

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

GABRIEL KALINOSKI DE ALMEIDA

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTÔNOMO UTILIZANDO ESP32

**ERECHIM - RS
2023**

GABRIEL KALINOSKI DE ALMEIDA

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTÔNOMO UTILIZANDO ESP32

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

Orientador: Me. Adilson Luís Stankiewicz

**ERECHIM - RS
2023**

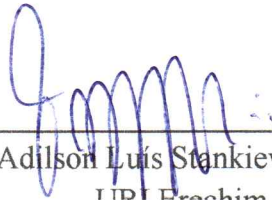
GABRIEL KALINOSKI DE ALMEIDA

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTÔNOMA UTILIZANDO ESP32

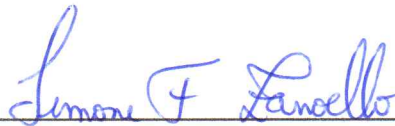
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, Área de Engenharias e Ciência da Computação da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Câmpus de Erechim.

Erechim, 08 de dezembro de 2023.

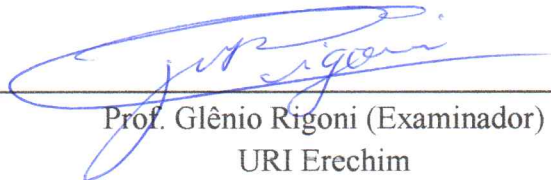
BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Adilson Luís Stankiewicz (Orientador)
URI Erechim



Prof.ª Dra. Simone Fátima Zanoello (Examinadora)
URI Erechim



Prof. Glênio Rigoni (Examinador)
URI Erechim

RESUMO

Existe um constante e crescente interesse por produtos automatizados e sustentáveis, que visam facilitar os processos de irrigação, e que reduzam consideravelmente o consumo de energia e água, visto que a questão ambiental é um dos temas mais discutidos em fóruns e reuniões globais. Os sistemas de irrigação automática desempenham um papel fundamental nesse contexto, permitindo a aplicação precisa da quantidade adequada de água no momento certo, desta forma, otimizam o tempo e eliminam a preocupação com a irrigação do solo. Desenvolver um sistema remoto auto suficiente, no qual utiliza a água coletada da chuva, capaz de monitorar a umidade do solo em mais de um ponto, com isso fazendo a média de umidade do solo, para assim poder fazer a irrigação quando houver necessidade e sem precisar de intervenção humana para funcionar. O sistema será construído com um microcontrolador ESP32, sensores de umidade de solo, placa fotovoltaica para carregamento das baterias, bomba para irrigação, relé para acionamento da bomba, um circuito de carregamento e um sensor para monitorar o nível do reservatório de água. Com o uso das tecnologias estudadas, foi possível desenvolver um protótipo digital, com o intuito de verificar o funcionamento do sistema que será construído. O projeto consiste em um microcontrolador ESP32, sensores de umidade de solo, placa fotovoltaica para carregamento das baterias através da energia solar, bomba para irrigação, relé para acionamento da bomba, um circuito de carregamento e um sensor para monitorar o nível do reservatório de água. Com o uso das tecnologias estudadas, foi possível desenvolver um protótipo digital, com o intuito de verificar o funcionamento do sistema que será construído. Após implementado em campo, verificou que o projeto atendeu a proposta estipulada, conseguindo irrigar o solo com eficiência.

Palavras-chave: Irrigação. ESP32. Microcontrolador. Umidade do solo.

ABSTRACT

There is a constant and growing interest in automated and sustainable products, which aim to facilitate irrigation processes, and which considerably reduce energy and water consumption, as environmental issues are one of the most discussed topics in global forums and meetings. Automatic irrigation systems play a fundamental role in this context, allowing the precise application of the appropriate amount of water at the right time, thus optimizing time and eliminating concerns about soil irrigation. Develop a self-sufficient remote system, which uses water collected from rain, capable of monitoring soil moisture at more than one point, thereby averaging soil moisture, so that irrigation can be carried out when necessary and without require human intervention to function. The system will be built with an ESP32 microcontroller, soil moisture sensors, a photovoltaic plate for charging the batteries, an irrigation pump, a relay for activating the pump, a charging circuit and a sensor to monitor the level of the water reservoir. Using the technologies studied, it was possible to develop a digital prototype, with the aim of verifying the functioning of the system that will be built. The project consists of an ESP32 microcontroller, soil moisture sensors, a photovoltaic board for charging the batteries using solar energy, an irrigation pump, a relay for activating the pump, a charging circuit and a sensor for monitoring the level of the water reservoir. . Using the technologies studied, it was possible to develop a digital prototype, with the aim of verifying the functioning of the system that will be built. After implemented in the field, it was verified that the project met the stipulated proposal, managing to irrigate the soil efficiently.

Keywords: Irrigation. ESP32. Microcontroller. Soil moisture.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Irrigação por inundação em plantação de arroz	13
Figura 2 - Cultivo de cebola com sistema de irrigação por sulcos	14
Figura 3 - Irrigação por aspersão	15
Figura 4 - Pivô central de irrigação	16
Figura 5 - Irrigação por gotejamento.....	17
Figura 6 - Irrigação por microaspersão.....	18
Figura 7 – Diagrama de pinos ESP32.....	19
Figura 8 - Sensor de umidade resistivo	20
Figura 9 - Sensor de umidade capacitivo.....	21
Figura 10 - Módulo Relé 5V.....	22
Figura 11 - Sensor de nível.....	22
Figura 12 - Solar Charger	24
Figura 13 - Painel fotovoltaico	25
Figura 14 - Bomba JT160A	26
Figura 15 - Esboço do sistema.....	28
Figura 16 - Simulação.....	29
Figura 17 - Montagem em protoboard.....	32
Figura 18 - Aba Setup.....	33
Figura 19 - Aba Sketch.....	34
Figura 20 - Aba Dashboards	35
Figura 21 - Placa com indicação dos circuitos	36
Figura 22 - Medição de consumo	36
Figura 23 - Caixa com os componentes.....	38
Figura 24 - Placa solar	39
Figura 25 - Reservatório de água.....	40
Figura 26 - Bomba e sensor de nível	40
Figura 27 - Central de controle.....	41
Figura 28 - Jardim.....	42
Figura 29 - Sensor de umidade	42
Figura 30 - Nova faixa de umidade	44
Figura 31 - Gráfico umidade	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo entre culturas irrigadas e não irrigadas	12
Tabela 2 – Especificações ESP32.....	19
Tabela 3 - Tensões de funcionamento	23
Tabela 4 - Consumo de energia	27
Tabela 5 - Preço componentes.....	30
Tabela 6 - Leitura sensores	37
Tabela 7 - Valores bateria.....	38
Tabela 8 - Valores sensores	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Unidade de corrente elétrica – Ampere
AC	Corrente alternada
BLE	Bluetooth Low Energy
DC	Corrente continua
GPIOs	General-Purpose Input-Output
h	Horas
ha	hectare
IoT	Internet das Coisas
kg	Quilograma
l/h	Litros por hora
mA	Unidade de corrente elétrica - miliampere
mAh	Unidade de corrente elétrica - miliampere hora
ms	Milissegundos
V	Unidade de tensão elétrica - volt
VA	Unidade de potência – Volt-ampere
Vac	Tensão em corrente alternada
Vdc	Tensão em corrente continua
W	Unidade de potência - watt

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 OBJETIVOS.....	11
1.1.1 Objetivos Gerais	11
1.1.2 Objetivos específicos	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 Sistema de irrigação	12
2.1.1 Sistema de irrigação por superfície.....	12
2.1.2 Sistemas de irrigação por aspersão	14
2.1.3 Sistema de irrigação localizada.....	16
2.2 Componentes do sistema.....	18
2.2.1 Microcontrolador	18
2.2.2 Sensor de umidade	20
2.2.3 Relé.....	21
2.2.4 Sensor de nível.....	22
2.2.5 Carregador solar.....	23
2.2.6 Fonte de energia renovável.....	24
2.2.7 Bomba de irrigação.....	25
3 METODOLOGIA.....	26
3.1 Desenvolvimento do projeto	26
3.2 Simulação computacional.....	28
3.3 Levantamento de custos.....	29
3.4 Montagem do Sistema em protoboard.....	30
3.5 Desenvolvimento do aplicativo	32
3.6 Montagem do circuito final.....	35
3.7 Montagem do Sistema em Campo e Funcionamento	38
4 RESULTADOS	43
5 CONCLUSÃO	47
5.1 Perspectivas futuras	47
6 BIBLIOGRAFIA	48

1 INTRODUÇÃO

Atualmente é difícil imaginar uma área em que não seja possível melhorá-la com o suporte da tecnologia, tanto no âmbito profissional quanto pessoal. Aqueles que não investem em tecnologia correm o risco de ficarem estagnados no tempo, o que pode resultar em prejuízos ou perda de competitividade para empresas comerciais, produtivas ou de serviços. A adoção de tecnologias é fundamental para o progresso e o sucesso dessas instituições.

No setor da jardinagem e agricultura não poderia ser diferente. Para evoluir e obter bons resultados, é importante investir em novas tecnologias, e uma delas é a irrigação. No campo, a implementação da tecnologia, é chamada de “agricultura de precisão”, no qual tem como objetivo a utilização de diversas tecnologias, para assim poder aumentar a produtividade e reduzir custos (BARBOSA, 2013).

