

## **VANTAGENS E DESVANTAGENS: DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO PARA IRRIGAÇÃO DO SOLO UTILIZANDO CONTROLE EM MALHA ABERTA E MALHA FECHADA**

**Leonardo Quarezemin Bagio<sup>1</sup>**

**Vagner da Silva Rodrigues<sup>2</sup>**

**Resumo:** Com o avanço da tecnologia aliada a necessidade de automação nas áreas de irrigação do solo houve a iniciativa de criar um protótipo de irrigação automatizado. O presente artigo possui como objetivo geral apresentar as vantagens e desvantagens de um sistema em malha aberta e fechada e os seguintes objetivos específicos: (I) Avaliar o custo do sistema; (II) Apresentar os dados coletados por meio do protótipo; (III) Contextualizar sobre diferentes tipos de irrigação; (IV) Utilizar uma fonte de energia sustentável. Para o desenvolvimento deste projeto foi realizada a construção de um protótipo com sistemas de malha aberta e fechada com a utilização de componentes de baixo custo, para obtenção de resultados foi desenvolvida uma API responsável pela coleta das informações e envio para o banco de dados. As informações coletadas foram sobre umidade do solo, temperatura, umidade do ar e carga da bateria. Foi possível avaliar que no sistema de malha fechada o sensor HD-38 utilizado na coleta dos dados de umidade do solo possui baixa acurácia, que a construção do protótipo possui baixo custo e consumo de energia mais elevado se comparado ao sistema de malha aberta. Por outro lado, o sistema de malha aberta possui maior desperdício de água pois realiza a irrigação mesmo em dias de chuva.

**Palavras-chave:** Malha aberta. Malha fechada. Baixo custo. Irrigação de solo.

### **1 INTRODUÇÃO**

A agricultura vem sendo uma base forte para diversos países no que diz respeito a retorno econômico, porém não são todos agricultores que possuem acesso à tecnologia capaz de facilitar seu serviço. Logo, conduzem assim o plantio sem realizar nenhuma análise do solo com objetivo de obter os parâmetros e definir qual plantio se adaptará melhor e obterá o melhor resultado (MEMON et al., 2023).

Desse modo, sem acesso a tecnologias, diversos recursos que são necessários para os seres vivos e para a agricultura, como a água, estão sendo utilizados de forma incorreta, conseqüentemente, comprometendo seu uso em outras atividades (TEPHILA et al., 2022).

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia da Computação, ano:2023. E-mail: leobagio2009@gmail.com

<sup>2</sup> Professor do Centro Universitário UniSATC E-mail: vagner.rodrigues@satc.edu.br

Tendo em vista a importância desse precioso recurso natural, principalmente em regiões onde a fonte é escassa, deve-se realizar o remanejamento consciente para a preservação do mesmo (FLORIN; MIHAI, 2019).

Sendo assim existe a necessidade em alinhar a evolução tecnológica a favor do remanejamento consciente dos recursos naturais. Tais avanços tecnológicos concentrados em áreas como Internet das Coisas (*IoT*, em inglês *Internet of Things*) permite o desenvolvimento de protótipos e ferramentas com baixo custo que favorece a preservação de recursos.

Além disso, o *IoT* fornece diversas automações cujo objetivo é melhorar processos no geral. Por conseguinte, a ideia no desenvolvimento de um sistema de irrigação inteligente atrai diversos pesquisadores na busca de melhorar e evoluir o processo a fim de reduzir esforço humano, consumo de água e energia, tendo assim diversos ganhos ecológicos e autonomia dentro do processo (SINGH; SAIKIA, 2016).

Com base nas informações apresentadas anteriormente, têm-se a seguinte questão problema: Quais são as vantagens e desvantagens da construção de um protótipo de irrigação do solo utilizando um sistema em malha aberta e fechada?

Este trabalho possui como objetivo geral: Apresentar as vantagens e desvantagens do protótipo em malha aberta e fechada.

Para auxiliar alcançar o objetivo geral, tem-se os seguintes objetivos específicos: (I) Avaliar o custo do sistema; (II) Apresentar os dados coletados por meio do protótipo; (III) Contextualizar sobre diferentes tipos de irrigação; (IV) Utilizar uma fonte de energia sustentável.

Este estudo se justifica pela necessidade de trazer mais informações sobre o custo-benefício da irrigação automatizada e a contribuição positiva sobre a redução de recursos naturais ao cultivo. Além disso, serve como fonte de pesquisa para sociedade e para o meio acadêmico.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Esta seção apresenta o referencial teórico que serviu de base para a realização do estudo. Nela estão contemplados os seguintes assuntos: Internet das Coisas (*IoT*), Sistema Inteligente, Irrigação Convencional, Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

## 2.1 INTERNET DAS COISAS (IOT)

Pode-se definir a Internet das Coisas como a comunicação entre dispositivos eletrônicos inteligentes por meio da internet, estabelecendo assim uma comunicação entre máquinas com objetivos específicos atribuídos conforme a necessidade. Desta maneira, com a comunicação estabelecida entre diversos dispositivos, muitas possibilidades surgem no mercado, trazendo assim uma onda emergente de projetos que possam beneficiar diversos setores (CHOI, 2014).

Com o mercado emergente, podemos citar, segundo Varshini e Karthikeyan (2019), os seguintes segmentos que foram beneficiados por aplicações diversas utilizando dispositivos de *IoT*: (I) Transporte; (II) Educação; (III) Gestão de resíduos; (IV) Casa inteligente; (V) Agricultura inteligente. Diante disso, esta pesquisa tem foco na criação de um protótipo para agricultura, dos segmentos citados anteriormente, ela se enquadra na aplicação agricultura inteligente.

Desta forma, conforme Varshini e Karthikeyan (2019) a implementação no setor agrícola ajudou de diversas maneiras o agricultor, como por exemplo: (I) obteve-se um melhor gerenciamento na plantação, tendo como resultado uma melhor qualidade e quantidade; (II) auxiliou no monitoramento do solo e volume da água utilizada evitando o desperdício desse recurso. Salienta-se que tais processos gerenciados por um dispositivo *IoT* são capazes de transmitir as informações coletadas a fim de armazenar em banco de dados que podem ser utilizadas como base de análises para melhorias futuras no processo.

## 2.2 SISTEMA INTELIGENTE

Com o avanço em dispositivos relacionados a *IoT*, o sistema de irrigação inteligente traz diversos benefícios que agregam e melhoram o processo como um todo. Como parte do sistema em geral, diversos dispositivos são utilizados e interligados onde cada um designa uma função sob controle de um microcontrolador (WANG; KAILI; ZHIYONG, 2021).

Além do mais, com a facilidade em realizar a conexão de dispositivos, vários benefícios podem ser destacados, conforme aponta Wang, Kaili e Zhiyong (2021): (I) Monitoramento abrangente; (II) Transmissão confiável; (III) Armazenamento remoto; (IV) Compartilhamento de informações tais como luz, temperatura e umidade.

Além disso, com o termo “inteligente” na irrigação, todo processo se torna efetivo e eficiente em vários sentidos, principalmente na preservação de recursos naturais e remanejamento de recursos. Nesse sentido, por se tratar de um sistema inteligente, todos os parâmetros do sistema podem ser atualizados manualmente ou programados para que se ajuste automaticamente conforme as condições do solo (SINGH; SAIKIA, 2016).

Salienta-se ainda que tais melhorias ajudam na redução do consumo de recursos naturais, otimizando e automatizando todo processo sem que seja necessária a intervenção humana. Além disso, sua implementação é simples e pode ajudar diversos agricultores, até os que possuem poucos recursos financeiros, fazendo com que todos tenham acesso à tecnologia e melhoria pois o valor dos componentes é de baixo custo (PERNAPATI, 2018).

Com base em conhecimento empírico existem dois tipos de sistemas inteligentes que se destacam no processo de automatização. Serão abordados no capítulo 2.2.1 e 2.2.2.

### **2.2.1 Sistema de Malha Aberta**

O sistema de irrigação com temporizadores é um sistema em malha aberta semiautomatizado onde se faz necessária a intervenção humana em todo o procedimento, ou seja, deve ser configurado o horário de funcionamento e a quantidade de irrigação a ser realizada no solo (CUNHA, 2019).

De acordo com Medeiros (2018), o sistema de irrigação com temporizadores possui vários pontos negativos, tais como: (I) Desperdício de água; (II) Danos à saúde da planta devido ao excesso de umidade do solo ou ao realizar irrigação em períodos que a água está muito quente; (III) Grandes intervalos sem irrigação.

### **2.2.2 Sistema de Malha Fechada**

Sistemas que utilizam sensores de umidade do solo minimizam o desperdício de água uma vez que a tomada de decisão para acionar o sistema de irrigação é com base na leitura que o sensor realiza, visto que o solo já esteja úmido, não é necessária a realização da umidificação, reduzindo consumo de água e esforço humano no processo de irrigação (NAMALA et al., 2016).

O sistema mais utilizado na irrigação é o liga-desliga (*on/off*), sua exemplificação é simples por existir somente dois estados para o controle do sistema, no caso da malha fechada, a leitura dos sensores atua ativamente no acionamento automático ou desligamento desse sistema (VASCONCELOS, 2013).

De acordo com Florin e Mihai (2019), em um sistema de irrigação inteligente baseado em sensores, normalmente, são utilizados os seguintes componentes: (I) Microcontrolador; (II) Sensores de umidade; (III) Bloco de relés; (IV) Bomba de água.

Por outro lado, para que o sistema tenha o resultado positivo, é necessário que ele tenha a capacidade de analisar o *status* do solo em tempo real e as necessidades climáticas do cultivo pois ao finalizar este processo o sistema deverá realizar a tomada de decisão para iniciar o processo de irrigação (AHMED; ABDALLA; ELTAHIR, 2018).

## 2.3 IRRIGAÇÃO CONVENCIONAL

Como riscos para produção agrícola, a escassez de água pode ocasionar a perda da produção como um todo. Para sanar esse tipo de situação utiliza-se a irrigação artificial para fazer o remanejamento da água a fim de umidificar o solo e prover recursos para o desenvolvimento da plantação (TRINDADE et al., 2004).

Sabendo do fato que a irrigação é algo necessário principalmente em determinadas regiões onde certa espécie de planta não possui situação climática favorável para seu cultivo, necessita-se do uso de irrigação e diferentes tipos de técnicas cuja finalidade é prover água para as plantas. Para utilizar alguma das técnicas de irrigação, primeiramente deve-se estudar alguns pontos da região na qual ela será implantada como tipo de topografia, solo, cultura e clima (CUNHA; ROCHA, 2015).

