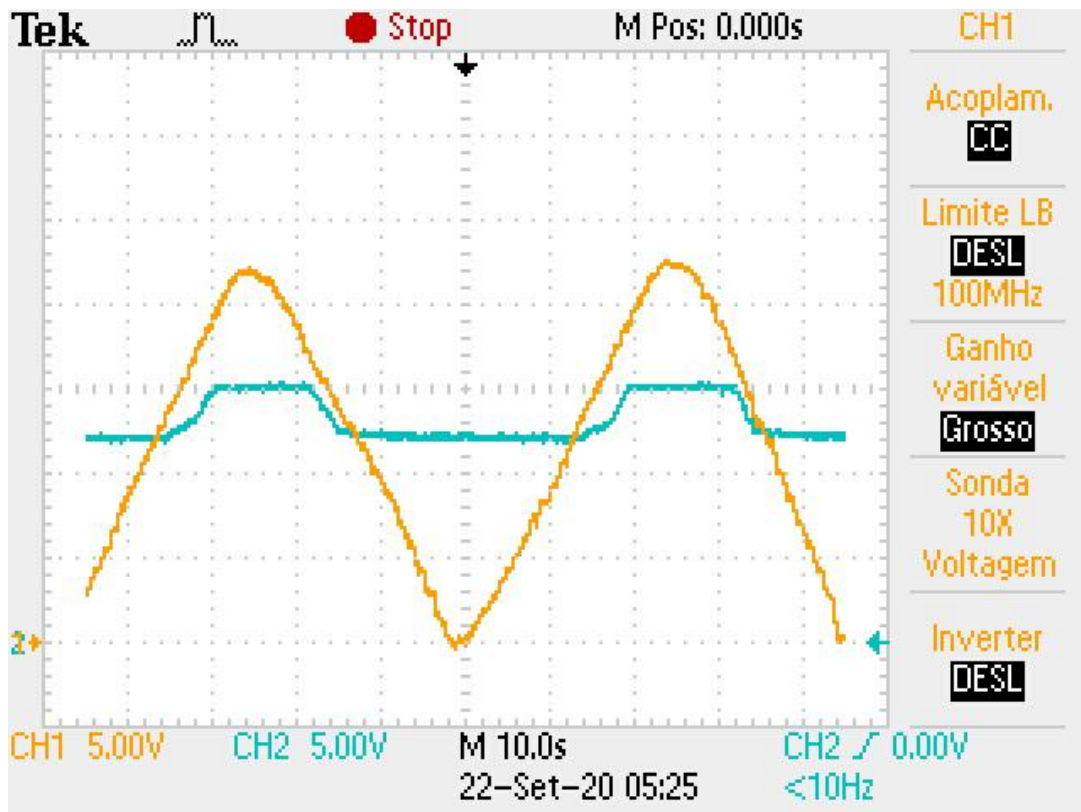


Fonte: Elaborado pelo autor

Pelos dados mostrados é possível verificar o correto funcionamento do regulador LM317T, que limita a tensão fornecida para um valor máximo de 15,5 V, permitindo que os circuitos seguintes e a bateria possam funcionar corretamente.

O segundo teste ocorreu de forma similar ao primeiro, porém, com a bateria conectada aos seus devidos terminais na placa. O comportamento das tensões nessa configuração é mostrado na Figura 29, onde o sinal em cor laranjada representa a tensão fornecida pela fonte variável, e o sinal na cor azul representa a tensão na saída do regulador de tensão.

Figura 29 – Tensões do painel solar, e da saída do LM317T, com bateria a conectada

