

Uso Das Tecnologias LoRa e Satelital Na Agricultura Sustentável

Bruno Sousa Dias, Thiago C. Silva, Gustavo L. Matusse, Otto G. Homrich, Paula K. Pinheiro, Paulo G. C. S. Ribeiro, Starley do Nascimento Lobo, Nailson Martins Dantas Landim e Humberto X. Araujo
Colegiado de Engenharia Elétrica, Instituto de Atenção às Cidades – IAC
Universidade Federal do Tocantins – UFT
Palmas, Brasil

Resumo – Este artigo apresenta uma importante ferramenta de integração (*hardware + software + meio ambiente*) para o monitoramento de indicadores e variáveis que impactam na eficiência e no aumento da produção agrícola. Desta forma, por meio do uso consciente das águas, manejo adequado da irrigação e dos recursos naturais disponíveis, através de tecnologias como LoRa, transmissão satelital e rede de sensores, é possível ter uma agricultura mais sustentável, preservando os recursos naturais, gerando economia para o produtor e consequentemente para o consumidor final.

Palavras-Chave – Comunicação satelital, LoRa, microcontrolador ESP32, pluviometria, higrimetria, agricultura.

Abstract - This paper presents an important integration tool (*hardware + software + environment*) for monitoring indicators and variables that impact efficiency and increased agricultural production. In this way, through the conscious use of water, adequate management of irrigation and available natural resources, through technologies such as LoRa and a network of sensors, it is possible to have a more sustainable agriculture, preserving natural resources, generating savings for the producer and consequently for the end consumer.

Keywords - Satellite communication, LoRa, ESP32 microcontroller, rainfall, hygrometry, agriculture.

I. INTRODUÇÃO

A agricultura no Brasil é extremamente produtiva e direcionada à exportação, com importantes efeitos em outras indústrias, como manufatura e serviços [1]. A maioria das fazendas no Brasil não possuem recursos tecnológicos, como por exemplo automação de serviços, conectividade, e integração de sensores. Em algumas fazendas de grande porte, a verificação de níveis de chuva é realizada de forma arcaica através de visita e observação em todos os pluviômetros instalados, e a umidade do solo é analisada através do tato de um técnico especializado que visita de tempos em tempos ao local para prestar serviço. Certamente, todos esses modelos de análise, inserem subjetividade e erros na leitura das variáveis analisadas. Portanto, os ganhos potenciais ao conectar a força de trabalho e a infraestrutura tecnológica podem gerar impactos significativos na produtividade do setor, principalmente, considerando a possibilidade de avançar diretamente para o sensoriamento integrado e a comunicação através de tecnologia móvel celular, satelital ou LoRa (Long Range).

Sendo assim, para alcançar a eficiência, o uso de sensores de precisão utilizados para o monitoramento da umidade e a tensão de água do solo são ferramentas indispensáveis. E, se posicionados devidamente na lavoura, com transmissão de dados confiáveis poderão responder aos mais importantes questionamentos desta prática agrícola, o “quando irrigar” e o “quanto deve ser aplicado de água”, entregando de fato informações relevantes para o melhor gerenciamento dos recursos naturais e financeiros. Todavia, informações precisas e pontuais devem ser integradas e gerenciadas com o objetivo de estabelecer um equilíbrio na umidade do solo e os ajustes de saída de água necessária para cada turno de rega [2].

Dentro do contexto apresentado, este trabalho apresenta a integração de uma rede de sensores de umidade do solo e pluviometria, capaz de se comunicar através de grandes distâncias utilizando a tecnologia LoRa, servindo como ferramenta de gestão através de um sistema *web* para que o gerente da propriedade possa aferir os níveis de chuva e umidade em pontos estratégicos na propriedade e acionar o sistema de irrigação caso necessário.