A seguir será destacado algumas técnicas de irrigação convencional, bem como suas características e seu método de aplicação.

### 2.3.1 Aspersão e Microaspersão

O sistema de irrigação por Aspersão simula uma chuva, ou seja, um jato lança água sobre a plantação. Normalmente este método é utilizado por produtores que usam bons níveis de tecnologia em suas plantações, apesar do mesmo ter custos elevados para sua implementação (STONE, [s.d.]).

O sistema, de acordo com Stone ([s.d.]), possui as seguintes vantagens: (I) Se adapta a terrenos irregulares; (II) Possibilita economia de mão de obra; (III) Pode ser utilizado para amenizar temperatura do ar e proteger contra geadas.

Conforme o mesmo autor Stone ([s.d.]), este sistema possui as seguintes desvantagens: (I) Em regiões com ventos fortes e constantes, pode haver pouca uniformidade na distribuição de água; (II) Perda de água por evaporação em lugares com pouca umidade do ar e de temperaturas altas; (III) Causar doenças nas plantas devido à baixa umidade do ar.

Conforme demonstra na Fig. 1, se trata da demonstração do método de irrigação por aspersão.

Figura 1 – Irrigação por aspersão



Fonte: MAXMAQ (2019).

Figura 2 – Irrigação por Microaspersão



Fonte: MORAS et al., (2013).

O sistema de Microaspersão realiza o envio de água em pequenas áreas garantindo o fornecimento do recurso, por isso é considerado melhor em comparação a outros métodos, como por exemplo a técnica de aspersão (MEDEIROS, 2018).

A técnica, assim como o sistema de aspersão tradicional, pode sofrer influência do vento devido à falta de uniformidade na aplicação da água (SENAR, 2019).

Conforme demonstrado na Fig. 2, se trata da demonstração do método de irrigação por Microaspersão.

### **2.3.2 Sulco**

A técnica de irrigação por sulco utiliza a água canalizada por aberturas na terra, habitualmente feitas pelos arados utilizados no processo de preparação do solo para plantio (MEDEIROS, 2018).

Este método costuma ser mais utilizado na Região Nordeste do país em plantações de bananeiras, onde os sulcos a serem criados por fileiras dependem do tipo de solo. Como por exemplo: para solos argilosos poderá ser feito apenas um sulco por fileira, já em solos areno-argilosos são aconselhados dois sulcos por fileira (TRINDADE et al., 2004). Na Fig. 3 está sendo representada a Irrigação por Sulco.

Figura 3 – Irrigação por Sulco



Fonte: MAROUELLI et al., (2014).

### **2.3.3 Subirrigação**

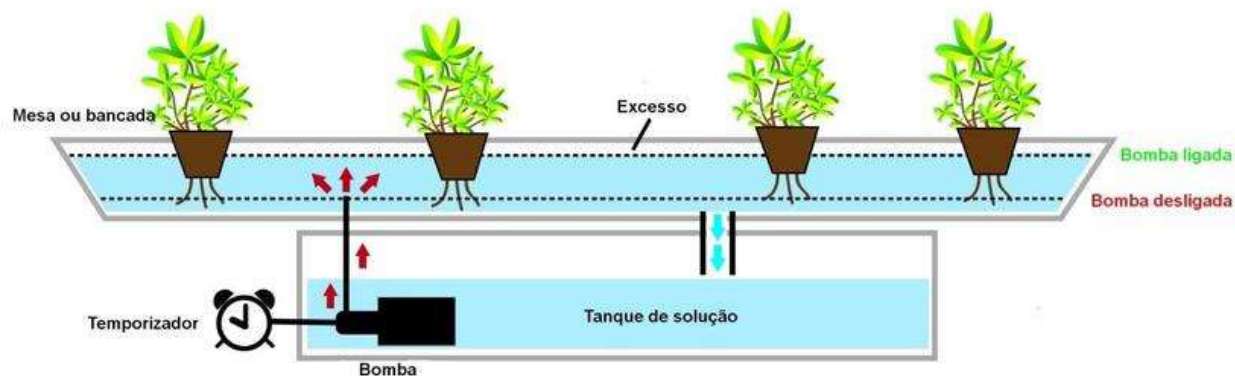
A técnica de Subirrigação consiste na criação de um lençol freático sobre a plantação onde por meio da ascensão capilar, a água chega as raízes (MEDEIROS, 2018).

Conforme Silveira e Stone ([s.d.]), as principais vantagens desse método são: (I) Redução dos custos com mão de obra; (II) Redução dos gastos de água e energia no processo; (III) Aptidão de regar terras reduzindo a retenção de água.

De acordo com o mesmo autor Silveira e Stone ([s.d.]), as principais desvantagens são: (I) Necessidade de possuir um lençol freático nas devidas condições para aplicação do método; (II) É específico para determinadas cultivos,

como por exemplo plantio de feijão; (III) Sem riscos de acúmulo de sais minerais na água e no solo. Na Fig. 4 está sendo representada a técnica de Subirrigação.

Figura 4 – Irrigação por Subirrigação



Fonte: TESTEZLAF (2017).

### 2.3.4 Gotejamento

O sistema de irrigação de gotejamento é feito com uma tubulação com furos que percorre toda a plantação realizando o manejo da água, logo esta técnica é considerada simples e que não precisa de conhecimentos ou habilidades a respeito dela (MEDEIROS, 2018).

De acordo com Medeiros (2018), a principal desvantagem desse método ocorre pela impossibilidade de realizar ajustes de gotejamento na ferramenta, ou seja, ao passo que a planta cresce e sua necessidade hídrica altera não há como diminuir ou aumentar a quantidade de gotas liberadas para o solo. Na Fig. 5 está sendo representada a Irrigação por Gotejamento.

Figura 5 – Irrigação por Gotejamento



Fonte: MAXMAQ (2019b).

## 2.4 OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS)

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável fazem parte da Agenda 2030 e são um pedido global com intuito de garantir paz mundial, extinguir a pobreza e cuidar da fauna e flora. A ONU está auxiliando para que tais objetivos possam ser concretizados com intuito de atingir a Agenda 2030 no Brasil (BRASIL, [s.d.]).

O projeto referente a ODS possui um total de 17 objetivos segundo Brasil ([s.d.]), este projeto prevê entrar em 2 objetivos, sendo eles:

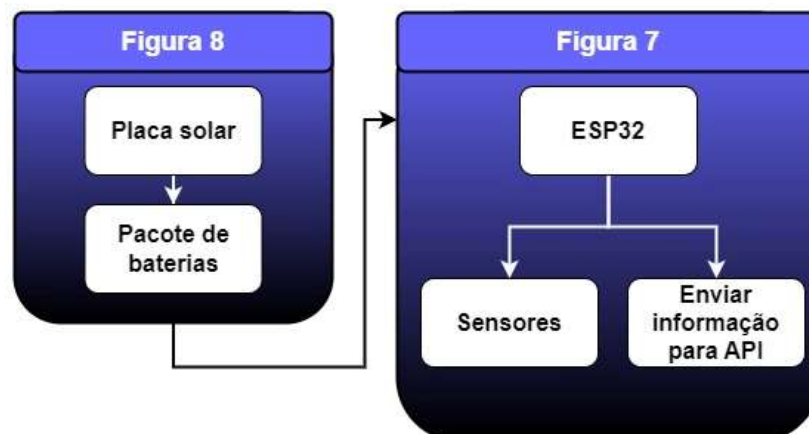
- 7 - Energia limpa e acessível: Assegurar o acesso a serviços de energia e aumentar a geração de energias renováveis na matriz energética global;
- 9 - Indústria, inovação e infraestrutura: Desenvolver infraestrutura de qualidade e promover industrialização inclusiva e sustentável;

## 3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste capítulo serão apresentados os tópicos que irá dar sustentabilidade para os resultados que serão obtidos por meio deste estudo de caso, bem como o projeto a ser desenvolvido. No primeiro tópico exibe a descrição dos equipamentos, o segundo aborda a construção do protótipo, e no terceiro tópico apresenta a programação utilizada.

Na Fig. 6 será apresentado o diagrama em blocos da construção do protótipo para melhor entendimento do mesmo.

Figura 6 – Diagrama de blocos da construção do protótipo



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

### 3.1 EQUIPAMENTOS

Nesta seção serão destacados os equipamentos que foram utilizados ao longo do projeto na construção do protótipo, conforme a Tabela 1, serão listados com um breve detalhamento e o custo total referente cada item.

Tabela 1 – Listagem de equipamentos

<b>Equipamento</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor Total</b>	<b>Detalhamento</b>
Placa BMS 2s 10a com balanceamento	1	R\$ 22,80	Módulo utilizado para carregamento de baterias de lítio com circuito para proteger a bateria contra danos ao efetuar o carregamento.
Bateria 18650 Samsung 2200mah	2	R\$ 34,60	Bateria de alto armazenamento e carregamento rápido.
Regulador DC DC Step Down	2	R\$ 52,00	Módulo regulador de tensão para diminuir a tensão da entrada para saída.
ESP32-IO	1	R\$ 51,25	Módulo de expansão das conexões do ESP-WROOM-32 para facilitar e melhorar a montagem do protótipo.
ESP-WROOM-32	1	R\$ 67,83	Microcontrolador com baixo consumo de energia possuindo conexão via Wi-Fi e Bluetooth.
Módulo relê 1 canal	1	R\$ 10,49	Módulo relê utilizado para cortar a alimentação dos componentes em descanso.
Módulo relê 2 canais	1	R\$ 17,16	Módulo relê utilizado para controlar o acionamento das bombas de irrigação
Mini protoboard 170 pontos	1	R\$ 9,99	Placa de expansão e prototipação.
Sensor de umidade e temperatura DH11	1	R\$ 22,90	Módulo sensor de capaz de obter dados de temperatura e umidade do ar.
Sensor de umidade do solo (HD-38)	2	R\$ 53,40	Sensor capaz de medir a umidade do solo e retornar à informação em estado analógico e digital para o microcontrolador.
Mini motor 5V	2	R\$ 33,00	Minibomba de irrigação de água para circuitos pequenos.