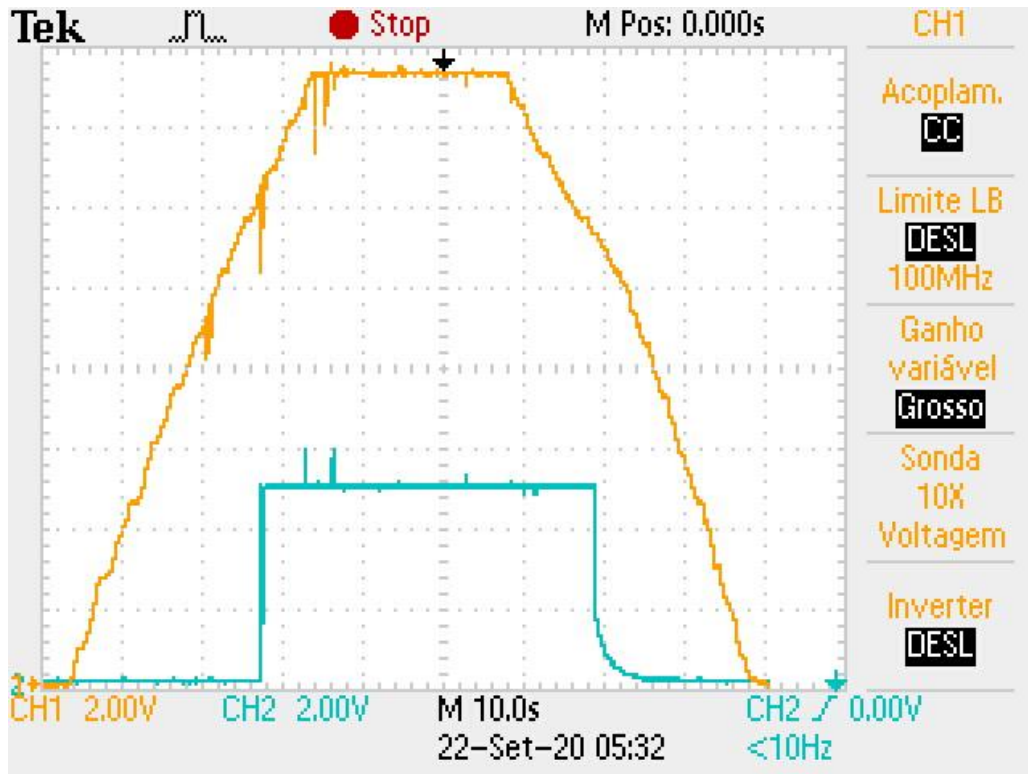


Fonte: Elaborado pelo autor

É possível perceber que o circuito se comporta da maneira esperada, limitando a tensão máxima em 15,5 V, carregando a bateria e mantendo os periféricos em funcionamento quando o painel solar fornece um valor de tensão maior do que 13 V, e mantendo a carga em funcionamento, com a tensão fornecida pela própria bateria, quando o valor da tensão fornecida pelo painel solar é inferior a 13 V.

Após averiguar o correto funcionamento do regulador de tensão e do comportamento da bateria no circuito, a bateria foi desconectada, e a tensão da fonte regulada foi variada de 0 V a 22 V, para simular variações na tensão de alimentação do circuito, e verificar se o controlador de carga efetua o controle da energia da bateria de acordo com a tensão mensurada. O resultado desse teste é mostrado na Figura 30, onde o sinal em laranja representa a tensão logo após o regulador LM317T, e o sinal em azul representa a tensão regulada pelo conversor *buck*, responsável por alimentar os circuitos de medições.

Figura 30 – Tensões após a saída do LM317T, e após a saída do conversor *buck*



Fonte: Elaborado pelo autor

É possível perceber que o controlador de carga está efetuando o controle corretamente, alimentando os circuitos quando a tensão mensurada pelo microcontrolador é superior a 12 V, de modo que o conversor *buck* consegue fornecer um nível de tensão regulada de 5 V para os circuitos de medições, e removendo a alimentação dos circuitos quando a tensão mensurada é inferior a 10,8 V, o que valida o correto funcionamento do circuito controlador de carga projetado e desenvolvido.

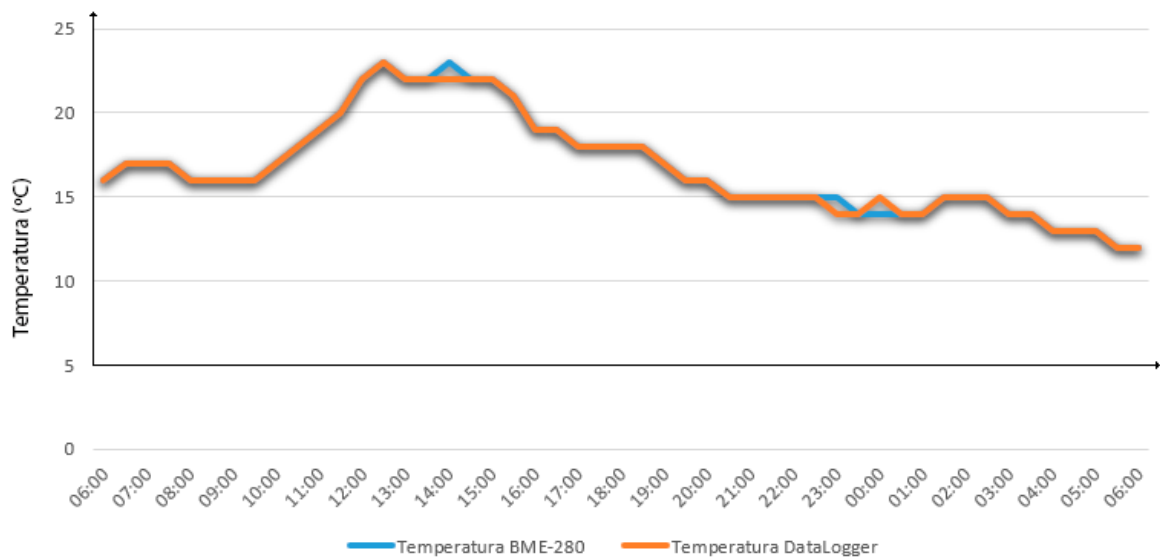
4.4 Validação da calibração dos sensores por comparação

A validação da calibração dos sensores utilizados foi feita apenas no sensor BME-280, por haver apenas um *datalogger* AK172 mini de temperatura e umidade calibrado e certificado, para que fosse possível efetuar medições e comparar os dados coletados.

O sensor BME-280 e o *datalogger* AK172 mini foram deixados lado a lado durante 24 horas seguidas, coletando dados de temperatura e umidade para verificação posterior. Os dados coletados foram plotados juntos para análise comparativa, os valores são mostrados na Figura 31 e na Figura 32. Os valores referentes ao sensor BME-280 estão na cor azul e os referentes ao *datalogger* estão na cor laranja.