Além de gerar um aumento na produtividade, a irrigação é uma das melhores maneiras de contornar a estiagem, no qual podem ser utilizada águas que foram armazenadas, tanto em reservatórios como cisternas, para suprir essa demanda em épocas que não chove.

Percebe-se atualmente a inserção da tecnologia em diversos segmentos, incluindo a produção de hortaliças, frutas, verduras e também no paisagismo. Esse estudo será focado especificamente nesse ambiente, onde se busca desenvolver um processo automatizado de irrigação.

Mesmo que pareça um sistema simples, existem muitos detalhes que devem ser observados, como definir a quantidade de água que deve ser aplicada e quando irrigar. A adoção de um sistema de irrigação automatizado não apenas minimiza erros humanos, como também reduz o consumo de água, e assim os custos de produção.

Dentre as tecnologias disponíveis para automação, foi selecionado um ESP32, um dispositivo de plataforma embarcada. Com este equipamento é possível desenvolver sistemas com um baixo custo, capazes de realizar funções de equipamentos de alta tecnologia e com custo muito mais elevado.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivos Gerais

Desenvolver um sistema remoto auto suficiente, no qual utiliza a água coletada da chuva, capaz de monitorar a umidade do solo em mais de um ponto, com isso fazendo a média de umidade do solo, para assim poder fazer a irrigação quando houver necessidade e sem precisar de intervenção humana para funcionar.

1.1.2 Objetivos específicos

- Pesquisar os diferentes tipos de irrigação a fim de definir qual será utilizado no sistema a ser projetado;
- Simular o sistema projetado, a fim de validar seu funcionamento antes da implementação;
- Implementar um sistema de geração fotovoltaica para alimentar o sistema, com isso podendo funcionar em locais sem energia;
- Desenvolver um aplicativo para controle do sistema de irrigação;
- Fazer uma aferição do consumo de energia do sistema, para assim obter a autonomia;
- Medir o consumo de água durante alguns testes de irrigação.
- Analise de custo do sistema, para verificar a viabilidade do mesmo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistema de irrigação

Para o sucesso do projeto de irrigação, é necessário realizar uma análise da topologia do solo onde o sistema será implementado. Além disso, é preciso levar em consideração o tipo de solo, a disponibilidade de água, o tipo de cultivo, entre outros fatores relevantes. Um projeto detalhado de todo o processo deve ser elaborado, visando alcançar um sistema que se aproxime ao máximo do ideal para o cultivo escolhido e obtenha resultados satisfatórios (BARBOSA, 2013).

É importante destacar que a quantidade adequada de água para o desenvolvimento ideal de uma planta varia de acordo com a espécie, ficando entre 20% a 60% de umidade no solo. Portanto, é essencial considerar essas diferenças e ajustar o sistema de irrigação de acordo com as necessidades específicas de cada cultura (CHERLINKA, 2022).

Apesar de possuir um custo mais elevado, plantações que possuem um sistema de irrigação geram uma produtividade muito maior, essa diferença de produtividade pode ser vista na Tabela 1.

Tabela 1 - Comparativo entre culturas irrigadas e não irrigadas

Cultura	Não Irrigado (kg por ha)	Irigado (kg por ha)	Ganho
Algodão	848	2.700	218%
Arroz	1.739	3.750	115%
Feijão	388	2.300	492%
Milho	1.985	5.500	177%
Soja	1.844	3.000	62%

Fonte: Adaptado de Barbosa (2013)

2.1.1 Sistema de irrigação por superfície

Esse método possivelmente é a técnica mais antiga de irrigação no mundo, no qual também é conhecida como irrigação por gravidade, onde consiste em um sistema onde a água é aplicada diretamente no solo, onde, pelo efeito da gravidade se mova e infiltre no solo.

Utilizada atualmente em todo o mundo devido aos baixos custos de implantação e baixa tecnologia, principalmente em países e áreas menos desenvolvidas onde a principal atividade agrícola é a plantação de arroz, como China, Japão, Índia e Paquistão.

Embora a irrigação por superfície engloba uma ampla variedade de sistemas, optou-se por classificá-los em dois tipos: sistemas de irrigação por inundação e sistemas de irrigação por sulcos.

O sistema de irrigação por inundação (Figura 1), como o próprio nome já diz, é aplicado água com o intuito de alagar a área de cultivo. A bacia, ou tabuleiro como conhecido, é construído em uma área nivelada para todos os lados, onde em seus limites são levantados taipas ou diques, para impedir que ocorra perda da água por escoamento e assim manter a área alagada (TESTEZLAF, 2017).

Figura 1 - Irrigação por inundação em plantação de arroz



Fonte: CENÁRIO RURAL (2020)

Vantagens:

- Baixa demanda de mão de obra;
- Possibilita o aproveitamento da água da chuva;
- Aproveitamento de solos com baixa permeabilidade.

Desvantagens:

- A presença de taipas e diques, limitam o trânsito de máquinas;
- Devido a água ficar parada, aumenta a quantidade de insetos;
- Os diques devem possuir manutenção adequadas, para evitar perdas de água.

No sistema de irrigação por sulcos (Figura 2), diferente da irrigação por inundação, são construídos sulcos ou canaletas paralelos as faixas de plantação. Neste sistema de irrigação, a água não molha toda a superfície do solo, normalmente deixando de 30% a 80% o solo molhado.

Com esse método de irrigação, possibilita manejar as irrigações durante a safra para atingir melhores eficiências no plantio (TESTEZLAF, 2017).

Figura 2 - Cultivo de cebola com sistema de irrigação por sulcos



Fonte: EMBRAPA (2007)

A irrigação por sulcos pode ser utilizada no cultivo de qualquer espécie de planta, mas para se obter uma economia de água deve-se usar esse sistema em culturas de menor espaço, como por exemplo hortaliças. Nesse caso, é recomendado que os sulcos sejam curtos, de modo que a água chegue mais rápido em toda área a ser irrigada, caso contrário, quanto mais tempo demorar, maior será a quantidade de água gasta ou perdida (COELHO, 2017).

Vantagens:

- Não é necessário de mão de obra para aplicação da água;
- Pode ser utilizado em quase todos tipos de plantação;
- Baixo custo anual, comparado a sistemas bombeados.

Desvantagens:

- Aumento da erosão da área de cultivo;
- Método difícil de automatizar, pois necessita manter a mesma quantidade de água em cada sulco;
- Difícil tráfego de equipamentos e tratores sobre as canaletas.

2.1.2 Sistemas de irrigação por aspersão

No método de irrigação por aspersão, a água é aplicada em formas de gota, como se fosse uma chuva. A formação das gotículas de água é obtida devido o sistema ser pressurizado, assim conseguindo fazer uma rega pelos aspersores presentes no sistema (TESTEZLAF, 2017).

Inicialmente esse sistema era utilizado para irrigação de gramados e jardins, mas com o passar do tempo, começou a ser utilizado em plantações e pomares. Por ser um sistema onde se utiliza tubulações para transportar a água, possibilitou o uso em áreas onde não é possível utilizar o método de inundação, como em terrenos inclinados ou em culturas que não podem permanecer com o solo enxarcado.

Esse sistema pode ser dividido em duas categorias: convencionais ou mecanizados.

Os sistemas convencionais utilizam componentes comuns de aspersão (Figura 3), como tubulações, motobombas e aspersores. Esses sistemas podem ser instalados de forma móvel, que possibilita deslocá-lo manualmente pelo terreno, para assim poder cobrir várias áreas com um custo de instalação e operação mais baixo, ou também podem ser fixos (TESTEZLAF, 2017).

Figura 3 - Irrigação por aspersão



Fonte: AGROPÓS (2017)

Já os sistemas mecanizados, são normalmente montados em estruturas metálicas, os aspersores se movem em determinada área para efetuar a irrigação. Podem ser utilizados tratores, sistema elétrico, ou utilizar a pressão da água para fazer a movimentação do sistema. Um modelo bem conhecido é o pivô central (Figura 4) (TESTEZLAF, 2017).

Figura 4 - Pivô central de irrigação



Fonte: AGROSMART (2017)

O sistema de aspersão conta com algumas características bem vantajosas, em comparação de superfície, como por exemplo:

- Não necessita de construção de canais de distribuição, assim diminuindo perda de área com água e permitindo um melhor aproveitamento do terreno;
- Ideal para a maioria de solos e culturas, devido a possibilidade de controlar a precipitação dos aspersores e a quantidade de pulverização de água;
- Com manejo e projeto adequado, diminui os riscos de erosão no solo.

Quando for realizado o planejamento de uso do sistema, dever ser avaliados alguns critérios, pois possui algumas desvantagens, como:

- Devido a ventos com velocidade com mais de 4m/s, a uniformidade da aplicação é afetada;
- Por trabalhar com pressões e vazões mais altas que o sistema de superfície, tem um custo operacional maior;
- Devido aos equipamentos utilizados, necessita cuidados maiores de manutenção.

2.1.3 Sistema de irrigação localizada

Como o nome já diz, esse método utiliza o sistema de distribuição “localizada”, onde a água é aplicada próximo de onde a planta está localizada, com isso gerando um melhor aproveitamento.