Módulo sensor de tensão DC 0-25V	1	R\$ 13,90	Módulo sensor com divisor de tensão possibilitando a leitura da tensão de alimentação proveniente das baterias.
Placa solar 20V	1	R\$ 129,00	Fonte de energia fotovoltaica possuindo 10w de potência e gerando 1000mah
Suporte para duas baterias 18650	1	R\$ 19,80	Suporte de bateria compatível com a bateria 18650 em série.

---

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

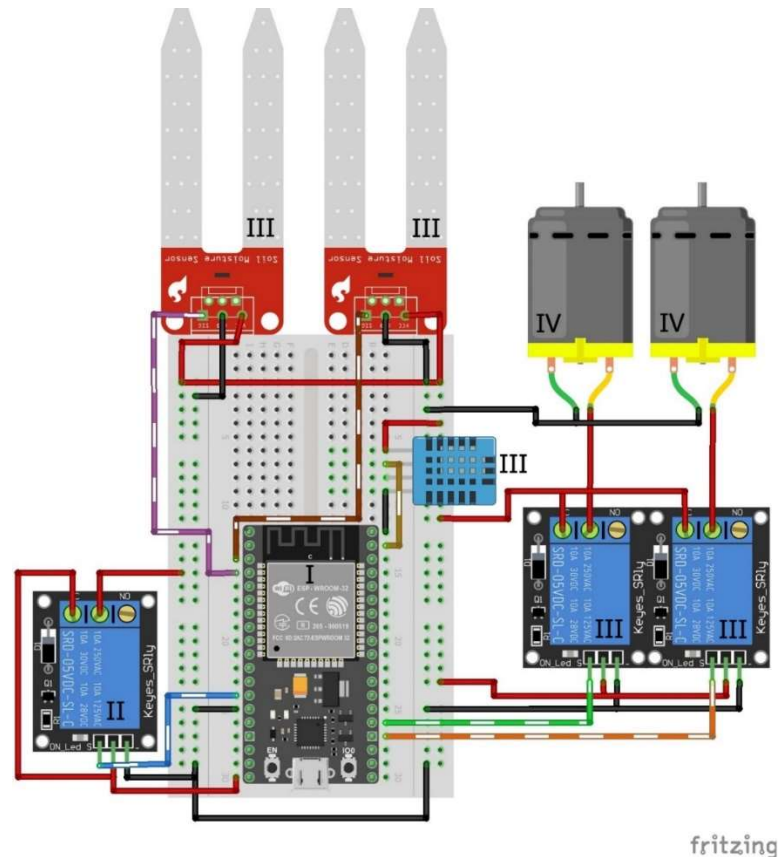
### 3.2 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

Na construção do protótipo foi seguido os seguintes passos para que a montagem do protótipo siga o mesmo exemplo destacado nesse artigo.

- (I) Encaixar o ESP32-IO na placa ESP-WROOM-32 com objetivo de aumentar o número de portas e facilitar as conexões entre os terminais e os sensores.
- (II) Conectar o primeiro relê que será responsável por cortar a entrada de energia dos demais sensores e relês justamente para poupar energia assim que o ESP entrar em modo de hibernação.
- (III) Conectar os demais sensores sempre analisando o datasheet de cada componente respeitando sua alimentação e posteriormente conectando o mesmo a placa de expansão do ESP.
- (IV) Conectar os motores de água na saída de cada relê na qual o mesmo será responsável por liberar a tensão de acionamento.

Na Fig. 7 será representado o modelo esquemático de construção do protótipo com indicação em números do passo a passo citado anteriormente.

Figura 7 – Imagem ilustrativa do protótipo



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

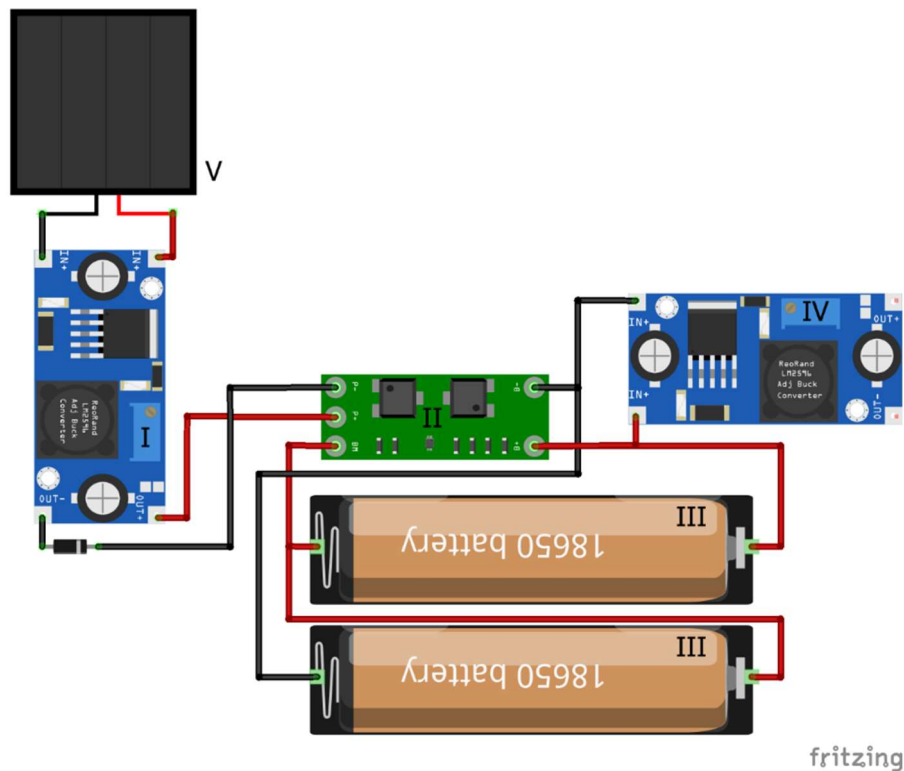
Na montagem da alimentação do sistema que se refere as baterias e os módulos necessários para seu carregamento foram realizados os seguintes passos para que o mesmo fosse desenvolvido.

- (I) Posicionar o módulo Step-Down no início do sistema para diminuir a tensão recebida da fonte de energia fotovoltaica de 20V para 9V.
- (II) Na montagem da bateria deve-se soldar uma placa BMS 2s de balanceamento e carga para garantir que o carregamento das baterias seja unificado e protegido contra descarga mínima e máxima pois pode gerar problemas no projeto.
- (III) Na montagem das baterias foi utilizado duas de 4.2V totalizando um total de 8.4V em série, o que permite acionar o sistema com requisito mínimo de 5V.
- (IV) Posicionar o módulo step-down na saída da bateria e entrada do ESP32-IO e ajustando o mesmo para manter a tensão de saída em 5V.

- (V) Conectar o painel solar na entrada do módulo step-down a fim de iniciar o carregamento das baterias.

Na Fig. 8 será representado o modelo esquemático da construção do protótipo de pacote de baterias (*Battery pack*) com indicação em números do passo a passo citado anteriormente.

Figura 8 – Imagem ilustrativa do protótipo de pacote de baterias



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

### 3.3 PROGRAMAÇÃO DO ESP32

O sistema como um todo foi dividido em diversas tarefas, cada uma responsável por gerenciar e executar suas devidas funções. Toda divisão de código foi gerenciada para melhor limpeza e definição visando um alto nível em caso de manutenção do mesmo, a codificação pode ser visualizada no repositório do *GitHub* através do acesso <https://github.com/LeonardoBagio/TCC>.

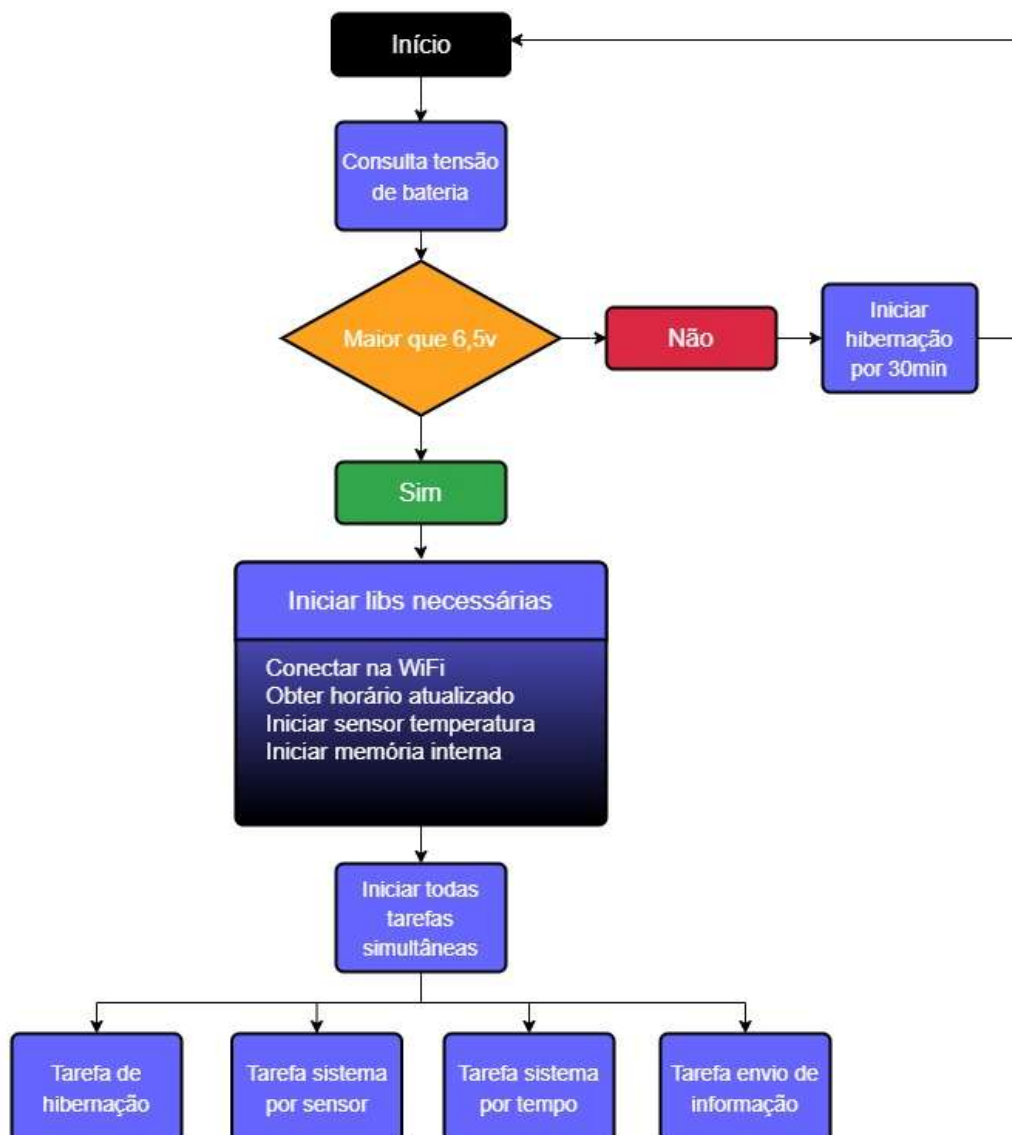
A estrutura como um todo segue a linha das seguintes tarefas, sempre as executando e retornando após a inicialização a cada tempo de hibernação, sendo

assim toda vez que o ESP reiniciar suas tarefas ele irá executar todas sequencialmente.