II. PROPOSTA DE SOLUÇÃO

O problema técnico-científico abordado neste trabalho consistiu em realizar pesquisa e o desenvolvimento de uma solução que permite o monitoramento em tempo real os níveis de chuva e umidade do solo através de uma rede de sensores interconectadas através da tecnologia LoRa, com o foco em reduzir custos energéticos e de água com o acionamento de sistemas de irrigação de forma desnecessária. O advento desta tecnologia será capaz de elevar o patamar produtivo da produção agrícola na região centro-norte brasileira.

Com uma proposta inovadora, essa solução propõe o desenvolvimento de um sistema de monitoramento composto por sensores de umidade e de pluviometria integrados a um microcontrolador ESP32 LoRa, painel solar com bateria e controlador de carga, integrados a uma plataforma *web* para que o produtor possa realizar todo acompanhamento e gerenciamento em tempo real. A aplicação da solução aqui proposta permitirá um melhor gerenciamento do uso da água nas lavouras, possibilitando aumento de produtividade e redução de custos de água e energia elétrica.

III. PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO

No processo de construção se torna importante a integração dos componentes eletrônicos, e para isso a construção do protótipo foi feita em Placa de Circuito Impresso (PCI) de fenolite em laboratório, para integração de componentes, sensores para captação de dados pluviométricos e de umidade do solo, tudo isso em conjunto com o microcontrolador, conectando *hardware* e *software*.

O microcontrolador utilizado no projeto foi o ESP32, um SoC (*System on Chip*) da marca Espressif, que possui módulos Wi-Fi e Bluetooth embarcados e normalmente são dual core, com conexão Wi-Fi de 2.4 GHz, ideal para aplicações que envolvem IoT (Internet das coisas). Este microcontrolador tem um limite teórico de sensores que podem ser utilizados, ele possui 34 pinos dedicados a conexões *General Purpose Input/Output* (GPIO), nem todos são disponíveis para uso geral já que alguns são reservados para funções específicas [3]. Algumas das principais vantagens do ESP32 é o seu baixo custo comercial e baixo consumo de energia, além da compatibilidade com a tecnologia LoRa, utilizada nesse projeto para garantir a transmissão de dados em grandes distâncias.

O sensor de umidade do solo foi utilizado para detectar variações na umidade, alternando sua saída para alto em condições secas e para baixo quando úmido. A sensibilidade pode ser ajustada via um potenciômetro, permitindo a calibração entre estados seco e úmido na saída digital. Para uma medição mais precisa, a saída analógica pode ser utilizada em conjunto com um conversor AD, como o disponível em plataformas como o Arduino [4]. A conexão deste sensor ao microcontrolador utiliza um módulo conversor que varia a condutividade e altera o sinal de saída. É possível realizar ajustes de sensibilidade no potenciômetro presente também no módulo conversor.

O pluviômetro PL-1 foi utilizado para a coleta e medição de dados pluviométricos em condições meteorológicas diversas. Incorporando um abrigo meteorológico e o sensor de temperatura e umidade DHT22, este equipamento é ideal para aplicações profissionais que requerem medições confiáveis e precisas [5]. A conexão do pluviômetro ao microcontrolador é feita apenas em portas analógicas, o ESP32 recebe o sinal quando o sensor coletou a quantidade calibrada de 0,25 mm³.

A tecnologia LoRa se trata de uma técnica de modulação de espectro derivada da tecnologia Chirp Spread Spectrum (CSS), [6], e LoRaWan é o nome dado ao protocolo que estabelece tanto a arquitetura como os parâmetros de comunicação. A arquitetura LoRaWan é constituída basicamente por quatro partes: gateway, dispositivos, servidores de rede e de aplicação.

Foi utilizado um kit de antena MikroTik com ganho de 6.5 dBi, projetada para a frequência de 824-960 MHz [7] e um alcance de aproximadamente 20 km, foi usado também um kit Heltec Wireless Stick com ganho de 2 dBi, projetada para as mesmas frequências anteriores [8], porém com um alcance de aproximadamente 3,6 km.