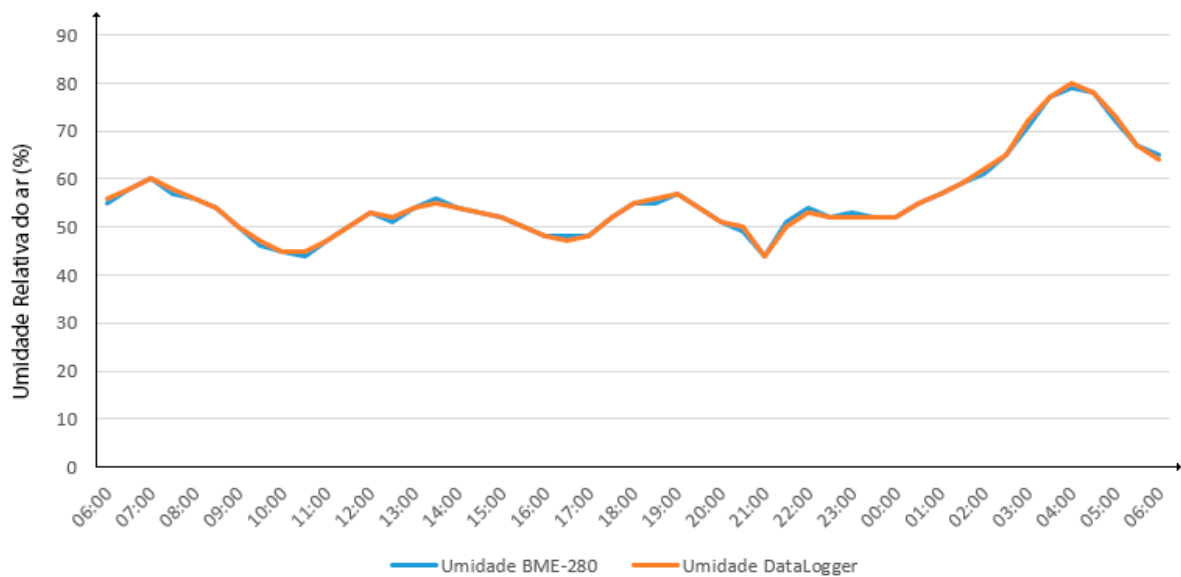
Notou-se que o sensor BME-280 apresentou relativa precisão se comparado ao *datalogger* AK172 mini certificado, o que torna desnecessária a correção das medidas efetuadas pelo sensor. As divergências apresentadas nos gráficos são mínimas, e podem ser desconsideradas, visto que o sensor BME-280 possui tolerância de 1 °C para mais ou para menos nas medições de temperatura, e 3 % para mais ou para menos nas medições de umidade relativa do ar, segundo o *datasheet* do fabricante, de modo que todas as medições efetuadas encontram-se dentro das medidas de tolerância estabelecidas para o sensor escolhido.

Figura 31 – Comparação de temperatura medida pelo BME-280 e pelo *Datalogger*



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 32 – Comparação da umidade medida pelo sensor BME-280 e pelo *Datalogger*



Fonte: Elaborado pelo autor

A medida da pressão barométrica do sensor BME-280 não foi validada, pela falta de equipamentos para fazer uma comparação precisa. No entanto, consideram-se os dados confiáveis, visto que a temperatura e a umidade do sensor se encontram corretamente calibradas de fábrica, atendendo as especificações do *datasheet*.

O anemômetro e o pluviômetro também não tiveram suas medições validadas, pela falta de instrumentos para fazer uma comparação de medidas confiável. Mas as medidas dos sensores utilizados são consideradas plausíveis, pois os sensores vêm calibrados de fábrica, com certificado de calibração, caso solicitado ao fabricante.

4.5 Desenvolvimento do aplicativo para dispositivos móveis

Para que o sistema de monitoramento desenvolvido possa ser instalado em qualquer local com rede *Wi-Fi* disponível, o módulo de recebimento das informações deve ser capaz de ser configurado sempre que necessário, para permitir a troca do nome da rede *Wi-Fi* e da senha, que estão gravados no microcontrolador. Para enviar um novo nome de rede ou uma nova senha para o módulo, é necessário que o módulo seja iniciado no modo BLE, para que possa gerar um cliente *Bluetooth* e receber informações.

Quando o módulo recebe um pacote de dados por meio de comunicação *Bluetooth*, os dados recebidos são verificados. Se a mensagem recebida começa com os caracteres **SSU** em sequência, e termina com os caracteres **}}%**, o código interpreta que um novo nome para a rede *Wi-Fi* foi recebido, então a mensagem que estiver entre os símbolos, é o novo nome da rede. Se a mensagem recebida começa com os caracteres **SSP**, e termina com **}}%**, então o código interpreta que uma nova senha foi recebida, e o conteúdo que estiver entre os símbolos é a nova senha.

Buscando uma alternativa simples para enviar dados de nome de rede *Wi-Fi*, e senha, corretamente estruturados, optou-se por desenvolver um aplicativo para dispositivos móveis, responsável por conectar-se ao cliente *Bluetooth* gerado pelo microcontrolador, e enviar dados para ele. Para tal, foi utilizada a aplicação *online* MIT App Inventor, pela facilidade em criar aplicativos, de maneira extremamente simples e rápida. O aplicativo desenvolvido é mostrado na Figura 33, e o código responsável pelo seu funcionamento é mostrado na Figura 34.