Começando com a configuração inicial é verificado o percentual da bateria, controle criado visando poupar a saúde da bateria e não operar em baixas tensões de carga, o que irá prolongar a vida útil da mesma, após a verificação é iniciado todas as bibliotecas necessárias para seu funcionamento e realizada a inicialização de todas as tarefas simultaneamente com o gerenciamento do RTOS disponível no ESP32.

Conforme fluxograma na Fig. 9, será demonstrado o funcionamento do *setup* inicial do programa.

Figura 9 – Fluxograma de execução do *setup* inicial do sistema

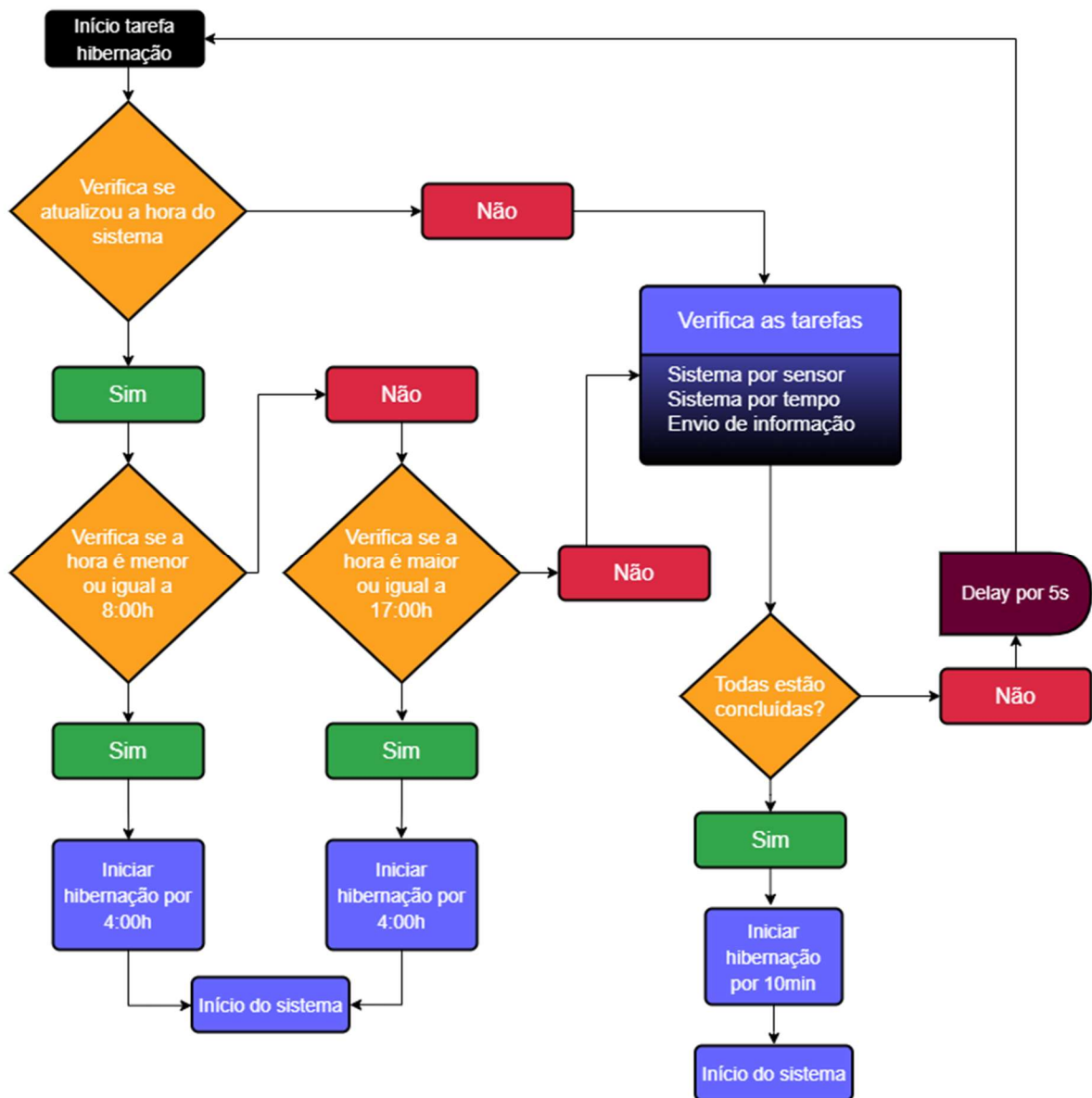


A tarefa de hibernação foi desenvolvida com o propósito de controlar o horário de atuação do projeto com intuito de economizar energia. Desta forma o protótipo irá hibernar quando todas as tarefas forem concluídas.

Atuando com a hibernação em microcontroladores o consumo de energia reduz drasticamente, prolongando assim a carga da bateria.

Conforme Fig. 10 será demonstrado o fluxograma do funcionamento detalhado do sistema de hibernação.

Figura 10 – Fluxograma de execução da tarefa de hibernação



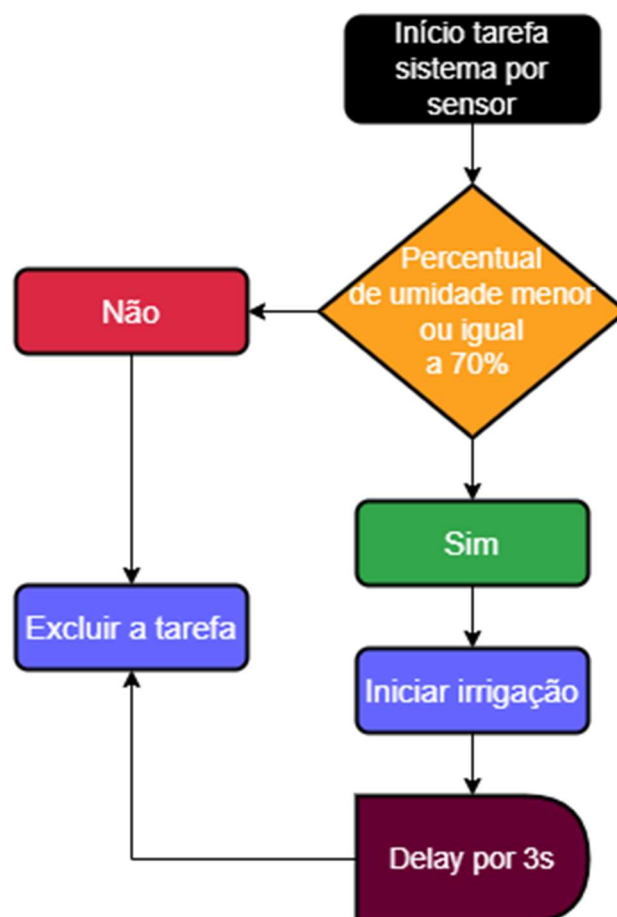
Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A tarefa de sistema por sensor atua na primeira premissa do projeto que seria o controle por malha fechada, onde toda e qualquer decisão do momento de irrigação será de acordo com a leitura do sensor de umidade do solo.

Para que isso seja possível, foram realizados testes de bancada a fim de definir os parâmetros de ativação que servem como gatilho para iniciar e terminar a irrigação, dessa maneira chegaram-se aos seguintes valores como mínimo e máximo.

O percentual de inicialização foi definido em menor ou igual a 70%, irá iniciar a irrigação por 3s, após irá excluir a tarefa. Para melhor entendimento, na Fig. 11 será apresentado o fluxograma do funcionamento detalhado do sistema por sensor.

Figura 11 – Fluxograma de execução da tarefa por sensor



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

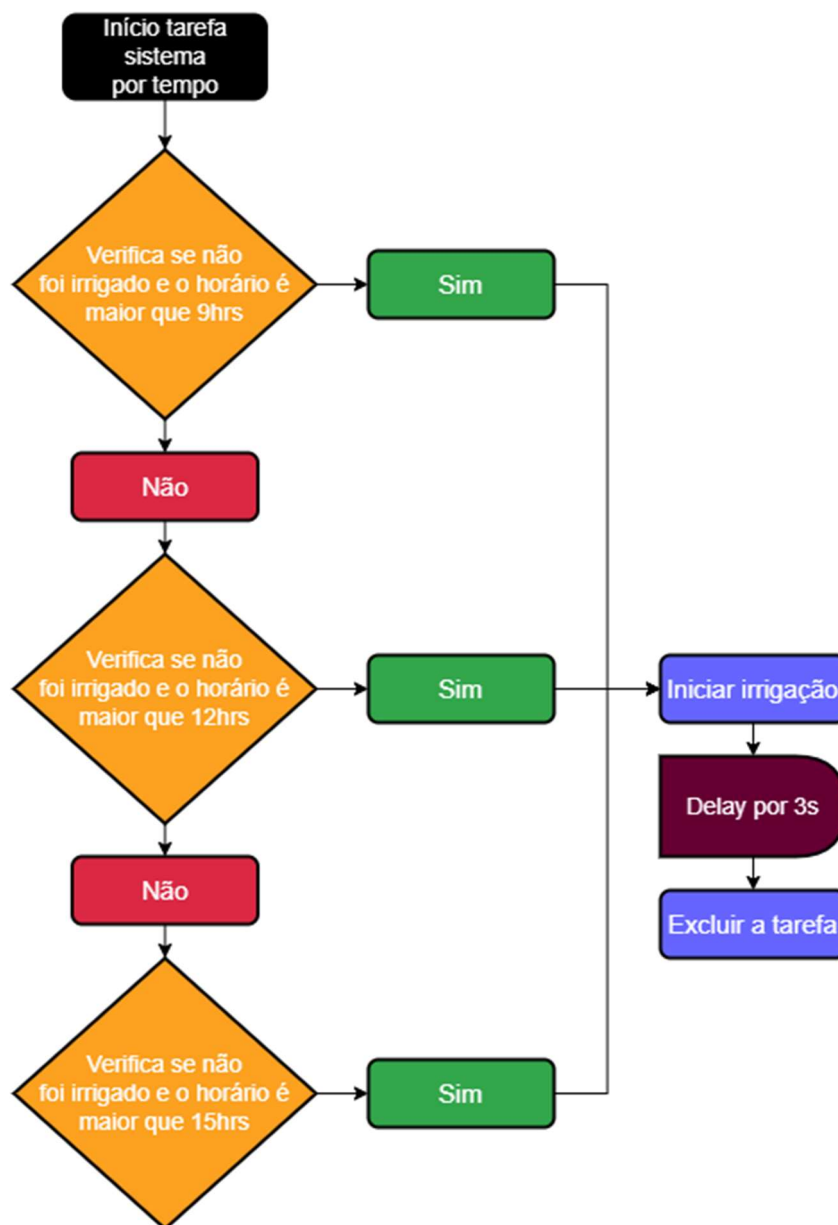
A tarefa de sistema por tempo irá atuar conforme a segunda premissa do projeto que seria o controle por malha aberta, onde toda decisão de irrigação é