Inicialmente a placa impressa foi simulada via o *software* KiCad, onde foram utilizadas as ferramentas de editor esquemático e editor PCI [9]. Nessa etapa foram projetadas

todas as conexões e se escolhe os componentes que serão utilizados no projeto, que permitiram a confecção das trilhas de conexões do circuito. Após isso, foi feita a simulação para evitar possíveis erros e interconexões que possam atrapalhar o funcionamento do circuito e a montagem da placa de circuito impresso, essa simulação foi feita no mesmo *software* em que o circuito foi projetado e ela nos forneceu o layout da placa, conforme pode ser visto na Figura 1.

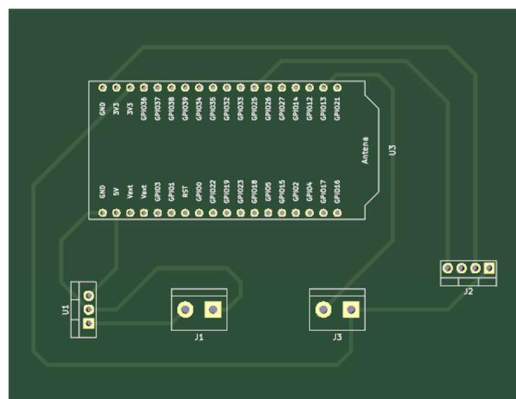


Figura 1 - Layout do circuito

Para modelagem do protótipo, foi utilizado o *software* Blender3D, no qual possibilita o usuário ter acesso e controle total sobre as dimensões do objeto a ser impresso e posteriormente, foi utilizado o *software* Creality Slicer para realizar o fatiamento. Em seguida o arquivo foi impresso utilizando o filamento PLA (Poliácido Láctico), pois trata-se de um material de baixo custo e alta dureza superficial. O tempo de impressão deste modelo é de aproximadamente 60 horas, o modelo pode ser observado na Figura 2:



Figura 2 - Protótipo inicial para testes

Para garantir o funcionamento de todo o sistema foi necessária a montagem de um circuito alimentador que possui como componentes uma bateria que oferece uma tensão de 12V e uma capacidade de 7Ah [10], um controlador de carga com suporte para uma potência de 260W em 12Vcc e 520W em 24Vcc [11], um painel fotovoltaico de 20Wp que gera até 91Wh/dia [12] e um regulador de tensão que fornece uma

tensão fixa de 5V com uma saída nominal de corrente de 1A [13].

O circuito de alimentação conta com a geração de energia elétrica a partir do painel solar, e é conectado diretamente com o controlador de carga que realiza a estabilização da tensão gerada pela placa para a bateria, a fim de garantir menos oscilações e mais segurança. A conexão da bateria com a placa de circuito impresso possui intermediação através do regulador de tensão 7805, que realiza a redução da tensão de saída da bateria de 12V para 5V.

Após todo desenvolvimento citado, foi realizada a montagem e conexão dos componentes em uma caixa hermética, a fim de proteger e garantir que tais componentes ficassem devidamente seguros e em correto funcionamento, assim como pode ser visto na Figura 3 o protótipo montado. Foram construídos 9 kits contendo de forma igual a disposição de componentes e equipamentos apresentados anteriormente, e um gateway, este que é utilizado apenas para receber os dados dos demais nós de captação, e transmitir através de um módulo satelital *swarm*.



Figura 3 - Arquitetura real da solução

A fim de se obter um maior alcance de transmissão e garantir uma boa taxa de transferência de dados se tornou necessário o uso de uma categoria de comunicação, conhecida como protocolo LPWAN (Low Power Wide Area Network). Essa categoria é caracterizada pelo fato de permitir a transmissão de baixo pacote de dados, mas com as vantagens de possuir um baixo consumo de energia e conexão sem fio de longo alcance, nos quais são as necessidades específicas de dispositivos IoT [14].