Pela possibilidade desse sistema atingir uma maior eficiência no uso da água, vem sendo bastante utilizada, principalmente pelo aumento da produtividade e baixo consumo de água

devido as perdas. Este sistema é utilizado em projetos paisagísticos, jardins, plantas ornamentais, e amplamente utilizado nas culturas frutíferas, como morango, manga, melão e citros.

Esse sistema pode ser em dois métodos: irrigação por gotejamento e irrigação por microaspersão.

Na irrigação por gotejamento (Figura 5) são utilizados gotejadores com vazões entre 0,5 a 12 L/h, no qual abrange sistemas onde é aplicado produtos químicos e água em formas de gotas em um local pontual (TESTEZLAF, 2017).

Figura 5 - Irrigação por gotejamento



Fonte: AEGRO (2022)

Utilizado na maioria das vezes em culturas perenes ou fruticultura, o sistema de gotejamento alcança uma eficiência de até 90%, por praticamente não ter perdas no transporte da água (CARVALHO E. S., 2010).

No sistema de irrigação por microaspersão, são utilizados microaspersores (Figura 6) com vazão de 30 a 200 L/h, onde a água libera sai em forma circular e contínua, assim molhando as raízes das plantas (TESTEZLAF, 2017).

Figura 6 - Irrigação por microaspersão



Fonte: IRRIGA GLOBAL (2021)

Se bem projetado, o sistema apresenta vantagens em relação aos outros métodos de irrigação, como:

- Permite aproveitar melhor os recursos hídricos, pois irriga próximo a planta, assim diminuindo a evaporação e perdas por escoamento;
- Baixo custo de energia e operação, devido a funcionar com baixa vazão e pressão;
- Sistema fácil de automatizar, assim gerando economia de mão de obra.

Contudo, esse sistema possui algumas limitações, como:

- Por possuir um pequeno diâmetro, pode ocorrer entupimento nas saídas, principalmente por areia, alga e fertilizantes;
- Elevado investimento inicial;
- Devido a presença de tubulação no solo, as capinas dever ser feitas com mais cuidado.

2.2 Componentes do sistema

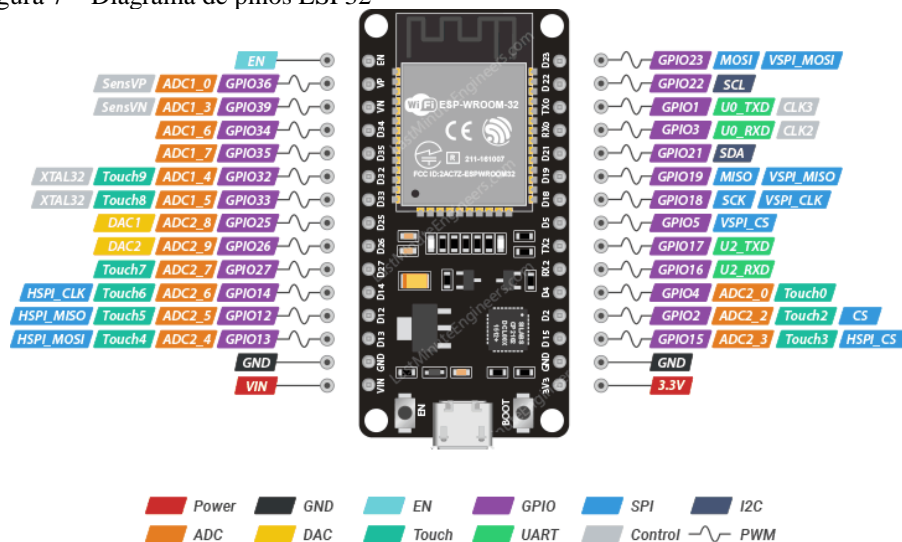
2.2.1 Microcontrolador

Os microcontroladores são dispositivos programáveis de tamanho reduzido e baixo custo, projetados para realizar funções de gerenciamento de ações e eventos. Eles são compostos principalmente por uma unidade de processamento, memórias, entradas e saídas, recursos de controle temporal e conversores analógico-digitais, entre outros, no qual possibilitam a execução de ações de controle em sistemas embarcados de forma presencial ou remota (SANTOS, 2019).

O ESP32 é um microcontrolador desenvolvido pela Espressif Systems, uma empresa chinesa com sede em Xangai. Foi projetado como uma solução para redes Wi-Fi independentes, e também capaz de executar programações em seu sistema (KOLBAN, 2017).

O ESP32 é equipado com o microprocessador Tensilica Xtensa de 32 bits LX6, conhecido por seu baixo consumo de energia. Na Figura 7 pode ser visualizada a distribuição de pinos da placa (KOLBAN, 2017).

Figura 7 – Diagrama de pinos ESP32



Fonte: LAST MINUTE ENGINEERS (2020)

Além de sua capacidade de processamento poderosa, o ESP32 oferece integração com Wi-Fi e BLE (Bluetooth Low Energy), o que o torna adequado para uma ampla variedade de projetos, especialmente na área da Internet das Coisas (IoT). Na Tabela 2 é possível ver algumas de suas principais características (KOLBAN, 2017).

Tabela 2 – Especificações ESP32

Processador	Tensilica Xtensa LX6, 32-bit Dual Core
Memoria SRAM	520 K
WiFi	802.11 b/g/n - 2.4 à 2.5 GHz
Bluetooth	4.2 BLE (Bluetooth Low Energy)
Tensão de Alimentação	4,5 à 12,0 VDC (Pino Vin)
Tensão de nível lógico	3,3VDC
Corrente de consumo media	80mA
Corrente de consumo máxima	260mA
GPIOs	25
Pinos entrada analógica	18 canais de 12 bits

Fonte: Adaptado de Koblan (2017)

2.2.2 Sensor de umidade

Os sensores de umidade de solo são instrumentos eletrônicos capazes de detectar, ou medir a variação de umidade presente no solo. Existem praticamente dois modelos de sensores disponíveis: os resistivos e os capacitivos.

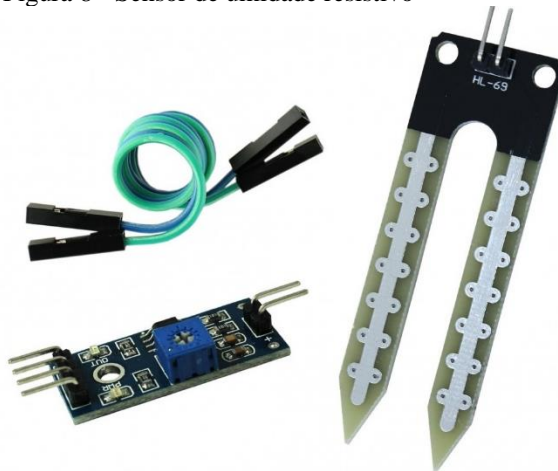
O sensor resistivo de umidade do solo opera monitorando a variação da resistência elétrica entre dois eletrodos inseridos no solo. A resistência elétrica medida pelo sensor é inversamente proporcional à umidade do solo, ou seja, quanto maior a quantidade de água presente no solo, menor será a resistência elétrica registrada (CARVALHO M. S., 2016).

Os eletrodos do sensor, possuem terminais metálicos e devido a exposição a umidade do solo, com o passar do tempo tendem a oxidar, com isso podendo gerar medições erradas e até alterar o pH do solo, devido a ferrugem (CASTRO, 2021).

Este dispositivo é composto por dois componentes: uma sonda (em formato de espeto) e um módulo comparador com um LM393. O módulo gera uma tensão de saída, conforme a resistência obtida pela sonda. Essa tensão é captada pelo pino A0 (saída analógica), após isso passa pelo comparador de tensão LM393 e é convertido para um sinal digital (D0).

O sensor resistivo (Figura 8) funciona com tensão entre 3,3V e 5V e corrente de 0 a 35mA, além disso o módulo conta com um potenciômetro, para poder fazer o ajuste da sensibilidade do sensor.

Figura 8 - Sensor de umidade resistivo



Fonte: USINAINFO (2023)

Já os sensores capacitivos, leem a umidade do solo através da variação dielétrica no sensor. Para o sensor realizar a leitura, ele cria um campo elétrico ao seu redor, com esse campo

ele começa a carregar como um capacitor. Como a capacitância está relacionada a quantidade de água, o sensor consegue determinar a umidade em função do tempo que leva para carregar, quanto mais úmido o solo, menor a tensão e com isso um menos tempo de carga. (CASTRO, 2021).

O sensor capacitivo (Figura 9) funciona com tensão entre 3,3V e 5V e corrente de 5mA, além disso, por possuir um revestimento em seu corpo o torna resistente a corrosão (GUIMARÃES, 2019).

Tanto o sensor resistivo como o capacitivo, geram um valor de saída no modo analógico de 0 a 1023, 0 corresponde a 100% de umidade e 1023 a 0% de umidade.