definida com base em horários, esses por sua vez foram definidos por meio de conhecimentos empíricos onde foi decidido realizar a irrigação três vezes ao dia.

Uma vez que os horários foram definidos ele irá atuar sempre que o mesmo for igual ou maior, iniciando assim o ciclo de irrigação que dura 3s e nunca irá repetir o mesmo horário no dia.

A Fig. 12 apresenta o fluxograma do funcionamento detalhado do sistema por tempo para melhor entendimento da rotina

Figura 12 – Fluxograma de execução da tarefa por tempo

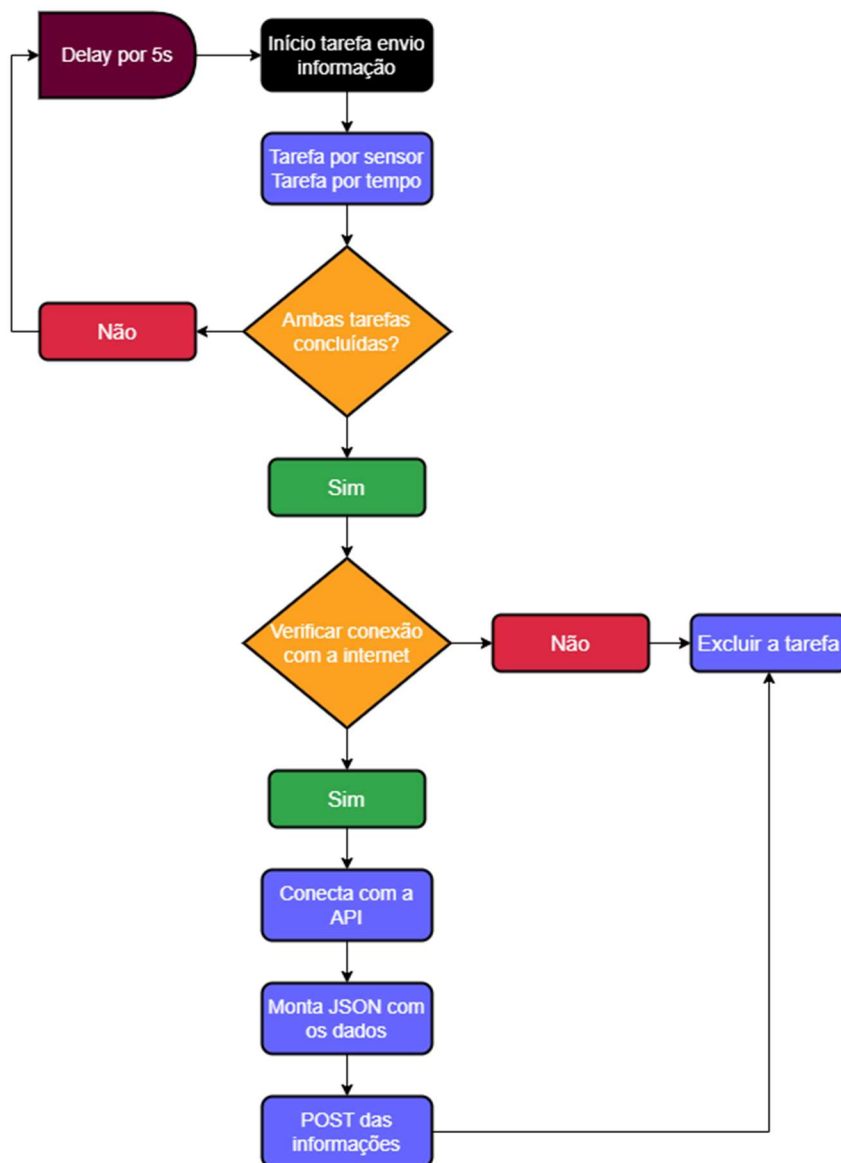


A última tarefa desenvolvida foi a de envio de informação que por sua vez será responsável por coletar todos os dados disponíveis no protótipo a fim de responder à questão problema e os objetivos levantados nesse projeto.

Desta forma, a mesma se conectará a uma API hospedada em um servidor que irá armazenar todos dados gerados pelos sensores, coletou-se os seguintes dados: (I) Umidade do solo, (II) Temperatura, (III) Umidade do ar, (IV) Tensão de bateria.

Conforme Fig. 13 a seguir o fluxograma do funcionamento detalhado da tarefa de envio de informação.

Figura 13 – Fluxograma de execução da tarefa de envio de informação



## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Nesse capítulo serão demonstrados os resultados obtidos por meio da construção do protótipo de irrigação do solo utilizando sistemas em malha aberta e fechada que possuiu um custo de R\$538,12.

### **4.1 RESULTADOS DE LEITURA**

No decorrer do projeto foram coletados dados por meio de leitura a partir do funcionamento do protótipo, tais dados foram enviados dentro de um objeto JSON diretamente para uma API armazenada na nuvem, a mesma ficou com total responsabilidade de armazenar essas informações a fim de dar autonomia para o projeto.

Os dados apresentados nos gráficos são uma média de cada dia, ou seja, ao longo do dia a coleta foi realizada mais de uma vez, iniciada as 8:00 horas e finalizada as 17:00 horas em um intervalo de 10 minutos para cada registro. A seguir serão apresentados os dados referentes a cada sensor utilizado ao longo do projeto.

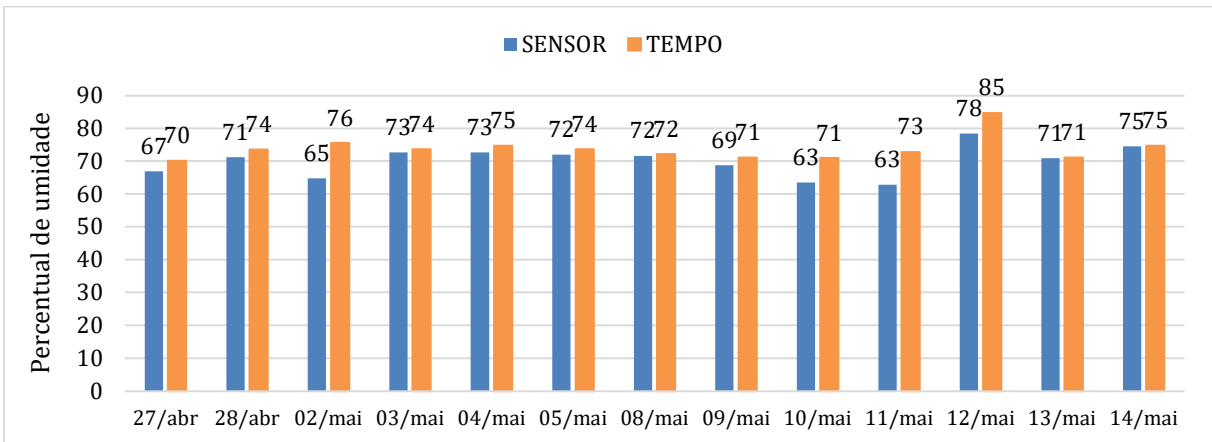
#### **4.1.1 Tabela de umidade do solo**

A tabela de umidade do solo, responsável por armazenar os dados referente ao sistema por sensor (malha fechada) e sistema por tempo (malha aberta) foi dividida em duas propriedades, sendo elas:

- Tipo sensor: identificador único utilizado para diferenciar a leitura de ambos os sistemas, sensor ou tempo.
- Umidade do solo: armazena os percentuais de umidade.

Todas as propriedades destacadas possuem como objetivo demonstrar a umidade do solo para cada tipo de sensor. Conforme gráfico 1 demonstra a média das coletas de dados dos períodos de 27 de abril a 14 de maio.