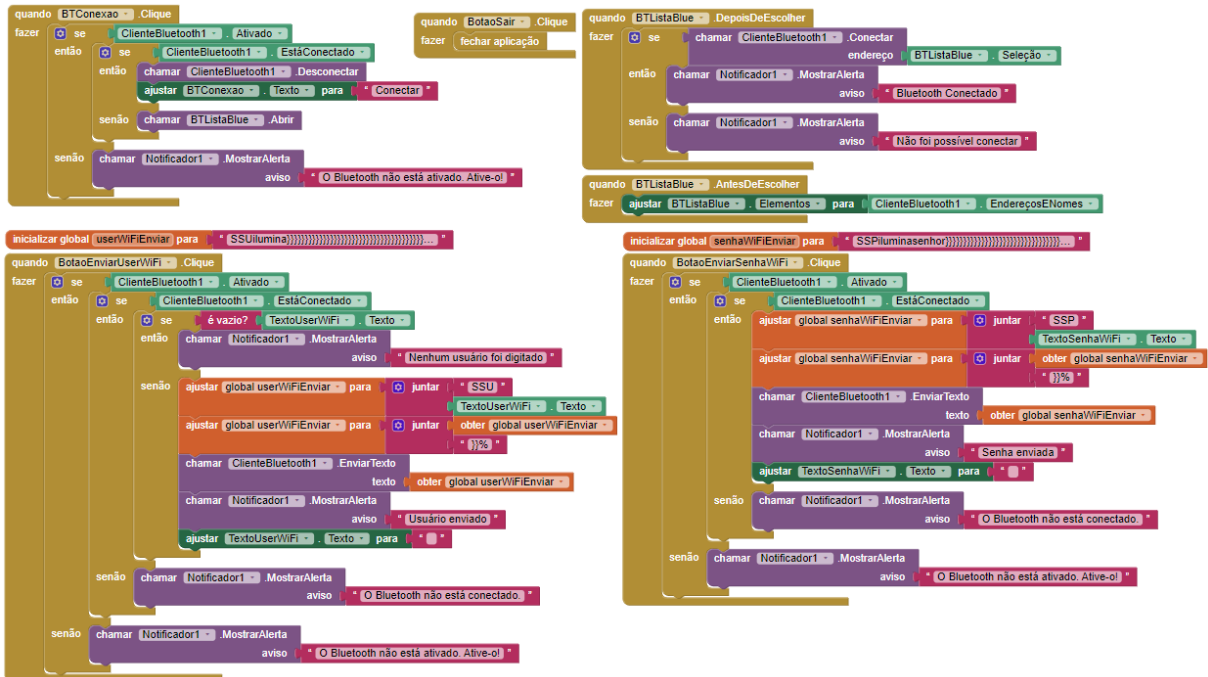
Com o aplicativo desenvolvido, a etapa de configurar o módulo de recebimento das informações tornou-se extremamente simples e rápida, tornando o sistema compatível com diversos locais onde o sistema pode ser instalado, sendo apenas necessário que o local possua uma rede *Wi-Fi* disponível para que o módulo de recebimento das informações possa se conectar.

Figura 33 – Interface do aplicativo móvel



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 34 – Código em blocos, do aplicativo móvel



Fonte: Elaborado pelo autor

4.6 Validação do funcionamento dos módulos e da comunicação em mesh

Para verificar o correto funcionamento dos sistemas, bem como a sua resistência a interpéries, os módulos foram expostos ao clima durante o período de quatorze dias, desde o dia 4 de outubro até o dia 18 de outubro de 2020, instalados em uma lavoura na área rural de Erechim-RS, como é mostrado na Figura 35, onde passaram por chuvas, ventos, variações de temperatura e condições climáticas adversas.

Os módulos de monitoramento número 2 e número 3 marcados na Figura 35 não conseguiram estabelecer conexão com o módulo de recebimento das informações, pois mesmo estando a uma distância menor do que 3 Km, que é o limite de alcance dos dispositivos *LoRa* em campo aberto, o local escolhido apresenta grande desnível no solo, constituídos por morros e aclives, de modo que apenas o módulo de monitoramento número 1 conseguiu comunicar-se com o módulo de recebimento das informações. No entanto, todos os módulos enviaram informações continuamente durante os 14 dias de testes, o que permite inferir que a comunicação em *mesh* funcionou corretamente no sistema desenvolvido.

Figura 35 - Localização dos módulos durante o período de testes



Fonte: Elaborado pelo autor

Também com o período de testes realizado, pode-se verificar a duração das baterias em períodos prolongados, onde os módulos permaneceram funcionando ininterruptamente durante os 14 dias em campo.

Embora os cálculos estimados para a duração da bateria apontavam 46 horas como duração máxima prevista, tendo em vista que a bateria apresenta uma carga de 7 Ah e os

circuitos apresentam um consumo médio de 150 mA quando todos os sistemas de sensoriamento estão em funcionamento, obteve-se o valor de 46,66 horas de máxima duração das baterias dividindo a carga das baterias pelo consumo médio de corrente apresentado pelo circuito. Os sistemas em nenhum momento foram desligados pelo controlador de carga, ou seja, a tensão nas baterias em momento algum diminuiu para um valor abaixo de 10,8 V.

Verificadas as tensões em todos os circuitos, percebeu-se que o painel solar gera tensões acima de 14 V, capazes de carregar a bateria, mesmo sem exposição direta ao sol, tornando a duração da bateria muito maior do que a prevista, assegurando o funcionamento contínuo do sistema se instalado em ambientes abertos e sem a interferência de sombras que possam cobrir o painel solar.

O período de testes também permitiu verificar um aquecimento demasiado do regulador de tensão LM317T do controlador de carga em momentos de forte irradiação da luz solar, mesmo que o regulador de tensão possua dissipador de calor acoplado em sua estrutura. Esse aquecimento foi atribuído a queda de tensão no regulador, pois quando o painel solar gera a sua potência máxima, a tensão gerada por ele chega a 21,7 V, e deve ser rebaixada para no mínimo 15,5 V pelo regulador de tensão, o que causa uma grande dissipação de potência em forma de calor. O aquecimento do componente não causou nenhum problema, e considera-se segura a sua utilização no circuito projetado, no entanto, a substituição futura do regulador de tensão linear por um conversor *buck* é considerada uma melhoria viável.

4.7 Banco de dados e interface para visualização dos dados coletados

O banco de dados é uma coleção de dados relacionados (ELMASRI; NAVATHE, 2011), nele são armazenadas informações de qualquer tipo, para diversos tipos de uso. As informações contidas nele podem ser organizadas em índices, classificadas, organizadas e armazenadas em variáveis, podem ser manipuladas, e principalmente, podem ser acessadas facilmente por meio de diversos dispositivos, através de comandos em SQL.