Figura 9 - Sensor de umidade capacitivo



Fonte: USINAINFO (2023)

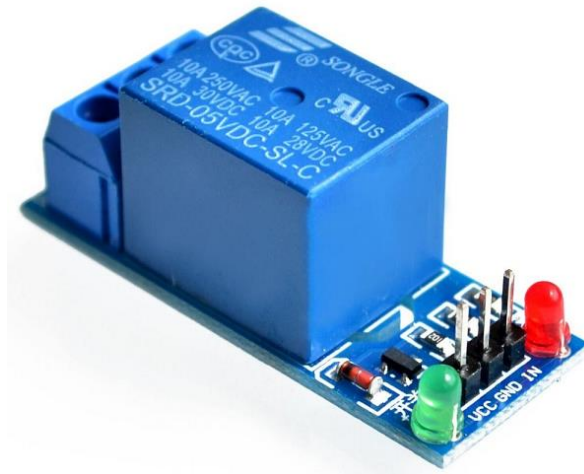
2.2.3 Relé

Os relés são dispositivos eletromecânicos que possuem a capacidade de acionar circuitos de alta corrente, a partir de sinais de corrente ou tensão menores. Isso significa que ao acionar um relé com um sinal de baixa tensão, como por exemplo uma pilha, é possível fazer o acionamento de um motor que esteja conectado a uma fonte de alimentação de 220V.

O Modulo Relé 5V (Figura 10), permite que seja possível controlar cargas AC e DC de forma fácil e prática, tudo isso a partir de uma plataforma microcontrolada (OLIVEIRA, 2018).

Possui uma tensão de operação de 3,3V e 5V, com um consumo de 15 a 20mA. Seu relé tem capacidade de acionamento de cargas de 30VDC de 10A e 250VAC, também com corrente de 10A. Seu tempo de resposta fica entre 5 e 10ms (OLIVEIRA, 2018).

Figura 10 - Modulo Relé 5V



Fonte: OLIVEIRA, E (2018)

2.2.4 Sensor de nível

Um dos dispositivos mais comuns encontrados em sistemas elétricos de controle, utilizado desde o simples acionamento de uma motobomba de um poço até medições em silos. Os sensores de nível têm a capacidade de identificar a presença ou ausência de uma substância, por meio de uma ação mecânica ou elétrica dessa substância sobre o sensor.

Dentre inúmeros modelos que existem, aqui será abordado sobre o sensor de nível magnético.

Conhecida como chave boia magnética (Figura 11), possui um funcionamento bem simples e geralmente um baixo custo de aquisição. Esse sensor é normalmente indicado para monitoramento de substâncias líquidas e de baixa viscosidade, como por exemplo a água (ENGELOGIC, 2012).

Figura 11 - Sensor de nível



Fonte: EICOS (2021)

O sensor possui uma chave magnética em seu interior, conhecida como Reed Switch, no qual fica lacrado para assim não ter contato com o fluido. Conforme há variação no nível do reservatório, a haste da boia tende a se movimentar, com isso gerando um sinal de saída, ON ou OFF (ENGELOGIC, 2012).

O sensor de nível magnético, pode operar com as seguintes tensões:

Tabela 3 - Tensões de funcionamento

Tensão de trabalho	Potência máxima	Corrente máxima
110Vac	20VA	0,2A
220Vac	20VA	0,1A
5Vdc	2,5W	0,5A
12Vdc	5W	0,5A
24Vdc	10W	0,5A

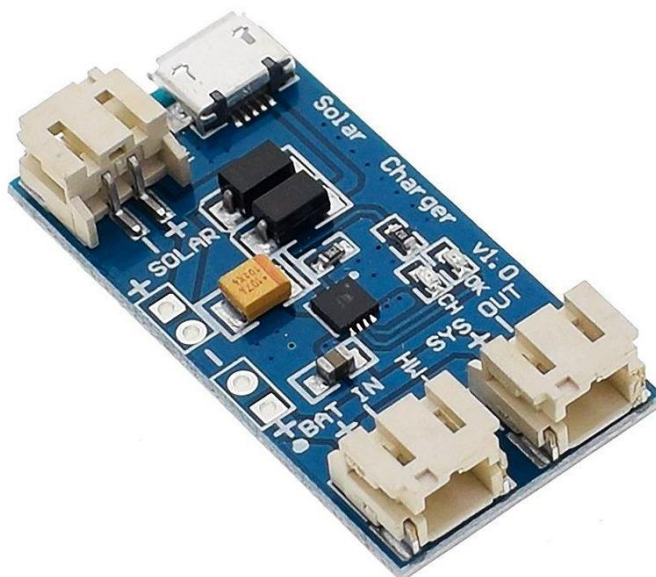
Fonte: EICOS (2021)

2.2.5 Carregador solar

A placa Solar Charger V1.0 (Figura 12), é um dispositivo projetado para gerenciar a carga de baterias de lítio utilizando como fonte de alimentação painéis solares. Possui o CI CN3065, o qual é responsável por obter o máximo de energia solar possível e gerenciar essa carga (SARAVATI, 2023).

Possui uma fácil instalação, de um lado basta conectar a placa solar e do outro a bateria, assim ficando pronto para uso. O carregador opera com uma entrada de tensão de 4,4V a 6V e possui uma corrente máxima de saída de 500mA (SARAVATI, 2023).

Figura 12 - Solar Charger



Fonte: SARAVATI (2022)

2.2.6 Fonte de energia renovável

Fontes de energia renováveis, podem ser definidas como formas de geração em que suas fontes estarão disponíveis por um longo tempo, utilizando recursos que se regeneram ou que irão estar ativos para sempre (PENA, 2021).

A energia solar consiste na captação da radiação solar emitida sobre a Terra. Trata-se de uma fonte de energia inesgotável e altamente potente, considerando que o planeta recebe uma quantidade considerável de radiação solar diariamente (PENA, 2021).

Os painéis fotovoltaicos são responsáveis por gerar energia limpa utilizando um conjunto de células fotovoltaicas. Essas células são feitas de materiais semicondutores que têm a capacidade de produzir um fluxo elétrico quando expostos à luz solar. O fluxo elétrico gerado é proporcional à intensidade da luz que incide sobre a superfície do painel. Em outras palavras, quanto maior a intensidade da luz solar, maior será a quantidade de eletricidade produzida pelos painéis fotovoltaicos (CARVALHO M. S., 2016).

O uso de painéis fotovoltaicos permite uma maior flexibilidade de utilização, como por exemplo podendo ser utilizado em locais remotos, onde não há energia elétrica, e possuem uma manutenção simples, no qual é necessário somente manter a superfície limpa, para assim captar melhor a luz solar.

A Figura 13, apresenta um mini painel fotovoltaico, no qual é capaz de gerar uma tensão de 6V e uma corrente contínua de 583mA. Este painel, devido a sua potência, é voltado para alimentação de pequenos dispositivos eletrônicos.

Figura 13 - Painel fotovoltaico



Fonte: ALIEXPRESS (2023)

Mesmo durante o dia, seu fornecimento de energia é variável, com isso surge a necessidade de compensar essa variação de energia para o dispositivo não desligar. Para solucionar essa variação e suprir a demanda quando não houver geração, é necessário utilizar baterias, no qual vai armazenar energia enquanto há geração e liberar quando houver necessidade, principalmente à noite.

2.2.7 Bomba de irrigação

A bomba JT160A (Figura 14) foi desenvolvida especialmente para projetos de automação residencial, prototipagem e uso em pequenos projetos.

Figura 14 - Bomba JT160A



Fonte: USINAINFO (2023)

Esse modelo possui proteção IP68, no qual pode ficar submerso na água, é alimentado com uma tensão de 4V a 6V, com um consumo de corrente de 350mA. Apesar de ser uma bomba pequena, possui a capacidade de elevação da água a 1,1 metros e uma vazão de 90 l/h.

3 METODOLOGIA

Com o intuito de facilitar os processos de irrigação, redução de consumo de energia e água, vem crescendo o interesse por produtos automatizáveis e sustentáveis. Os sistemas de irrigação automática, são ferramentas indispensáveis para aplicar a quantidade adequada de água no momento certo, com isso gerando uma maior otimização do tempo, fazendo com que a pessoa não se preocupe em irrigar.

Esse projeto, visa desenvolver um sistema remoto auto suficiente, no qual utiliza a água coletada da chuva, capaz de monitorar a umidade do solo em mais de um ponto, com isso fazendo a média de umidade do solo, para assim poder fazer a irrigação quando houver necessidade e sem precisar de intervenção humana para funcionar.

3.1 Desenvolvimento do projeto

Visando desenvolver um sistema de baixo custo com conexão à internet, optou-se por utilizar um microcontrolador ESP 32. Devido ao seu pequeno tamanho e baixo consumo de energia, é possível construir sistemas bem compactos, assim não necessitando de local específico para instalá-los.

Como o sistema será implementado em um local pequeno, o método de irrigação escolhido é o sistema por gotejamento, o qual possui um menor consumo de água.

Neste protótipo, serão utilizados dois sensores de umidade de solo em dois pontos afastados, com o intuito de obter a média de umidade do solo, com isso, aumentando a precisão do sistema e diminuindo o desperdício de água.

Para o projeto serão utilizados, além do microcontrolador, sensores de umidade, relé para acionamento da bomba, sensor de nível, painel fotovoltaico, controlador de carga e baterias para armazenamento da energia.

Por ser um sistema que não utilizará da rede elétrica para funcionar, deve-se analisar o consumo de energia de cada item, com o objetivo de projetar um sistema auto suficiente. Na Tabela 4, encontre os itens e seus respectivos consumos.