Gráfico 1 – Comparativo de umidade entre os sistemas

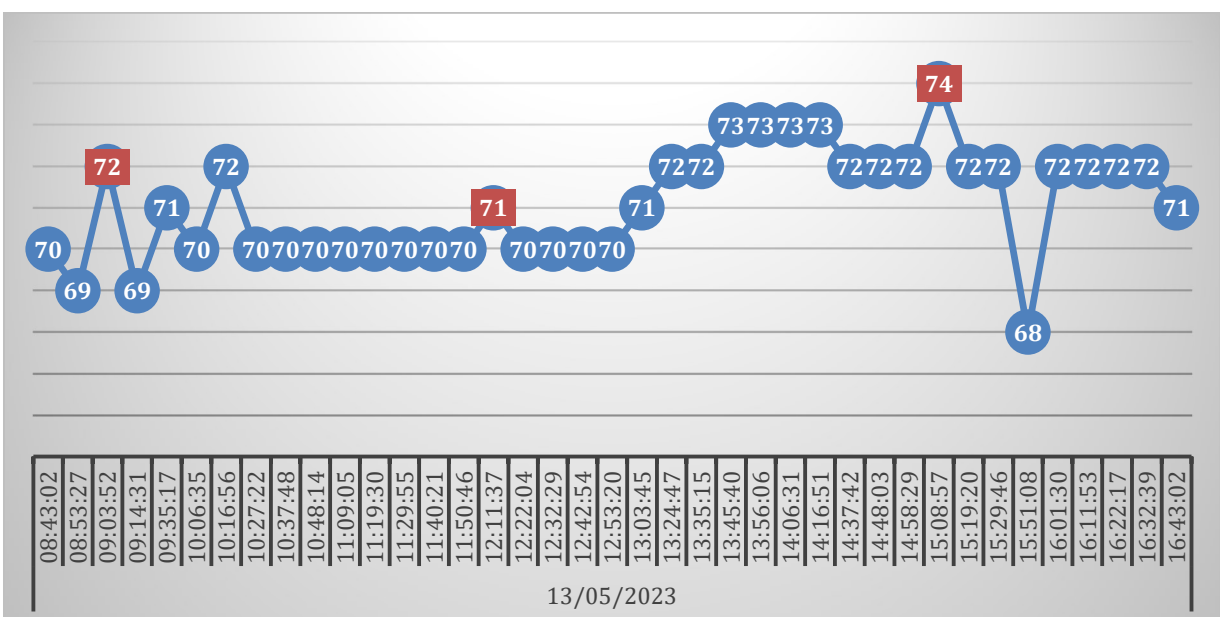


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Ao longo das coletas foi possível verificar que a umidade entre ambos os sistemas não apresentou grandes diferenças no percentual de umidade do solo. Além disso, pode-se destacar que a maior diferença ocorreu no dia 02/05/2023.

Ao longo desse período foi possível constatar que o sensor de umidade não teve a acurácia eficaz conforme será demonstrado no gráfico 2 de sistema por tempo (malha aberta) e no gráfico 3 de sistema por sensor (malha fechada) do dia 13/05/2023 com todas as coletas.

Gráfico 2 – Percentual umidade do solo (malha aberta)

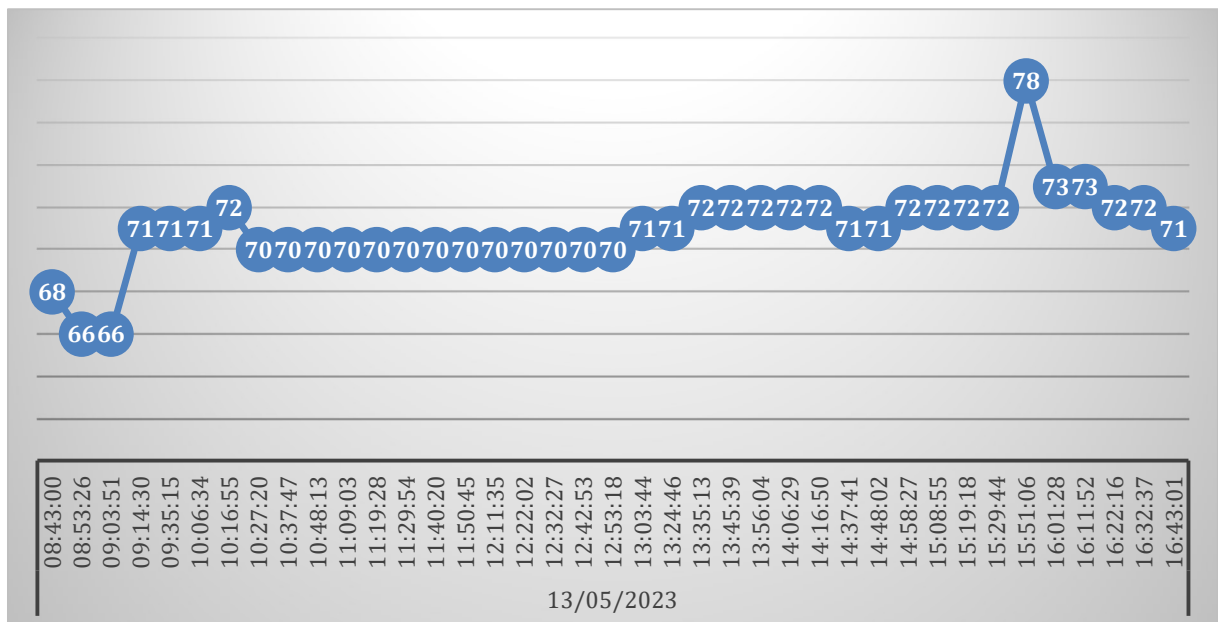


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Ao analisar o gráfico 2 é possível constatar que a irrigação ocorreu nos horários definidos conforme destaque no gráfico. Por outro lado, ao comparar a umidade antes da irrigação com os valores posteriores, não há uma grande variação o que comprova que o sensor utilizado não possui acurácia necessária.

Logo, ao analisar o gráfico 3, não é possível identificar em quais momentos ocorreu a irrigação devido a aferição do sensor que não demonstra variações significantes de mínimo e máximo para afirmar o momento exato da irrigação.

Gráfico 3 – Percentual umidade do solo (malha fechada)



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

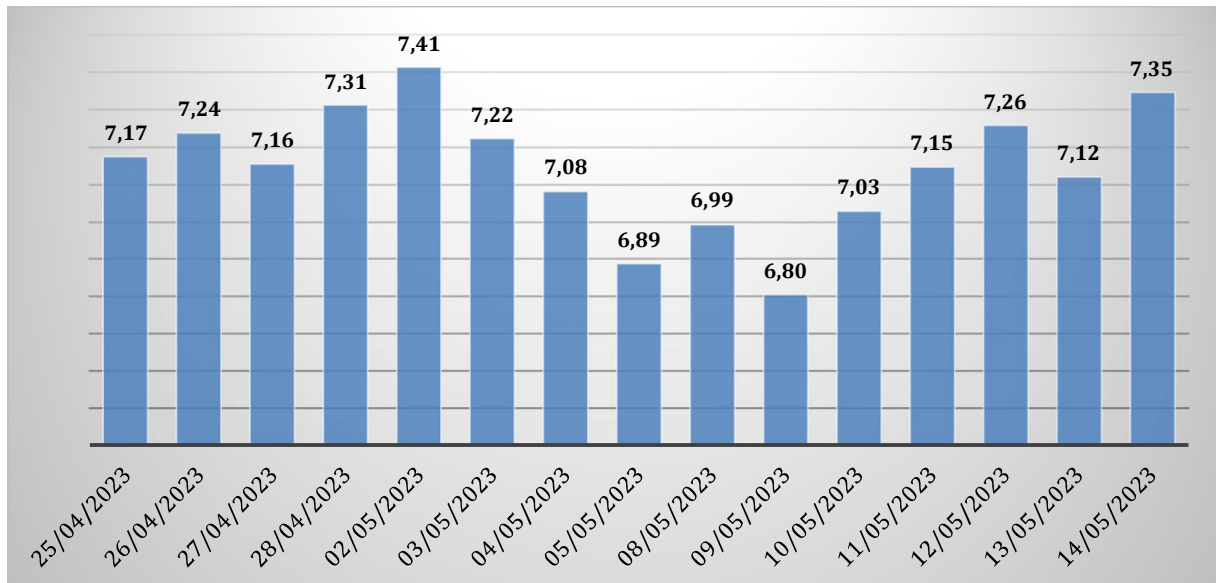
#### 4.1.2 Tabela de Bateria

A tabela de bateria é responsável pelo armazenamento de dados referente a tensão em Volts do pacote de baterias (*Battery pack*), ao realizar a conversão é retornado o percentual de carga.

Tais dados foram coletados com o objetivo de assegurar a eficiência energética do projeto contribuindo para o item 7 destacado na ODS que se remete a energia limpa e acessível.

A seguir conforme o gráfico 4, será demonstrado os dados referentes a média de tensão das baterias e conforme o gráfico 5, o percentual da média de tensão de baterias.

Gráfico 4 – Tensão da bateria ao longo dos dias



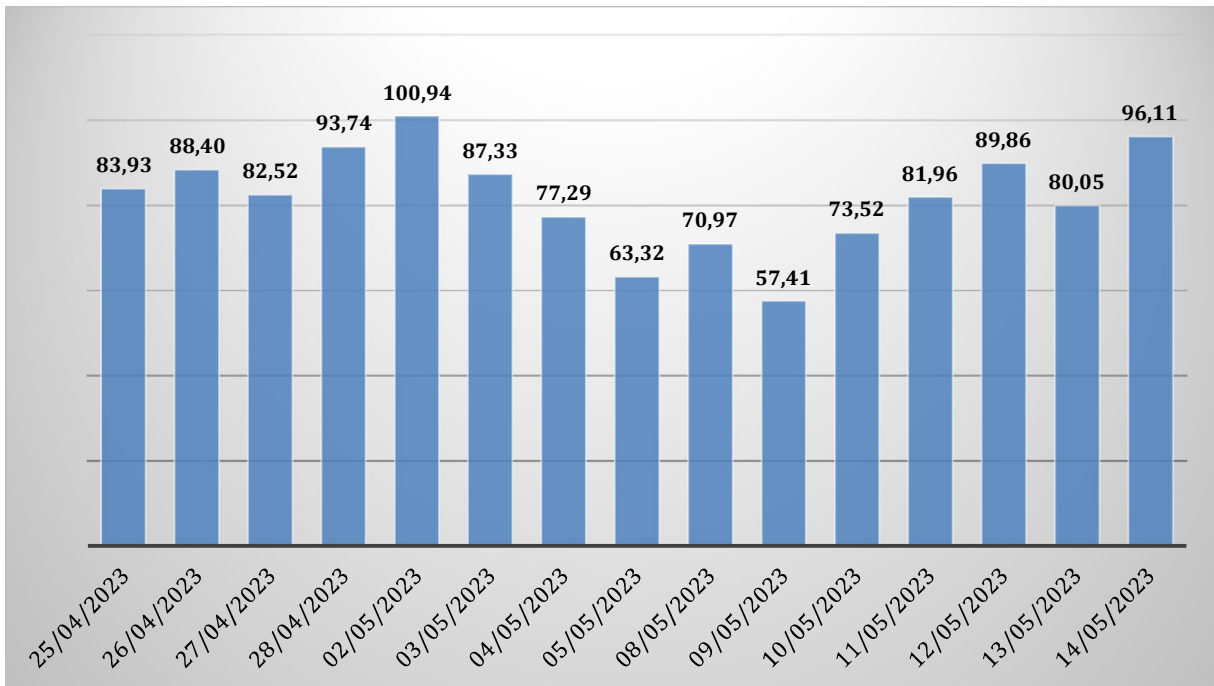
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Por meio da API foi coletado os dados de tensão conforme o gráfico destacado no gráfico 4. Esta tensão se refere a carga da bateria sendo que, de acordo com o fabricante, a tensão nominal para esse modelo de bateria é de 3,7V cada uma, contudo a tensão pode variar de 3V até 3,7V de modo que não prejudique a vida útil da bateria.