Para acessar e controlar um banco de dados, usa-se um SGBD (“Sistema de gerenciamento de Banco de Dados”), que é um *software* que possui recursos capazes de manipular os dados armazenados, deletar ou incluir informações, dentre várias outras opções. Existem diversos SGBD, e a principal diferença entre eles é o nível de segurança e os recursos contidos, de modo que cada um deles possui melhor funcionalidade para aplicações específicas. Neste trabalho foi utilizado o SGBD MySQL, por ser bastante seguro e de fácil utilização, e o mecanismo de armazenamento *InnoDB* ser diretamente compatível com o MySQL.

O banco de dados e o SGBD precisam ser instalados em um computador ou dispositivo com acesso à *internet*, comumente chamado de servidor ou *host*, que possa ser acessado por qualquer dispositivo conectado à rede através de um *link* ou de um endereço *online*. No trabalho, foi utilizado um computador *online* alugado, do serviço de hospedagem *Hostinger*. Esse serviço de hospedagem fornece mecanismos que facilitam a instalação do banco de dados, das interfaces de programação e do SGBD, o que permite conseguir um computador *online* e com banco de dados de maneira simples e rápida. O serviço citado também permite aderir a um nome de domínio personalizado, tornando possível transformar o computador alugado em um ou vários *sites* com domínio público, o que possibilita associar as informações a um *link* fácil de memorizar, e acessível via *internet*.

4.7.1 Inserção de dados no banco de dados

Para fazer a inserção dos dados no banco de dados *online* pelo Esp32, foi utilizada a biblioteca *HTTPClient.h*, que possibilita gerar um cliente para a rede e acessar *links* públicos, de modo que o microcontrolador possa criar um *link* com base nas variáveis coletadas e acessá-lo. O *link* é construído com base em um código programado na linguagem de programação PHP presente no *site* acessado, responsável por desmembrar o *link* acessado, separar as variáveis, de modo que, para inserir variáveis no banco de dados, basta gerar o *link* com o nome do *site*, e logo após, as variáveis com os valores, como é mostrado no exemplo abaixo:

www.nomedosite.com/lançardados.php?temp=valor&umi=valor&gas=valor

Deste modo, se o *link* gerado se adequar ao formato esperado pelo *site*, o código em PHP separa as variáveis e os seus valores e os inserem no banco de dados por meio de comandos em SQL, possibilitando armazenar todos os dados coletados pelos módulos de medições.

O módulo de recebimento das informações solicita os dados dos módulos de medições a cada 15 minutos, e assim que recebe o retorno de cada módulo, os dados recebidos são enviados para o banco de dados, proporcionando assim, que os dados coletados pelos sensores fiquem disponíveis em um banco de dados *online*. Com os dados disponíveis é possível manipula-los por modelos estatísticos que indiquem o melhor aproveitamento para o manuseio do solo no dispositivo em que estiver instalado, além de disponibilizar os dados para consulta posterior, ou visualização das variáveis monitoradas em tempo real.

4.7.2 Interface para visualização dos dados

Para tornar possível a visualização dos dados coletados sem a necessidade de acessar a interface do banco de dados, um código em linguagem PHP foi criado, para tornar possível consultar os valores armazenados no banco de dados *online* por meio de um *link*, que retorna os dados das variáveis ambientais armazenadas das máquinas consultadas, no formato compacto *JSON*, permitindo consultar informações de máquinas específicas por meio de *softwares* externos ao site, ou até mesmo, por meio de aplicativos para dispositivos móveis.

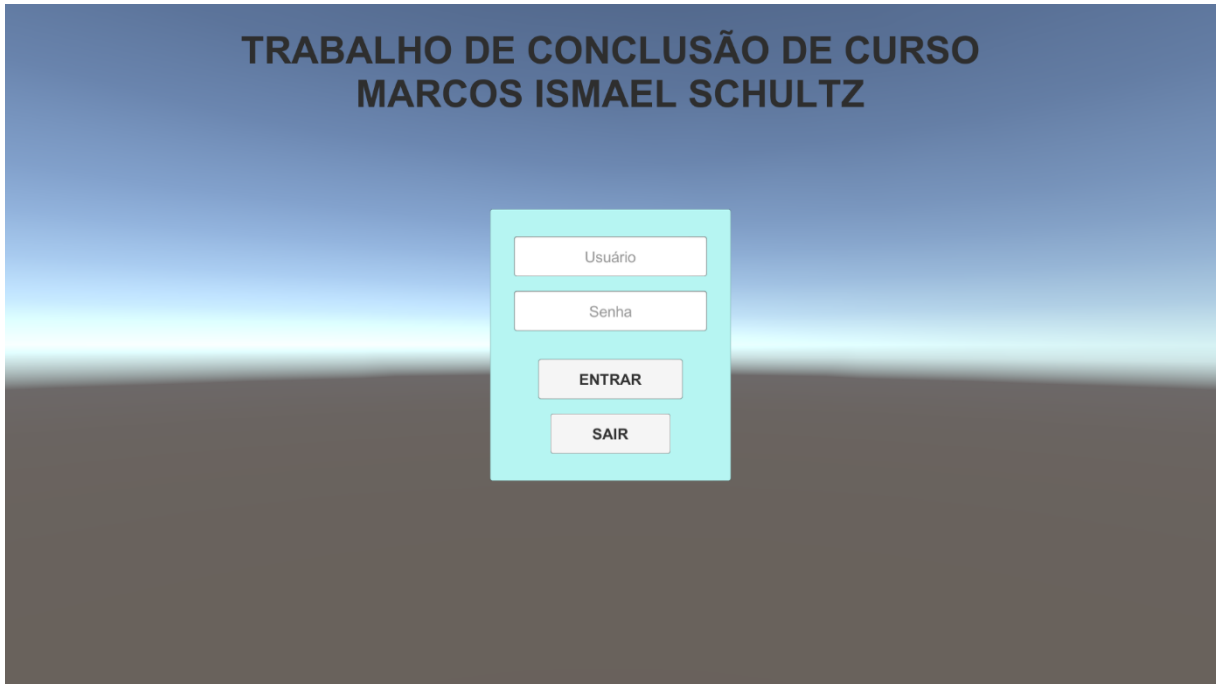
Para que o código em PHP forneça um retorno válido, um nome de usuário, uma senha, o nome da máquina a ser consultada, e o número do módulo de recebimento das informações ao qual a máquina a ser consultada está vinculada no banco de dados devem ser informados no *link* acessado, de modo que apenas quem possuir todas as informações citadas consegue acessar os dados armazenados.