Tabela 4 - Consumo de energia

Item	Quantidade	Tempo de uso (h)	Consumo de energia (mA)	Consumo diário (mA)
ESP32	1	24	80	1920
Sensor de umidade	2	1	5	5
Relé	1	1	15	15
Sensor de nível	1	24	0	0
Bomba	1	1	350	350
			Consumo Total	2290

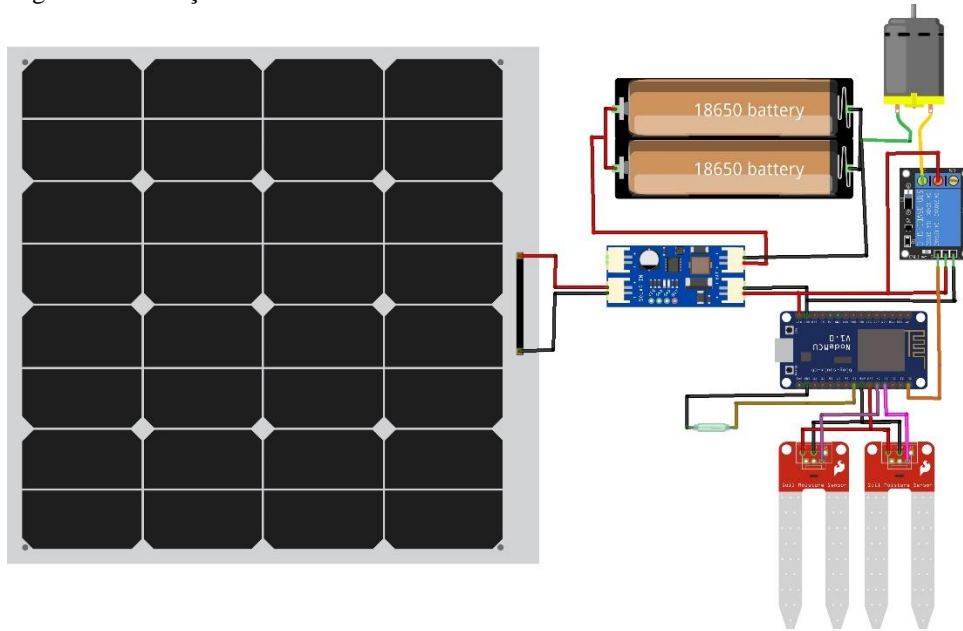
Fonte: O autor (2023)

Observando o consumo total do sistema, será utilizado duas baterias modelo 18650 de 2000mAh, com isso, mesmo se não recarregadas, as baterias ainda possuem uma autonomia de 41 horas.

Considerando uma geração de 6 horas diárias, levando em consideração que o conversor tem uma saída limitada em 500mAh, é possível gerar 3000mA por dia, energia suficiente para recarregar as baterias e manter o sistema em funcionamento.

Para melhor visualização do protótipo do projeto, foi utilizado o software Fritzing®, no qual pode ser visto um esboço na Figura 15.

Figura 15 - Esboço do sistema



Fonte: O autor (2023)

3.2 Simulação computacional

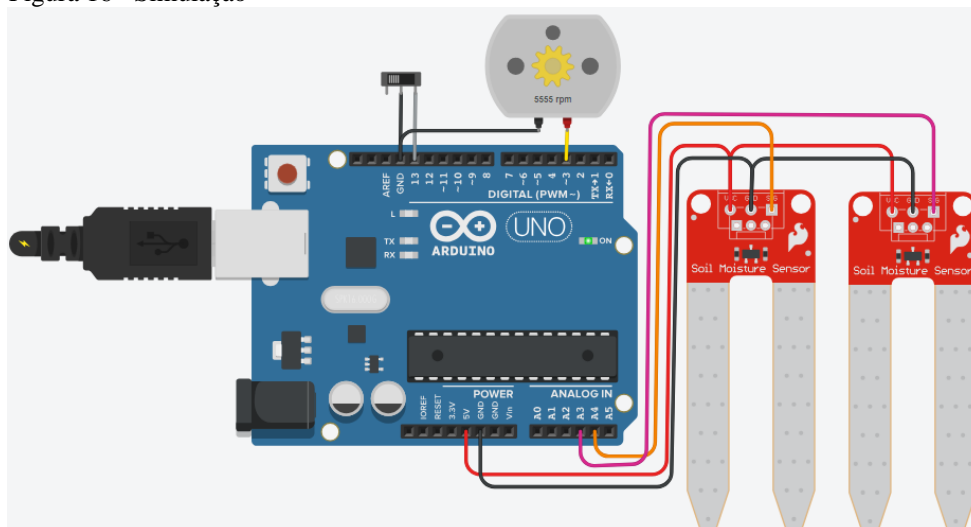
Para projetar o circuito e testar seu funcionamento antes de construí-lo, é necessário simular o sistema para assim verificar possíveis erros e corrigi-los.

Com o intuito de realizar a simulação, foi utilizado o site Tinkercad, da empresa Autodesk®. Apesar de não possuir os mesmos componentes que serão utilizados, foi possível adequar da forma que fique o mais próximo do projetado.

Foi substituído o microcontrolador ESP32 na simulação por um Arduino Uno, mesmo sendo componentes diferentes, utilizam a mesma linguagem de programação e podem operar com os mesmos tipos de sensores.

Por existirem algumas diferenças entre os microcontroladores, os itens que deverão ser alterados para funcionar no ESP32 serão as portas analógicas e digitais. Na Figura 16 pode ser visto como ficou o protótipo da simulação.

Figura 16 - Simulação



Fonte: O autor (2023)

Para o bom funcionamento do sistema, ele deve seguir a seguinte ordem:

- **Passo 1:** Ler o valor do sensor 1 e 2 de umidade, no qual estão conectados respectivamente nas portas analógicas D25 e D26;
- **Passo 2:** Ao receber os dados do sensor, o ESP32 analisa a umidade do solo e faz uma média das mesmas, para ver se deve ou não regar. Caso a umidade estiver abaixo de 40%, é enviado um sinal para a bomba ligar;
- **Passo 3:** Após receber o sinal para ligar a bomba, é lido o valor do sensor de nível que está conectado na porta digital D35, para verificar se tem água no reservatório;
- **Passo 4:** Após verificar os parâmetros, inicia o processo de irrigação e a bomba só desliga quando o solo chegar em 70% de umidade, ou caso não tenha água suficiente no reservatório para finalizar o processo;
- **Passo 5:** Feita a irrigação o sistema volta para o Passo 1, fazendo um monitoramento de 12 em 12 horas.

Com o uso desta simulação, foi possível identificar erros e realizar os ajustes necessários no código, afim de evitar problemas durante a execução do projeto físico.

3.3 Levantamento de custos

Para verificar se é viável construir um disposto, seus custos devem ser analisados. Para fazer o levantamento, analisou-se em 3 fontes diferentes, para assim conseguir uma média de preços. Na Tabela 5, encontrasse descrito os itens necessários e onde foram orçados.

Tabela 5 - Preço componentes

Itens	Aliexpress	UsinaInfo	Saravati
ESP32	R\$ 19,11	R\$ 69,30	R\$ 64,90
Sensor de umidade capacitivo (2 unidades)	R\$ 7,84	R\$ 28,32	R\$ 29,80
Relé	R\$ 3,23	R\$ 10,36	R\$ 7,90
Carregador solar	R\$ 7,20		R\$ 35,90
Placa fotovoltaica	R\$ 66,38	R\$ 82,56	R\$ 69,90
Bomba de irrigação	R\$ 16,15	R\$ 54,06	R\$ 23,49
Sensor de nível	R\$ 8,11	R\$ 28,41	R\$ 33,90
Bateria 18650 2000mAh (2 unidades)	R\$ 68,00		R\$ 47,96
Total	R\$ 196,02	R\$ 273,01	R\$ 313,75

Fonte: O autor (2023)

No orçamento foi levado em consideração os principais componentes que serão utilizados, no entanto, alguns itens orçados não são exatamente do mesmo modelo entre os fornecedores, mas possuem as mesmas configurações, se equivalendo entre si.

Antes de tirar o projeto do papel também é importante analisar o preço dos componentes, que se dispõem a fazer a mesma função do equipamento o qual está sendo projetado.

Fazendo uma breve busca para tentar encontrar algum sistema de rega automática, foi possível encontrar alguns equipamentos, mas nenhum igual ao sistema projetado. Um sistema de irrigação programável, com Wi-Fi e com sensor de chuva, foi encontrado por R\$ 789,00, seu modelo é ESP-TM2 da marca Rain Bird(LOJA PIVOT, 2019). Também foi possível encontrar um que monitora a umidade do solo e possui Wi-Fi, seu modelo é Pro 4S da marca Garden Toy e está na faixa de R\$699,00.

3.4 Montagem do Sistema em protoboard

Após ser realizada a simulação computacional e os resultados atenderem o planejado, foi realizado a montagem do sistema em bancada, no qual foi optado por utilizar componentes o quais podem ser modularizados, para assim baratear o sistema e poder fazer os testes.

Para realizar a montagem do sistema, foram utilizados os seguintes componentes:

- Computador;
- Protoboard;
- ESP 32;
- Relé;
- Carregador solar;

- Placa solar;
- Resistores;
- Sensores de umidade;
- Sensor de nível;
- Transistor;
- Fonte de alimentação 5V;
- Bateria 18650;
- Jumpers para fazer as ligações;
- Multímetro para realizar as medições.