Na montagem do protótipo foi inserida duas baterias em série o que totaliza 7,4V de tensão nominal. Conforme demonstra o gráfico 4 as leituras de tensão das baterias sendo que no dia 02/05/2023 sua média de tensão ultrapassou a carga máxima de 7,4V, isto pode acontecer devido a tensão poder chegar a 8,4V, porém esta prática a longo prazo prejudica a vida útil da bateria.

Pelo gráfico é possível constatar que durante a coleta houve períodos de dias nublados, por exemplo do dia 04/05/2023 até 09/05/2023 onde foi constatado o menor volume de carga coletado das baterias.

Gráfico 5 – Percentual de tensão da bateria



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O gráfico 5 representa o percentual de carga do pacote de baterias de modo que a visualização por parte dos usuários fique mais clara.

A coleta por meio da API foi realizada por meio de tensão, desta forma, para chegar no percentual foi realizada uma conversão matemática por meio da equação (1).

$$X = \frac{(\text{delta} * \text{rise})}{\text{run} + \text{out\_min}} \quad (1)$$

Onde:

Delta: valor de coleta – valor mínimo de carga recomendada;

Rise: valor percentual máximo – valor percentual mínimo, ou seja, respectivamente de 100 a 0;

Run: valor máximo de carga recomendada – valor mínimo de carga recomendada;

Out\_min: valor percentual mínimo.

Por exemplo, no dia 25/04/2023 houve uma média de tensão de 7,17497587 V e ao converter para percentual chegou-se ao valor de 83,93%. Para chegar nesse resultado foi aplicada a seguinte equação (2).

$$X = \frac{(\text{delta} * \text{rise})}{\text{run} + \text{out\_min}} \tag{2}$$

$$X = \frac{((7,17497587 - 6) * (100 - 0))}{(7,4 - 6) + 0}$$

$$X = \frac{(1,17497587 * 100)}{1,4 + 0}$$

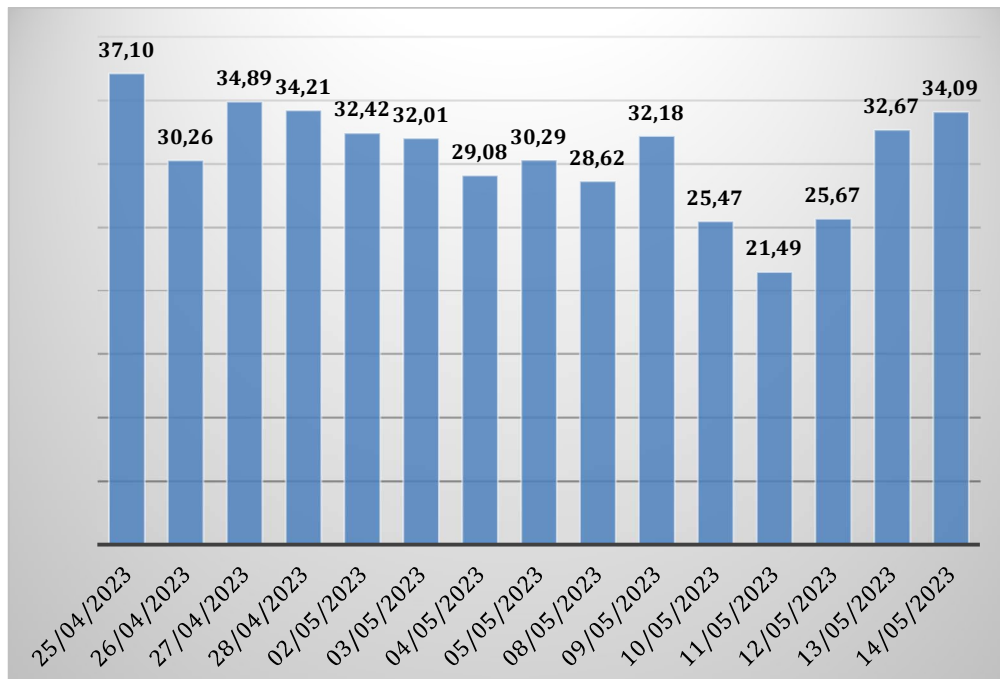
$$X = \frac{117,497587}{1,4}$$

$$X = 83,93\%$$

#### 4.1.3 Tabela de Temperatura

A tabela de temperatura é responsável por armazenar os dados coletados de temperatura em graus (°C) onde o protótipo está alocado, remetendo assim a temperatura geral do protótipo, conforme demonstra o gráfico 6.

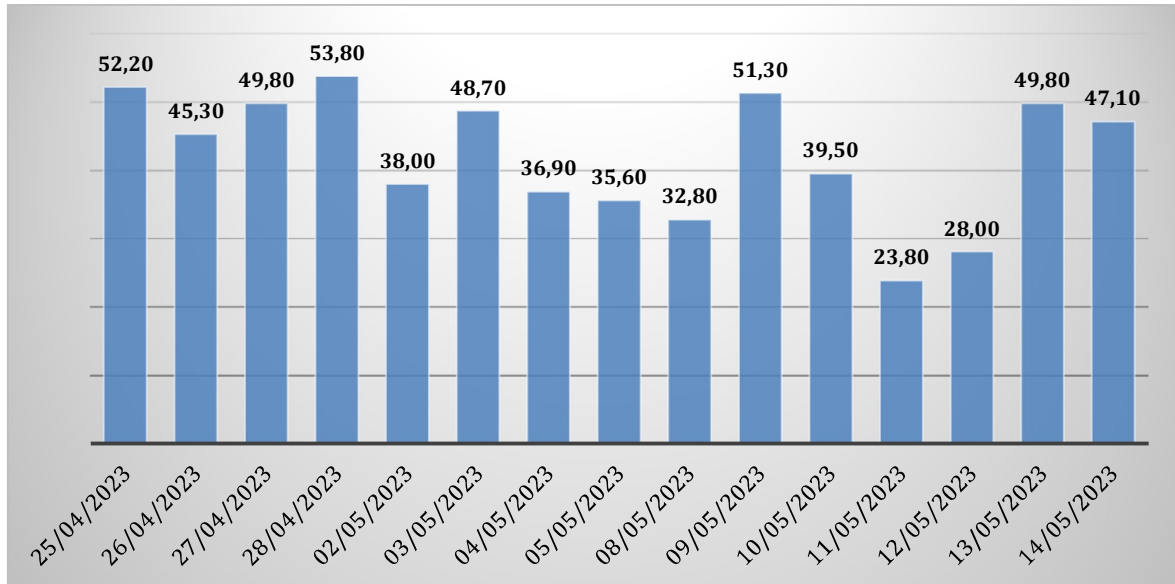
Gráfico 6 – Temperatura do protótipo em graus (°C)



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

No gráfico 6, pode-se observar que a média mais alta de temperatura foi no dia 25/04/2023 de 37,10°C e a mais baixa no dia 11/05/2023 de 21,49°C.

Gráfico 7 – Temperatura máxima do protótipo em graus (°C)



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Ao analisar o gráfico 7, pode-se observar que o pico de temperatura mais alto foi no dia 28/04/2023 de 53,80°C e mais baixa no dia 11/05/2023 de 23,80°C.

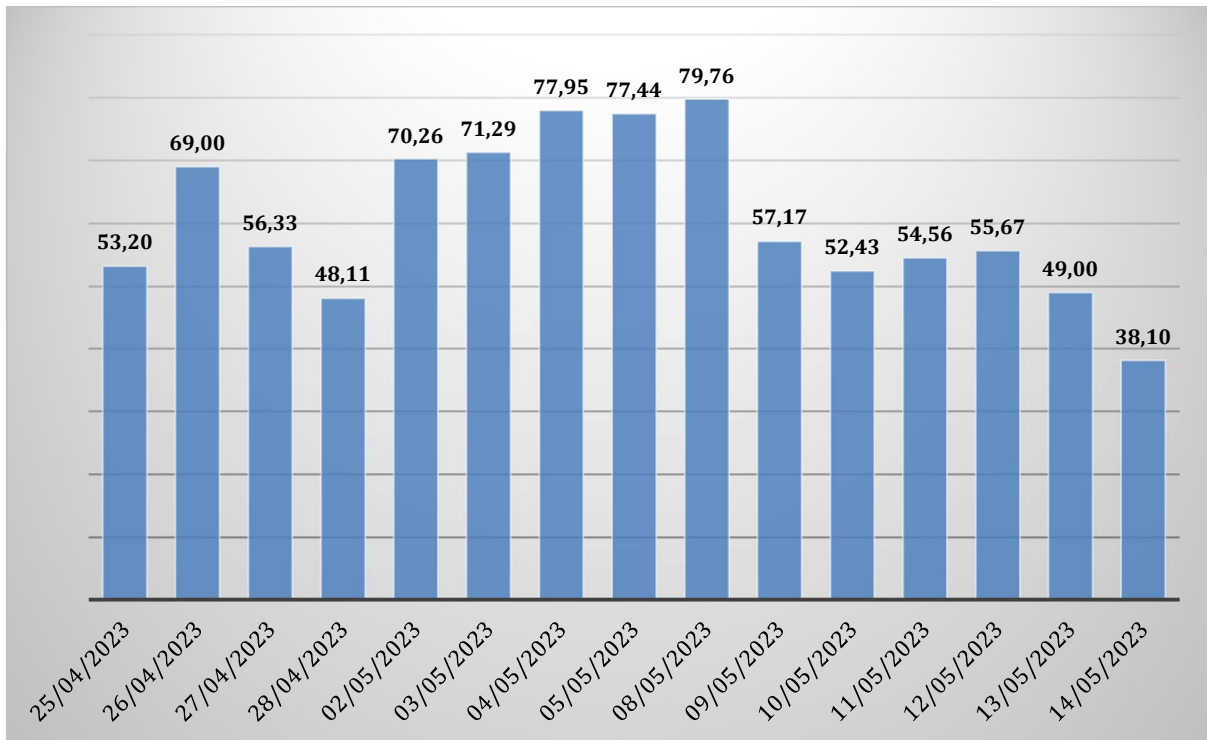
A importância do controle de temperatura se dá pelo fato de que, de acordo com o fabricante da bateria, ela não suporta mais que 60°C e por este motivo foi realizado acompanhamento diário com intuito de garantir que este problema não ocorresse.