Os dados de cada máquina são inseridos no banco de dados *online* de 15 em 15 minutos, pelo módulo de recebimento das informações, e um total de 672 registros são mantidos para cada máquina cadastrada, o que totaliza um histórico de 7 dias seguidos de medições armazenadas, contendo os dados de todas as variáveis monitoradas, bem como a data e a hora em que foram inseridas no banco de dados.

Buscando tornar a visualização dos valores armazenados de cada módulo, fácil e intuitiva, bem como permitir georreferenciar o posicionamento de cada módulo de medições, e também, visualizar os seus dados em tempo real, optou-se pelo desenvolvimento de um *software* específico para esse fim. Para desenvolver o *software* de visualização dos dados armazenados, foi utilizado o *software* UNITY®, onde toda a interface de interação com o usuário foi criada, utilizando componentes visuais internos da própria *engine*.

O sistema de *login*, a lógica de georreferenciamento, a consulta de dados *online* por meio do código em PHP, e todo o comportamento do programa em si, são gerenciados por códigos programados na linguagem C#, que foram desenvolvidos utilizando o *software* Visual Studio, que é o editor de códigos oficial utilizado em conjunto com a *engine* UNITY. O sistema de mapas online foi feito utilizando o *plug-in* Online Maps V3, desenvolvido pela Infinity Code, que está presente na loja oficial da *engine* utilizada. O programa desenvolvido é mostrado nas figuras a seguir, onde a Figura 36 mostra a interface de *login* do sistema, onde o usuário pode consultar apenas os módulos que são vinculados ao seu usuário no banco de dados *online*.

Figura 36 – Interface de login do programa de monitoramento desenvolvido



The image shows a login interface for a program titled "TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO" by "MARCOS ISMAEL SCHULTZ". The interface is centered on a dark blue background with a light blue gradient. It consists of a light blue rectangular box containing four input fields: "Usuário", "Senha", "ENTRAR", and "SAIR".

Fonte: Elaborado pelo autor

Após efetuar o *login* no programa, uma interface com mapa é mostrada, permitindo que o usuário navegue pelo mapa do mundo todo. Nessa interface, é possível criar pontos de georreferenciamento, sendo necessário apenas posicionar o marcador no local desejado, e informar o número de série do módulo a ser vinculado à aquela posição especificada, de modo que uma esfera vermelha aparece no local em que um módulo foi posicionado, indicando que há um módulo instalado naquelas coordenadas geográficas. A Figura 37 mostra a interface principal do programa.

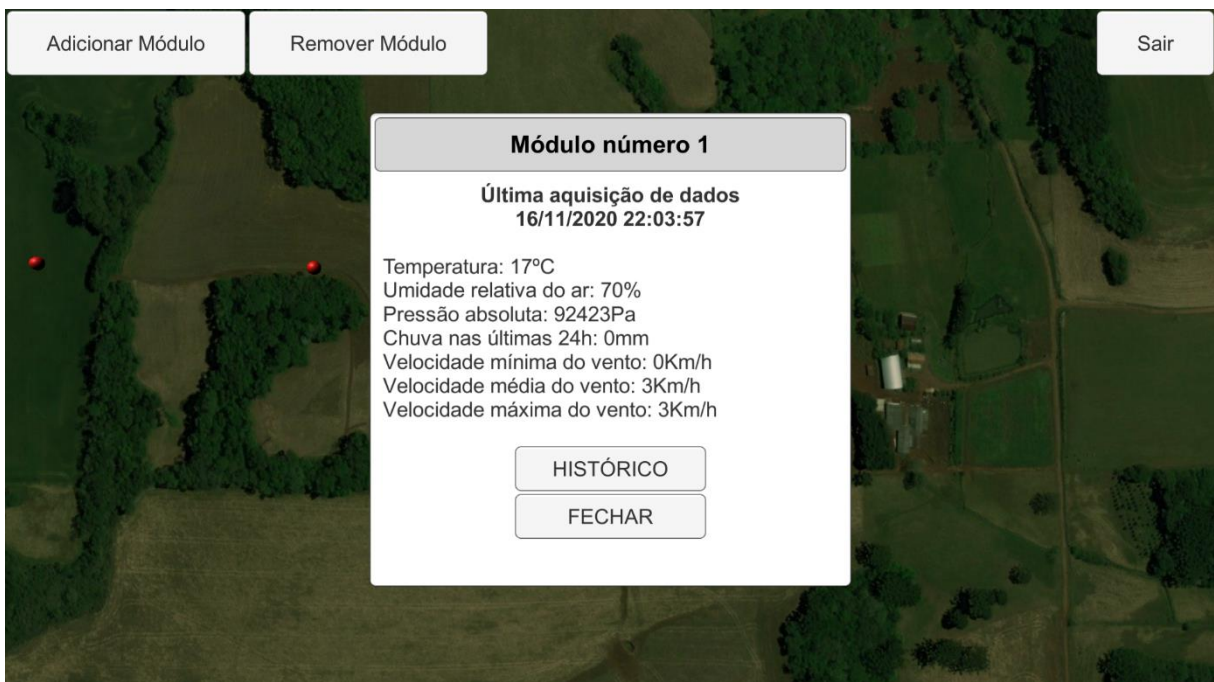
Figura 37 – Interface principal do programa de visualização das variáveis