Após o desenvolvimento do código, utilizou-se o software Arduino IDE para fazer a gravação no microcontrolador. Para efetuar a gravação foi feita a conexão do microcontrolador ao computador através da porta USB, e após isso, iniciou-se a montagem do circuito na protoboard.

A alimentação do sistema foi feita inicialmente por uma fonte de 5V 1A para verificar o funcionamento, e em seguida foi removida a alimentação de 5V e energizado com uma bateria 18650.

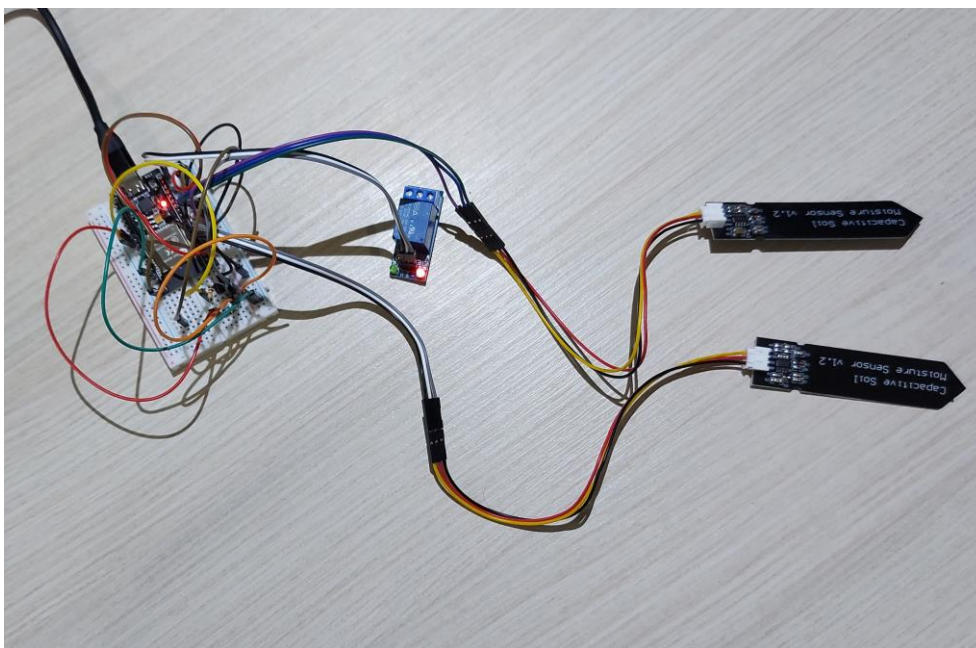
Para utilizar a bateria como fonte de alimentação, foi utilizado a placa do carregador solar, a qual é responsável por fazer o gerenciamento de carga da bateria. Ao energizar o microcontrolador através da placa de carregamento solar, observou que a mesma não libera tensão suficiente para alimentar o ESP 32, o qual precisa de 5V para funcionar.

Devido ao ESP32 não funcionar com a tensão de 3,7V liberada pela bateria, foi necessário utilizar o módulo Step-Up DC/DC, no qual trabalha com uma tensão de entrada de 2V a 24V e uma tensão ajustável de saída de 2,5V a 28V com uma corrente máxima de 2A.

No entanto, somente elevar a tensão da bateria não é o suficiente, pois o microcontrolador precisa trabalhar com 5V estabilizado, com isso foi utilizado um regulador de tensão AMS1117 – 5V, no qual trabalha com uma tensão de entrada de 6,5V a 12V e possui uma corrente máxima de saída de 800mA.

Na Figura 17, é possível visualizar o sistema montado na protoboard com os principais componentes para funcionamento.

Figura 17 - Montagem em protoboard



Fonte: O autor (2023)

3.5 Desenvolvimento do aplicativo

Como o objetivo do sistema é ser conectado à internet e poder ser acessado remotamente, necessita de uma interface para fazer o acesso remoto do mesmo, com esse intuito, foi desenvolvido um aplicativo através da plataforma Arduino Cloud.

A plataforma Arduino Cloud, é um site onde é possível qualquer pessoa criar projetos de IoT, com uma interface amigável e uma solução completa para configuração, escrita de código, upload e visualização.

Devido ao sistema ser do próprio Arduino, isso traz uma certa facilidade ao desenvolver um aplicativo, principalmente ao fazer a parte de comunicação dos dados obtidos pelo ESP 32, com a interface visual do sistema, o qual é possível ver o que está acontecendo em relação aos dados lidos.

Para desenvolver o aplicativo, primeiramente precisa já possuir o código do sistema em funcionamento, para assim poder conseguir definir as variáveis com a qual o sistema irá trabalhar e assim adequá-lo para funcionar com o aplicativo.

O site praticamente é dividido em três campos, no qual é mais usado para desenvolvimento e integração, dentro da aba *Things*, possui duas outras abas, a *Setup* e *Sketch*.

Na aba *Setup*, como pode ser visto na Figura 18, é o campo de configuração das variáveis do sistema, onde é possível escolher o tipo de variável, como por exemplo se é um

valor inteiro ou uma variável booleana. Além disso, é possível definir se essa variável irá somente realizar a leitura do pino, ou também fazer a gravação e armazenamento das informações obtidas através da leitura.

Figura 18 - Aba Setup

The screenshot shows the 'Setup' tab in the Arduino Cloud interface. At the top, there is a navigation bar with 'IOT CLOUD', 'My Cloud', and user profile icons. Below the navigation bar, there are tabs for 'Untitled', 'Setup', 'Sketch', and 'Metadata'. The main content area is divided into two panels: 'Cloud Variables' and 'Associated Device'.

Cloud Variables

Name ↓	Last Value	Last Update
<input type="checkbox"/> media_umidade int media_umidade;	-41	25 Oct 2023 18:42:25
<input type="checkbox"/> nivel_reservatorio bool nivel_reservatorio;	false	25 Oct 2023 18:41:56
<input type="checkbox"/> rele_bomba bool rele_bomba;	false	25 Oct 2023 18:41:56
<input type="checkbox"/> sensor_umidade1 int sensor_umidade1;	-66	25 Oct 2023 18:41:56
<input type="checkbox"/> sensor_umidade2 int sensor_umidade2;	-16	25 Oct 2023 18:42:29
<input type="checkbox"/> tempo int tempo;	10000	25 Oct 2023 18:41:56
<input type="checkbox"/> umidade_maxima int umidade_maxima;	56	25 Oct 2023 18:41:56
<input type="checkbox"/> umidade_minima int umidade_minima;	10	25 Oct 2023 18:41:56
<input type="checkbox"/> valor_bateria int valor_bateria;	337	25 Oct 2023 18:41:56

Associated Device

Irrigacao

ID: 0ae796e2-b877-444a-bb4e-...
 Type: DOIT ESP32 DEVKIT V1
 Status: Offline

Buttons: Change, Detach

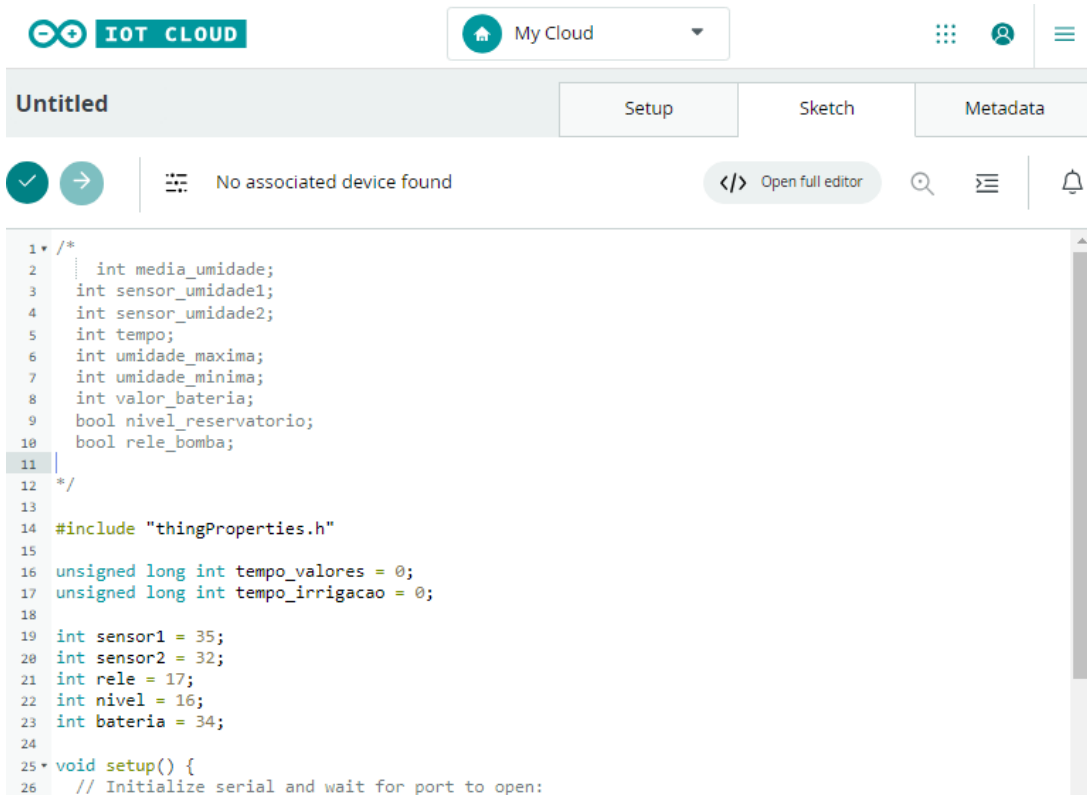
Network

Wi-Fi Name: Wi-Fi_2...
 Password:
 Secret Key:
 Button: Change

Fonte: O autor (2023)

Na aba *Sketch*, como pode ser visto na Figura 19, é onde é desenvolvido o código responsável pelo funcionamento do sistema, e também é feito a gravação da programação no microcontrolador. O código não necessariamente precisa ser desenvolvido na plataforma Arduino Cloud, pode ser feito em qualquer outra plataforma de desenvolvimento, porem após desenvolvido, tem que ser colocado no site para assim poder fazer os ajustes e adequações necessárias.