O processo de envio de dados pode ser observado na Figura 4, ele é feito com uma fila de agendamento onde o *gateway* solicita para cada nó individualmente e concatena os dados coletados pelos nós e envia para o servidor da aplicação através

de comunicação satelital. Nesta configuração o *gateway* leva até 4 segundos para coletar a informação de cada nó, o que permite um suporte máximo é de 900 nós para cada *gateway* em ciclos de atualização a cada hora. Todo este processo é feito em um curto período para garantir que o sistema central receba e possa retransmitir estes dados para uma interface de aplicação *web*.

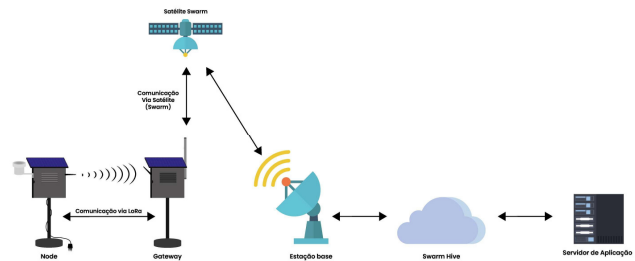


Figura 4 - Esquema de comunicação

Para a integração do *gateway* com o *swarm*, foi utilizado o módulo M138 com uma antena GNSS Molex para o GPS e uma antena Omnidirecional *Very High Frequency* (VHF) com um plano terra de 8 por 8 cm para o satélite, em conjunto com a placa de desenvolvimento equipada com o microcontrolador e o módulo LoRa, conforme mostrado na Figura 5. Com esta configuração, não houve alteração no funcionamento dos *nodes*, de modo que a comunicação via LoRa com o gateway se manteve.

Por outro lado, o *firmware* do gateway foi ajustado para estabelecer a comunicação serial com o módulo M138, ordenando um comando para o envio de mensagens com os dados atualizados a cada hora. Assim, sempre que houver comunicação do módulo *swarm* com sua rede de satélites, as mensagens acumuladas são enviadas. Para que os dados coletados sejam recebidos no servidor da aplicação, o satélite precisa se comunicar com uma estação base da rede *swarm*, que envia a mensagem recebida para a plataforma *Swarm Hive*, só então os dados são atualizados via API e podem ser visualizados pelo usuário no sistema de informação desenvolvido. Nesta etapa o *gateway* tem seu modo de transmissão ativado sempre que um satélite *swarm* passa pela região. Durante os registros, a conexão foi estabelecida pelo menos duas vezes ao dia, uma no período da manhã e outro no período noturno, mas esta frequência varia do dia e da região, podendo chegar até quatro vezes ao dia [15].

Na Tabela 1 se encontra o valor unitário de cada componentes utilizados no protótipo, ressaltando que o *swarm* só é empregado no gateway, e os sensores somente nos nodes.

Tabela 1- Valores dos componentes

Materiais	Valores Material
Bateria de 12V	R\$ 85,35
Controlador de Carga	R\$ 530,00
Placa fotovoltaica (20Wp de Potência)	R\$ 100,00
Sensor de Umidade	R\$ 38,00

Pluviômetro	R\$ 341,10
Regulador de Tensão	R\$ 3,02
Kit Esp+LoRa	R\$ 191,70
Antena LoRa 6.5 dbi	R\$ 499,00
Protoboard de 400 furos	R\$ 19,00
Caixa Hermética	R\$ 138,00
Suporte Placa Solar	R\$ 150,00
Cabo Rígido de 22 AWG	R\$ 1,05
Swarm	R\$ 1.900,00
TOTAL	R\$ 3.996,22