Fonte: Elaborado pelo autor

Ao posicionar o cursor do mouse sobre as esferas, o número de série do módulo ali cadastrado vai aparecer na tela, e ao clicar sobre a esfera, uma tela mostrando as informações em tempo real do módulo é apresentada, como é mostrado na Figura 38.

Figura 38 – Visualização dos dados em tempo real



Fonte: Elaborado pelo autor

Na tela em que aparecem os dados em tempo real do módulo selecionado, também é possível consultar o histórico de dados desta máquina, onde uma nova tela é exibida, mostrando o número de série do módulo selecionado, e todos os dados armazenados, que totalizam um histórico dos 7 últimos dias de monitoramento do módulo, informando todos os parâmetros monitorados, bem como a data e a hora em que os dados foram inseridos no sistema. A interface com o histórico de dados é mostrada na Figura 39.

Figura 39 – Interface com o histórico de dados de um módulo de monitoramento

Módulo número: 2							
Temperatura (°C)	Umidade relativa do ar (%)	Pressão absoluta (Pa)	Chuva nas últimas 24h (mm)	Velocidade mínima do vento (Km/h)	Velocidade média do vento (Km/h)	Velocidade máxima do vento (Km/h)	Data
14	59	92368	0	0	0	0	17/11/2020 23:55:27
14	58	92412	0	0	0	0	17/11/2020 23:35:18
14	57	92409	0	0	0	0	17/11/2020 23:20:18
14	56	92406	0	0	0	0	17/11/2020 23:05:18
14	56	92387	0	0	0	0	17/11/2020 22:50:18
15	57	92369	0	0	0	0	17/11/2020 22:35:18
15	57	92389	0	0	0	0	17/11/2020 22:20:18
15	57	92369	0	0	0	0	17/11/2020 22:05:18
15	56	92346	0	0	0	0	17/11/2020 21:50:18
16	54	92340	0	0	0	0	17/11/2020 21:35:18
16	49	92321	0	0	0	0	17/11/2020 21:05:19
17	46	92321	0	0	0	0	17/11/2020 20:50:19
17	44	92287	0	0	0	0	17/11/2020 20:35:18
18	41	92262	0	0	0	0	17/11/2020 20:20:18
18	39	92259	0	0	0	0	17/11/2020 20:05:18
19	38	92212	0	0	0	0	17/11/2020 19:50:19
19	37	92184	0	0	0	0	17/11/2020 19:35:18
20	35	92162	0	0	0	0	17/11/2020 19:20:20
21	33	92151	0	0	0	0	17/11/2020 19:05:18
21	31	92138	0	0	0	0	17/11/2020 18:50:18
23	29	92124	0	0	0	0	17/11/2020 18:35:18
24	28	92100	0	0	0	0	17/11/2020 18:20:18
25	25	92095	0	0	0	0	17/11/2020 18:05:18
26	22	92068	0	0	0	0	17/11/2020 17:50:18
26	21	92060	0	0	0	0	17/11/2020 17:35:19
27	19	92057	0	0	0	0	17/11/2020 17:20:18
28	17	92061	0	0	0	0	17/11/2020 17:05:18
29	16	92058	0	0	0	0	17/11/2020 16:50:18
29	14	92064	0	0	0	0	17/11/2020 16:35:19
30	14	92086	0	0	0	0	17/11/2020 16:20:18
29	15	92085	0	0	0	0	17/11/2020 16:05:19

Fonte: Elaborado pelo autor

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um sistema para o monitoramento de variáveis ambientais a distância, a fim de que seja aplicável na agricultura de precisão, onde não há rede elétrica para alimentação dos módulos de monitoramento, nem conexão com a *internet* próxima ao local de instalação dos sensores.

Os módulos para o recebimento das informações e para efetuar as medições das variáveis no campo foram construídos e testados, onde pode-se verificar o seu correto funcionamento, validar o sistema de comunicação em *mesh*, a calibração dos sensores, o funcionamento do controlador de carga, bem como levantar dados importantes sobre o funcionamento e as limitações dos componentes utilizados.

Softwares de desenvolvimento, análise e simulação foram de suma importância no desenvolvimento dos módulos do protótipo e no desenvolvimento da interface de monitoramento, facilitando na percepção de possíveis erros, ajudando na inspeção do funcionamento do sistema e tornando mais fácil a correção de eventuais problemas.

Os resultados mostrados evidenciaram um bom desempenho do sistema de monitoramento, capacidade de comunicação em *mesh*, autonomia energética dos módulos de monitoramento, facilidade de implementação em locais diversos, e também mostram a confiabilidade dos dados coletados, mesmo que a grandes distâncias, o que torna possível e simples monitorar diversas variáveis ambientais em campo aberto. Isso permite levantar estatísticas precisas e importantes para melhorar o cultivo de diversas culturas, pois com informações mais claras sobre o comportamento climático do local cultivado pode-se melhorar a tomada de decisão humana.