Figura 19 - Aba Sketch



```

1  /*
2     int media_umidade;
3     int sensor_umidade1;
4     int sensor_umidade2;
5     int tempo;
6     int umidade_maxima;
7     int umidade_minima;
8     int valor_bateria;
9     bool nivel_reservatorio;
10    bool rele_bomba;
11
12    */
13
14    #include "thingProperties.h"
15
16    unsigned long int tempo_valores = 0;
17    unsigned long int tempo_irrigacao = 0;
18
19    int sensor1 = 35;
20    int sensor2 = 32;
21    int rele = 17;
22    int nivel = 16;
23    int bateria = 34;
24
25    void setup() {
26        // Initialize serial and wait for port to open:

```

Fonte: O autor (2023)

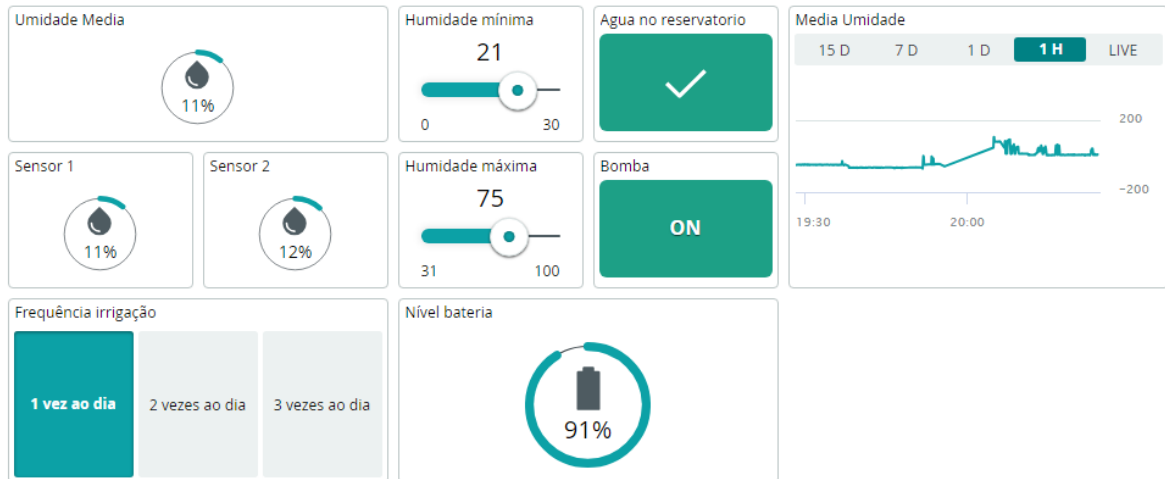
O terceiro campo de desenvolvimento é a *Dashboards*, Figura 20, no qual desenvolve-se o aplicativo, tanto a parte de acesso pelo navegador, como o acesso por celulares. O sistema de desenvolvimento é bem intuitivo, assim facilitando a criação da interface.

Para o desenvolvimento da parte visual do aplicativo, o site conta com alguns *widgets* prontos, o qual basta escolher o modelo que mais se adequa ao sistema e fazer a integração com o código de programação.

Como pode ser visto na *Dashboards*, existe dois ícones para ajustes das faixas de operação de irrigação, a de umidade mínima que vai de 0% a 30% e a faixa máxima, que vai de 31% a 100% de umidade do solo.

Além disso, foi adicionada a opção de escolher a frequência da irrigação, onde pode ser uma, duas ou três vezes ao dia. A medição será realizada de acordo com a frequência escolhida, e a irrigação será feita de acordo com a necessidade identificada pelo sistema. Se escolhida a opção de uma vez ao dia, o sistema irá a cada 24 horas realizar a verificação da umidade do solo, caso opte por duas vezes ao dia, o tempo diminui para a cada 12 horas, e na última opção a medição é feita a cada 8 horas.

Figura 20 - Aba Dashboards



Fonte: O autor (2023)

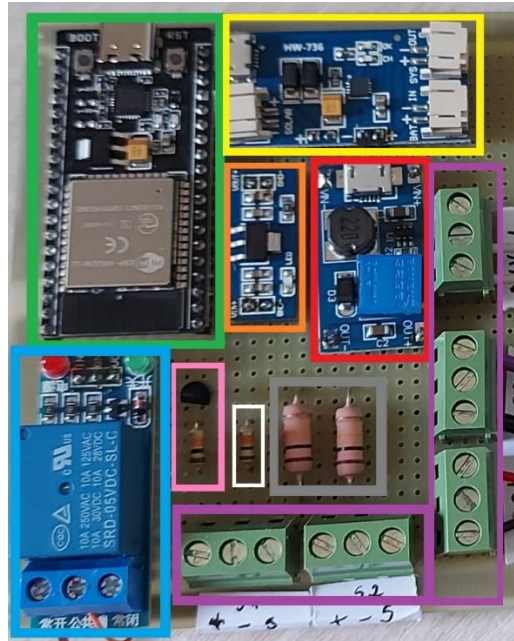
3.6 Montagem do circuito final

Após serem feitos todos os testes em protoboard, e com os resultados positivos no desenvolvimento do sistema, iniciou-se a montagem do sistema em placa de fenolite.

Para uma melhor visualização e compreensão dos componentes do sistema realizou-se a indicação de cada circuito. Na Figura 21, pode-se visualizar que cada circuito apresenta diferente coloração para melhor distinção e compreensão, estão descritos a seguir a coloração com sua respectiva indicação:

- Verde: ESP 32
- Amarelo: carregador solar
- Laranja: regulador de tensão AMS1117
- Vermelho: modulo Step-Up DC/DC
- Azul: relé
- Roxo: bornes de ligação
- Rosa: transistor e resistor para acionamento do relé
- Branco: resistor sensor de nível
- Cinza: resistores para medição da bateria

Figura 21 - Placa com indicação dos circuitos



Fonte: O autor (2023)

Após a montagem do sistema, foi feita a análise de consumo de energia, para assim ter um real valor da autonomia do sistema. Para fazer a medição dos consumos, foi utilizado o osciloscópio da marca Tektronix modelo TBS 1102, e também um alicate amperímetro da marca Minipa modelo ET-3200B. Na Figura 22, pode ser observado a medição de consumo.

Figura 22 - Medição de consumo



Fonte: O autor (2023)

Na lista abaixo, é possível visualizar os valores que foram obtidos com a medição:

- Tensão placa solar a vazio: 10,73V
- Tensão placa solar com carga: 4,70V
- Corrente placa solar: 262mA
- Consumo do sistema: 42,5mA
- Consumo do sistema com a bomba ligada a vazio: 58mA
- Consumo do sistema bombeando água: 81mA

Levando em consideração os valores medidos, é possível fazer uma análise da autonomia do sistema, principalmente em dias sem sol. Considerando a capacidade de armazenamento de energia de 4000mA, obtém-se alguns valores de autonomia calculados, isso considerando que o sistema não esteja carregando, devido há dias com pouca insistência solar:

- Tempo de carga com a bateria zerada: 15 horas
- Autonomia sem usar a irrigação: 94 horas
- Autonomia irrigando uma vez ao dia (uma hora): 49 horas
- Autonomia irrigando duas vezes ao dia (duas horas): 24 horas
- Autonomia irrigando três vezes ao dia (três horas): 16 horas

Após o equipamento montado e pronto para o uso, foram feitas as aferições e calibragem dos sensores, afim de evitar qualquer contratempo após a instalação em campo. A calibragem dos sensores foi feita através do uso do monitor serial do Arduino Cloud, obtendo assim os valores analógicos gerados pelos sensores através de um copo com água, simulando um solo úmido, e com a ajuda de um secador de cabelo foi feito o teste de solo seco.

Após a conclusão dos testes realizados nos sensores, chegou-se aos seguintes valores, considerando as duas variáveis de solo (Tabela 6):

Tabela 6 - Leitura sensores

	Sensor 1	Sensor 2
Solo seco	2900	2950
Solo úmido	1100	1300

Fonte: O autor (2023)

Como pode ser visto, apesar dos sensores serem do mesmo modelo e fabricante, os mesmos geraram um valor diferente de leitura, por isso é importante calibrar os mesmos.