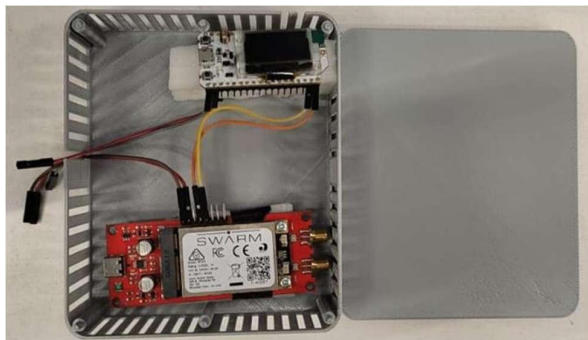


Figura 5 - Case com módulo swarm e placa de desenvolvimento

Os dados foram enviados via *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT), sendo imediatamente exibidos no histórico de telemetria, bem como na respectiva *dashboard*, conforme mostrado na Figura 6. Outra necessidade, é poder consultar as séries históricas, as quais são disponíveis via API REST (*Application Programming Interface - Representational State Transfer*), o que é uma vantagem, garantindo isolamento de outras aplicações e a possibilidade de integração com quaisquer outras aplicações existentes, bem como a análise por um cientista de dados, que de posse dessa fonte de dados pode obter inteligência e através da telemetria dos sensores entender como a precipitação e umidade do solo influenciam os resultados das plantações.

Para garantir a correta exibição e coleta de dados de precipitação, bem como saber o estado de saúde atual dos dispositivos, foram estabelecidas regras de atividade do sistema. Isso permite saber se o equipamento se encontra ligado ou desligado (*status*) e se algum alarme deve ser acionado. Na Figura 7 estão as cadeias de regras e quanto a visualização dos dados em um horizonte de tempo. É possível ainda observar os dados históricos registrados de umidade e precipitação de chuva, mostrando assim que os dados dos sensores foram devidamente coletados, armazenados e consultados, permitindo ainda que os valores instantâneos sejam verificados a qualquer momento a partir da aplicação.

Nesta aplicação o sistema de nós e *gateways* não possuem armazenamento offline, utilizando apenas da memória de 4 MB do próprio microcontrolador, o *gateway* armazena enquanto o dispositivo está ligado e envia ao servidor quando há a conexão satelital liberando espaço para as próximas leituras, portanto a capacidade vai depender unicamente do servidor *web* utilizado.

O tamanho de cada informação recebida pelo banco de dados é na ordem de KB e o que influencia no armazenamento é a quantidade de nós conectados e enviando os dados coletados.