Para este experimento não foi considerado a medição exata da temperatura na bateria e sim do ambiente em que o protótipo está alocado pelo motivo de que o mesmo não consome muita corrente, logo a temperatura da bateria é próxima do dado geral do ambiente.

#### 4.1.4 Tabela de Umidade do Ar

A tabela de umidade do ar é responsável por armazenar os dados coletados referente a umidade do ar onde o protótipo está alocado sendo seu valor em percentual, conforme apresenta o gráfico 8 com os dados coletados.

Gráfico 8 – Percentual de umidade do ar



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Ao analisar as informações coletadas no gráfico 8 é possível identificar que os percentuais mais altos foram nos dias 04, 05 e 08 de maio de 2023 chegando a valores superiores a 77%. Além disso, foi possível constatar que no dia 14/05/2023 houve a umidade mais baixa dentro do protótipo.

Este dado é importante para monitorar a umidade dentro do protótipo com intuito de cuidar da vida útil do mesmo, ou seja, se o ambiente for muito úmido pode danificá-lo.

## 5 CONCLUSÃO

Frente as novas evoluções tecnológicas e a necessidade de automação nos meios de irrigação houve a iniciativa de criar um protótipo de malha aberta e fechada para irrigação do solo. Desta forma, este estudo de caso teve como objetivo geral apresentar as vantagens e desvantagens do protótipo em malha aberta e fechada.

O primeiro objetivo específico teve como propósito avaliar o custo da construção do protótipo. Ao finalizar o protótipo é possível constatar que sua construção possui um baixo custo conforme a tabela de equipamentos.

O segundo objetivo específico tem o intuito de apresentar os dados coletados por meio do protótipo a fim de contribuir para estudos futuros. Além disso é possível observar ligações entre os resultados coletados como por exemplo:

- No dia 05/05/2023 observa-se o consumo de energia foi maior que a capacidade de carga pois ao comparar com o dia anterior sua carga está menor. Neste dia a temperatura média estava em 30°C, porém a umidade média do ar ficou em 77%. Desta forma, entende-se que a probabilidade de ser um dia nublado é grande pois a bateria não carregou mais que seu consumo.
- No dia 14/05/2023 é possível avaliar que a umidade do ar está baixa, a temperatura está alta e, conseqüentemente, a bateria está com percentual alto de carregamento. Logo, entende-se que essas duas variáveis contribuem para o carregamento da bateria.
- Ao longo dos testes e coleta de dados constatou-se que o sensor HD-38 para leitura da umidade do solo não apresentou uma acurácia desejada, logo, não há confiabilidade nas leituras do mesmo.

O terceiro objetivo tem como intuito apresentar diferentes tipos de irrigação para maior conhecimento do tema abordado.

O quarto objetivo tem o propósito de utilizar uma fonte de energia renovável a fim de contribuir para os objetivos da ODS. Ao analisar os gráficos é possível avaliar que para este protótipo o gasto de energia é baixo, porém mesmo assim contribui com meio ambiente pelo fato de utilizar uma fonte de energia renovável.

Desta forma, em resposta à questão de pesquisa do estudo - Quais são as vantagens e desvantagens de um sistema em malha aberta e fechada? - Foi possível observar que no sistema malha aberta existem as seguintes vantagens e desvantagens.

- Vantagens:
  - Configurável por horário, logo depois disso não necessidade de mão de obra humana.
  - Possui baixo custo para construção em relação ao sistema de malha fechada por não utilizar sensores de umidade do solo.
  - Tempo de hibernação maior em relação ao sistema de malha fechada por realizar a hibernação entre os períodos de irrigação.

- Desvantagens:
  - Desperdício de água, pois realiza a irrigação independente do tempo e umidade, logo, se for um dia de chuva irá realizar a irrigação normalmente se ninguém realizar a intervenção do processo.
  - Correlacionado a desvantagem citada anteriormente, não é possível saber a umidade do solo no momento da irrigação, logo, se estiver úmido irá irrigar normalmente.

Por outro lado, o sistema de malha fechada possui as seguintes vantagens e desvantagens.

- Vantagens:
  - Reduz desperdício de água, pois somente realiza a irrigação quando o solo está seco.
  - Após instalado, não há necessidade de intervenção humana para realizar a irrigação.
- Desvantagem:
  - Tempo de hibernação menor em relação ao sistema de malha aberta.
  - Maior custo de construção se comparado ao sistema de malha aberta por necessitar de sensores de umidade do solo.
  - Sensor HD-38 utilizado neste protótipo possui baixa acurácia.

Por fim foi constatado como limitação deste estudo o fato de que o sensor HD-38 utilizado no protótipo possui baixa acurácia, logo, não realizou a irrigação no sistema de malha fechada conforme o esperado.

Como indicação de sistema para implementação em produção, o sistema de malha aberta demonstrou melhores resultados uma vez que conforme parágrafo anterior, o sensor utilizado para acionamento na malha fechada não apresentou resultados confiáveis.

Desta forma, sugerem-se realizar novos estudos com a mesma temática variando os tipos de sensores a fim de realizar comparações e avaliar qual possui melhor acurácia.

## REFERÊNCIAS

AHMED, E. M. E.; ABDALLA, K. H. B.; ELTAHIR, I. KHIDER. Farm Automation based on IoT. **2018 International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering (ICCCEEE)**, p. 1–4, ago. 2018.

BRASIL. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 30 abr. 2022.

CHOI, A. J. Internet of Things: Evolution towards a hyper-connected society. **2014 IEEE Asian Solid-State Circuits Conference (A-SSCC)**, p. 5–8, 13 nov. 2014.

CUNHA, K. C. B.; ROCHA, R. V. AUTOMAÇÃO NO PROCESSO DE IRRIGAÇÃO NA AGRICULTURA FAMILIAR COM PLATAFORMA ARDUÍNO. **Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, v. 1, n. 2, p. 62–74, dez. 2015.

CUNHA, M. M. **Desenvolvimento de um sistema embarcado para realização de manejo de irrigação**. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 7 fev. 2019.

FLORIN, O. C.; MIHAI, N. A. Solution For Water Management Using A Smart Irrigation System. **2019 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN)**, p. 1–3, out. 2019.

MARQUELLI, W. A. et al. **Irrigação na cultura do alho**. Brasília: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/287640895>>. Acesso em: 31 maio. 2022.

MAXMAQ. **Irrigação por Aspersão: Saiba tudo sobre o principal método de irrigação**. Disponível em: <<https://maxmaq.com.br/blog/irrigacao-por-aspersao/>>. Acesso em: 31 maio. 2022a.

MAXMAQ. **Conheça a Irrigação Por Gotejamento e Dobre Sua Produtividade**. Disponível em: <<https://maxmaq.com.br/blog/irrigacao-por-gotejamento/>>. Acesso em: 31 maio. 2022b.

MEDEIROS, P. H. S. **SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADO PARA PLANTAS CASEIRAS**. João Monlevade: Universidade Federal de Ouro Preto, 12 jun. 2018.

MEMON, K. et al. A Review Based On Comparative Analysis of Techniques Used in Precision Agriculture. **2023 4th International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies (iCoMET)**, p. 1–7, 17 mar. 2023.

MORAS, L. F. D. et al. Manual Técnico para a Restauração de Áreas Degradadas no Estado do Rio de Janeiro. **Jardim Botânico do Rio de Janeiro**, p. 1–85, 2013.

NAMALA, K. K. et al. Smart irrigation with embedded system. **2016 IEEE Bombay Section Symposium (IBSS)**, p. 1–5, dez. 2016.

PERNAPATI, K. IoT Based Low Cost Smart Irrigation System. **2018 Second International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT)**, p. 1312–1315, abr. 2018.

SENAR. Irrigação: manejo e gestão em sistema localizado. **Coleção Senar - 251**, p. 1–55, 2019.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. **Subirrigação**. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/AG01\\_12\\_1311200215101.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/AG01_12_1311200215101.html)>. Acesso em: 13 maio. 2022.

SINGH, P.; SAIKIA, S. Arduino-based smart irrigation using water flow sensor, soil moisture sensor, temperature sensor and ESP8266 WiFi module. **2016 IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC)**, p. 1–4, dez. 2016.

STONE, L. F. **Irrigação por aspersão**. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01\\_37\\_1311200215102.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01_37_1311200215102.html)>. Acesso em: 13 maio. 2022.

TEPHILA, M. B. et al. Automated Smart Irrigation System using IoT with Sensor Parameter. **2022 International Conference on Electronics and Renewable Systems (ICEARS)**, p. 543–549, 16 mar. 2022.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. Campinas: Unicamp/FEAGRI, 2017.

TRINDADE, A. V. et al. **O Cultivo da Bananeira**. 1ª Edição ed. Cruz das Almas - BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura (CNPMPF), 2004.

VARSHINI, R.; KARTHIKEYAN, A. Internet of Things – Evolution, Architecture and Real Time Application- Survey. **2019 International Conference on Vision Towards Emerging Trends in Communication and Networking (ViTECoN)**, p. 1–4, 14 mar. 2019.

VASCONCELOS, H. S. **Automação de sistema de irrigação em malha fechada utilizando rede sem fio de sensores capacitivos de umidade do solo**. Fortaleza: [s.n.]. Disponível em: <[https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/18180/1/2013\\_dis\\_hsvasconcelos.pdf](https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/18180/1/2013_dis_hsvasconcelos.pdf)>. Acesso em: 29 jun. 2023.

WANG, X.; KAILI, Z.; ZHIYONG, H. Open Field Smart Planting System of Family Farm. **2021 IEEE 6th International Conference on Computer and Communication Systems (ICCCS)**, p. 823–828, 23 abr. 2021.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente a Deus, por me dar forças e persistência para atingir meus objetivos.

Aos meus pais, Arnaldo e Lenir, as minhas irmãs Aline e Amanda, por todo apoio oferecido durante todos estes anos de faculdade.

A minha namora Clarice H. Magnus por todo auxílio ao longo desse estudo me dando forças em não desistir.