5.1 Perspectivas para continuação do trabalho

Para continuação do trabalho sugere-se a abordagem dos seguintes tópicos:

- Busca de alternativas para a calibração dos sensores em que não foi possível efetuar calibração por comparação de instrumentos;
- Adição de um sensor nos módulos, responsável por monitorar a umidade do solo, visto que é uma variável de grande importância a ser monitorada, e a placa do módulo de monitoramento já foi projetada com um pino extra, para esse fim específico, de modo que apenas não foi implementado neste trabalho pela sua grande extensão na parte prática, ocasionando falta de tempo para testes e implementações de outros sensores;

- Desenvolvimento de uma interface de monitoramento mais amigável com estatísticas e dados importantes para o auxílio da produção no campo;
- Estudo sobre a possibilidade do desenvolvimento de um aplicativo, permitindo visualizar os dados coletados em dispositivos móveis.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, W. R.M. **Anemômetro Baseado no Método de Tempo de Trânsito**: Estudo comparativo de arquiteturas, avaliação de incertezas e implementação. Dissertação de Mestrado Universidade Federal do Maranhão, 2004.
- BAUER, W.; WESTFALL, G. D.; DIAS, H. **Física para Universitários - Eletricidade e Magnetismo**. AMGH Editora, 2012.
- BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. **Agricultura de precisão - Resultados de um Novo Olhar**. Embrapa - Brasília-DF, 2014.
- BOSCH. **Datasheet BME-280**, 2018.
- EBYTE. **SX1278 Wireless Module E32 Series**, 2017.
- ELMASRI, R.; NAVATHE, S. B. **Sistema de Banco de Dados**. 6. ed. São Paulo: Pearson Education, 2011.
- FUHS, A. E. **Hybrid Vehicles and the Future of Personal Transportation**. Estados Unidos - Boca Raton, 2009.
- GARCIA, H. M. **Sistema Inteligente para la Medida y Monitorización em Agricultura Inteligente**. SAAEI2018. University of Catalonia (UPC), 2018.
- HART, D. W. **Eletrônica de Potência: Análise e Projetos de Circuitos**. Tradução Romeu Abdo. 1ªed. - Porto Alegre: AMGH, 2011.
- KOLBAN, N. **Kolban's Book on ESP32**, 2017.
- MENENDEZ, C. A. P. **Implementación y prueba de un equipo para el monitoreo de variables meteorológicas em el invernadero de ensayo de la técnica de riego secado parcial de la zona de raíces (SPR) de la Facultad de Ingeniería Agrícola**. Universidade Técnica de Manabí. Portoviejo-Manabí-Ecuador, 2013.
- MANTOVANI, E. C. **Agricultura de Precisão**. Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. Aracaju-SE, 2002.
- MEKKI, K.; BAJIC, E.; FREDERIC, C.; MEYER, F. **A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment**. Research Centre for Automatic Control of Nancy, Campus Sciences, BP 70239, Vandoeuvre, 54506, France, 2018.
- MIKI, A. J. **Energia Fotovoltaica em Comunidades Isoladas no Amazonas**. 1ª ed. Curitiba: Appris. 2019.
- INFINITY CODE. **Online Maps V3**. Versão 3.7.6. Disponível em: <<https://assetstore.unity.com/packages/tools/integration/online-maps-v3-138509>>. Acesso em: 23 outubro 2020.
- PEREIRA, E. A. **Implementação de um Dispositivo para rede de Sensores sem fio LoRa @ Utilizando Energia Solar**. Universidade Federal do Ceará. Quixadá - CE, 2019.

- PEREIRA, M. F. L.; CRUVINEL, P. E. **Desenvolvimento de um sistema de coleta automática de dados agrícolas baseado em rede LoRa e no microprocessador ESP32.** Instituto de Computação - Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Cuiabá-MT, 2019.
- PINTO, M. S. S. **Especificações de Projeto para medição de velocidade de vento utilizando anemômetro ultra-sônico com método de diferença de fase.** Universidade Federal do Maranhão. São Luís-MA, 2006.
- REDA, A. G.; UEHARA, D. M.; REDA, A. L. L. **Calibração dos Erros de medição de pluviômetro automático de básculas para chuvas intensas no Brasil.** Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia. São Caetano do Sul-SP, 2008.
- ROAF, S.; FUENTES, M.; THOMAS-REES, S. **Ecohouse: A Casa Ambientalmente Sustentável.** Bookman Editora- 4.ed, 2014.
- ROCHA, L. A. G.; SILVA, B. A. R.; COSTA, D. I. **Comparação de desempenho de sensores de baixo custo com sensores comerciais para a coleta de dados ambientais.** Fórum Ambiental da Alta Paulista. Vol 15. n-4, 2019.
- SANTOS, J. W. **Sistema de automação residencial de baixo custo controlado pelo microcontrolador esp32 e monitorado via *smartphone*.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Ponta grossa-PR, 2019.
- SANTOS, U. J. L.; RIGHI, R. R.; COSTA, C. A. **Modelo Baseado em Rede de Sensores Sem Fio Para Predição de Disfunções em Cultivos Agrícolas.** Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada - SoftwareLab - Unisinos, 2018.
- SILVA, M. S. **Rede de Sensores sem fio de baixo custo para monitoramento ambiental.** Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. Campinas, 2013.
- SILVEIRA, J. D. F. et al. **Implementação de uma Automação na agricultura de precisão do Colégio Técnico de Teresina Utilizando Módulos LoRa.** Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina - PI, 2019.
- UNITY. Unity - game engine. 2020. Disponível em: <<https://unity.com/>>. Acesso em: 23 outubro 2020.
- VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica.** Saraiva Educação S.A., 1983.