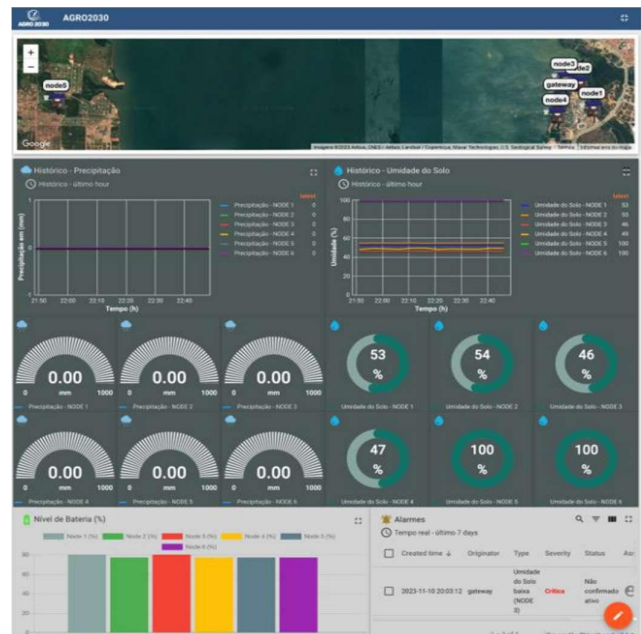


Figura 6 - Painel de informações via web

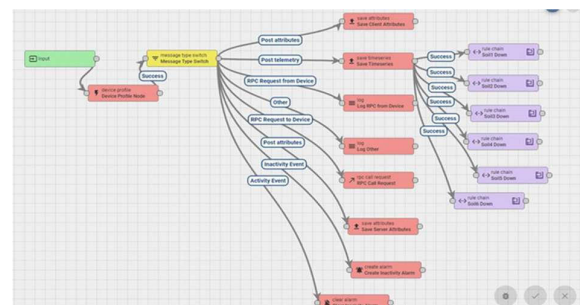


Figura 7- Implementação das cadeias de regras das atividades do sistema

IV. RESULTADOS

Os primeiros testes foram executados na zona rural com nove pontos de monitoramento, devidamente identificados, e um gateway centralizado com acesso à internet através de uma solução satelital. Assim, além dos testes de consistência dos sensores, e comunicação, foram realizados testes de alcance. A primeira rodada de testes foi finalizada com algumas informações relevantes do ponto de vista técnico. Apesar das altas temperaturas, o sistema de monitoramento, incluindo a parte de sensores e software, se manteve estável e sem nenhuma intercorrência. Com a configuração inicial, a maior distância obtida entre o nó e o gateway foi de 1,7 km.

Após a primeira rodada de testes em campo, foram realizados alguns ajustes nos protótipos desenvolvidos, tanto a nível de software, com otimização no algoritmo, quanto a nível de hardware. As primeiras antenas utilizadas operavam em 915 MHz com 2 dBi. Foi adquirido então um conjunto de antenas

omnidirecionais com 6,5 dBi e após os ajustes, novos testes de confiabilidade foram realizados no campus da Universidade Federal do Tocantins (UFT), onde o gateway foi instalado na laje técnica de biblioteca, pelo fato deste ser o ponto mais alto da universidade.

Com o objetivo de extrair maior distância entre o *gateway* e os nós, um novo teste foi realizado. Um *gateway* com a antena de 6,5 dBi foi montado e instalado no topo da Serra do Lajeado, dentro da área urbana de Palmas. O objetivo de comunicar o novo gateway com o nó 5 foi alcançado, e com isso, a distância de 18,5 km foi estabelecida, conforme a Figura 8. O valor de 18,5 km equivale ao raio, portanto temos uma cobertura com diâmetro de 37 km. Vale ressaltar a influência da altura do gateway, no ponto mais alto da cidade.

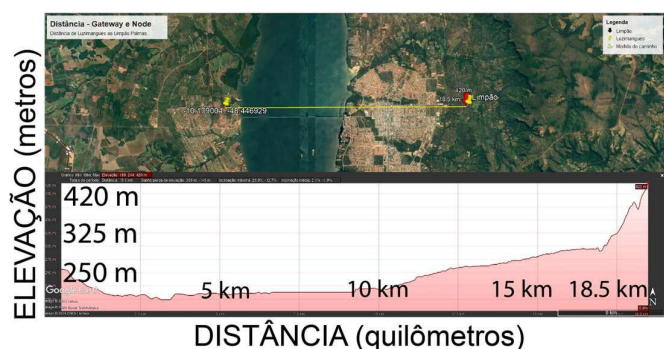


Figura 8 - Mapa com distância de aproximadamente 18 km entre gateway e nó 5.

Os *nodes* foram monitorados por aproximadamente 40 dias de testes e todos os registros de chuva e alterações na umidade do solo foram recebidos pelo sistema de informações sem nenhuma intercorrência. Durante o período chuvoso, os valores obtidos foram comparados com dados oficiais fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), e a margem de variação observada foi de no máximo 8%.

V. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma solução tecnológica para o uso consciente de recursos hídricos na agricultura. Os testes confirmaram a adequação dos dispositivos selecionados, tanto em termos de precisão e confiabilidade de medição quanto em sua resistência a fatores ambientais adversos, garantindo assim uma solução de monitoramento remoto robusta e confiável, integrada a um sistema de informação totalmente intuitivo e desenvolvido para este fim. Os sistemas apresentaram resultados positivos em superar as limitações de conectividade a custo acessível abrindo novas possibilidades para implementação de um monitoramento detalhado e em larga escala das condições agrícolas oferecendo uma solução viável para a gestão de recursos hídricos e energéticos em sistemas de irrigação, contribuindo para práticas de agricultura mais produtivas e sustentáveis.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da empresa CAS Tecnologia e o Instituto de Atenção às Cidades da Universidade Federal do Tocantins – UFT.

REFERÊNCIAS

- [1] EMBRAPA. A agricultura brasileira - Portal Embrapa. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/vii-plano-diretor/a-agricultura-brasileira>>.
- [2] GUTIERRES, M.; NEVES, E. A IMPORTÂNCIA DO MONITORAMENTO DA UMIDADE DO SOLO ATRAVÉS DE SENSORES PARA OTIMIZAR A IRRIGAÇÃO NAS CULTURAS. Enciclopédia Biosfera, v. 18, n. 35, 30 mar. 2021.
- [3] ESPRESSIF SYSTEMS. ESP32 Series Datasheet. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <www.espressif.com>
- [4] Soil Moisture Hygrometer Detection Humidity Sensor Module Corrosion Resistance Probe DC 3.3-12V for Arduino. Disponível em: <<https://www.icstation.com/soil-moisture-hygrometer-detection-humidity-sensor-module-corrosion-resistance-probe-arduino-p-12322.html>>.
- [5] Pluviômetro Automático P11 + Abrigo Externo. Disponível em: <https://wrfcomercial.mercadoshops.com.br/MLB-1302025394-pluviometro-automatico-p11-abrigo-externo-p-sensores-ideal-p-arduino-e-etc-_JM>.
- [6] LORA® and LoRaWAN®. 1.0. [S. l.]: SEMTECH, mar. 2024. Disponível em: <https://www.semtech.com/uploads/technology/LoRa/loraland-lorawan.pdf>.
- [7] ANTENNA kit for LoRa® with a 6.5 dBi Omni antenna for 824-960 MHz. [S. l.]: MIKROTIK, 2023. Disponível em: https://i.mt.lv/cdn/product_files/LoRa_200558.pdf.
- [8] HELTEC. Wi-Fi LoRA 32. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://heltec.org>>.
- [9] KiCad | 8.0 | English | Documentation | KiCad. Disponível em: <<https://docs.kicad.org/8.0/en/kicad/kicad.html>>.
- [10] BATERIA Estacionária VRLA 12V 7Ah Mod.UP1270E. [S. l.]: Unipower, 2020. Disponível em: <https://unipower.com.br/produto/bateria-estacionaria-vrla-12v-7ah-mod-up1270e/>.
- [11] CONTROLADOR de Carga Solar MPPT SUN21 Manual do usuário CCS-M2024N/ CCS-M3024N/ CCS-M4024N. [S. l.]: SUN21 Energia Solar, 2022. Disponível em: <https://minhacasasolar.fbtsstatic.net/media/MANUAL%20DO%20USUARIO%20CCS-M%20-20-N.pdf?origem=MediaCenter/MANUAL%20DO%20USUARIO%20CCS-M%20-20-N.pdf>.
- [12] RSM020P. [S. l.]: Resun Solar Energy, 2023. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/amfile/file/download/file/30/product/31042/>.
- [13] A7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS. [S. l.]: Texas Instruments, 2003. Disponível em: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/LM7805.pdf>.
- [14] LPWAN (Low-Power Wide-Area Networks) 101. Arduino.CC, 21 jun. 2023. Disponível em: <https://docs.arduino.cc/learn/communication/low-power-wide-area-networks-101/>.
- [15] Swarm Hive Pass Checker. Disponível em: <<https://kube.tools.swarm.space/pass-checker/>>.