Da mesma forma que foi feita a calibragem dos sensores, também foi feita a leitura dos valores da bateria, para assim conseguir monitorar o nível de carga da mesma. Para obter os valores, foi feito a recarga completa e a descarga completa da bateria, nos quais os valores obtidos podem ser vistos na Tabela 7.

Tabela 7 - Valores bateria

	Bateria carregada	Bateria descarregada
Tensão	4,28V	2,93V
Valor analógico	2410	1700

Fonte: O autor (2023)

3.7 Montagem do Sistema em Campo e Funcionamento

Com todos os testes de funcionamento em bancada concluídos, e visto que foi atendido o objetivo estipulado, chegou a hora de testar o sistema em campo.

Para não deixar os componentes expostos ao tempo, foi optado em montar o equipamento em uma caixa, protegendo assim do clima e de insetos. Como pode ser visto na Figura 23, a caixa abriga a placa com seus componentes e o suporte para as baterias.

Figura 23 - Caixa com os componentes



Fonte: O autor (2023)

Após os componentes serem fixados corretamente, foi feita a fixação da placa solar. O local de instalação da placa teve que ser analisado, para tentar obter a máxima incidência de luz solar possível, para assim ter um melhor aproveitamento, com isso, optou-se por instalar no alto do telhado (Figura 24), para assim não ter interferência de nenhuma sombra.

Figura 24 - Placa solar



Fonte: O autor (2023)

Com o local da placa solar definido, deve-se analisar onde será instalado o reservatório para captação da água da chuva, levando em consideração a forma de captação da água e a distância do local o qual vai ser irrigado.

Por ser um modelo experimental, optou-se por utilizar um reservatório de 60L, devido ao seu pequeno tamanho e baixo custo, o mesmo foi fixado próximo ao cano de saída da calha do telhado, com isso facilitando a adaptação para coleta da água da chuva.

Na Figura 25 pode ser visto como foi instalado o reservatório, fixado na parede, um pouco abaixo do local onde será feita a irrigação do solo. O cano foi inserido de uma forma que capta a água indiretamente, através do escoamento que desce pela parede interna do mesmo. Optou-se por essa forma devido a facilidade da coleta, já que no caso de uma coleta direta na calha, seria necessária a instalação de um cano para funcionar como extravasor do reservatório.

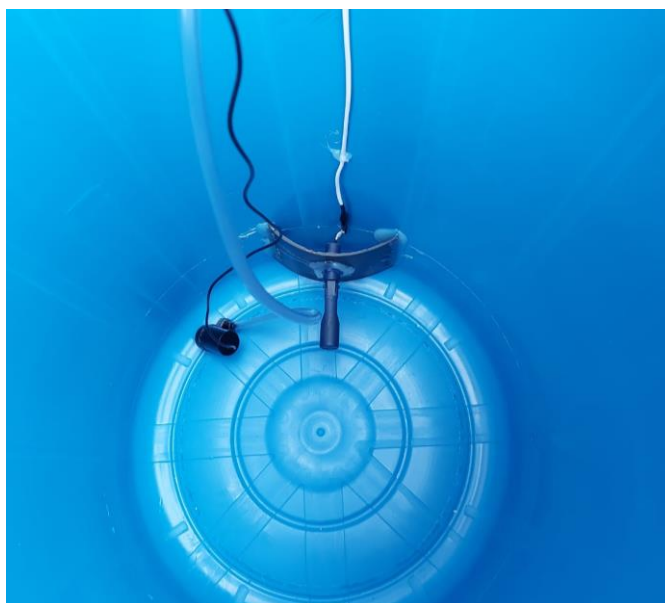
Figura 25 - Reservatório de água



Fonte: O autor (2023)

Na Figura 26 pode ser visto o sensor de nível, o qual impede a bomba ligar na ausência de água e a bomba, a qual é responsável por irrigar o solo.

Figura 26 - Bomba e sensor de nível

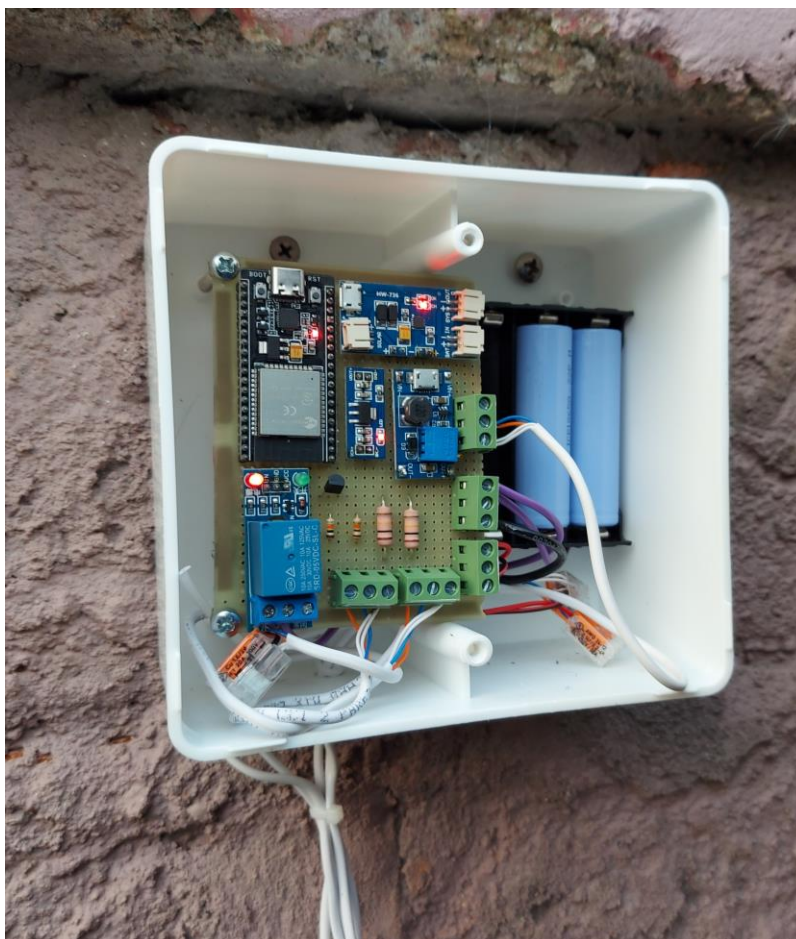


Fonte: O autor (2023)

Com o reservatório instalado, chega à parte final, no qual é instalado a central de controle, os sensores de umidade e a mangueira de irrigação.

A central de controle (Figura 27) foi instalada ao lado do reservatório, e também em um local o qual pega menos chuva diretamente, com isso protegendo o equipamento do excesso de água. Ao analisar o local de instalação, foi preciso fazer testes da qualidade do sinal da rede de Wi-Fi, visto que para o sistema ser utilizado remotamente, precisa estar conectado à internet.

Figura 27 - Central de controle



Fonte: O autor (2023)

Para a validação e teste do sistema, os sensores de irrigação foram instalados em um pequeno jardim, que por estar localizado embaixo da aba do telhado recebe pouca água da chuva. A área total do solo a ser irrigado é de $1,05\text{m}^2$ ($3 \times 0,35\text{m}$), tamanho compatível com o reservatório e bomba escolhida para o teste de funcionamento.

Na Figura 28 pode ser vista a área onde foram instalados os sensores de umidade, bem como o posicionamento de cada um.

Figura 28 - Jardim



Fonte: O autor (2023)

Os sensores de umidade (Figura 29), foram instalados com a proteção de uma capa confeccionada em impressora 3D, com o objetivo de proteger os componentes eletrônicos do sensor, preservando sua funcionalidade e aumentando a vida útil dos equipamentos.

Figura 29 - Sensor de umidade



Fonte: O autor (2023)

4 RESULTADOS

Devido ao grande acumulado de chuva dos últimos meses, e os poucos dias de sol predominante, não foi possível obter muitos dados do pleno funcionamento do equipamento, mas com base nas leituras obtidas é possível se ter uma ideia de como o sistema se comporta.

Como os sensores foram calibrados em bancadas, ao colocá-los no solo foi necessário fazer uma calibragem novamente, pois os mesmos não estavam lendo o valor corretamente, como por exemplo, mesmo o solo estando consideravelmente pouco úmido, um dos sensores estava lendo por volta de 80% de umidade, enquanto o outro estava na faixa de 35% de umidade. Acreditasse que essa variação de valor, devesse a distância dos sensores em relação ao ESP 32 e também devido estar sendo alimentado somente pela bateria.

Com a nova calibragem, os novos valores de referência podem ser vistos na Tabela 8.

Tabela 8 - Valores sensores

	Sensor 1	Sensor 2
Solo seco	2780	2900
Solo úmido	750	820

Fonte: O autor (2023)

Inicialmente os níveis de irrigação estavam com uma faixa de operação, no qual era possível selecionar entre 0% e 30% para umidade mínima, e de 31% a 100% de umidade máxima, mas devido aos meses estarem muito chuvosos, foi aumentado o valor mínimo para iniciar a irrigação, o qual pode ser selecionado até 50% de umidade mínima (Figura 30).

Com esse novo ajuste na umidade mínima, foi possível realizar os testes de irrigação mesmo com poucos dias de sol e muitos de chuva, assim obtendo resultados suficientes para a conclusão do projeto.

Após os ajustes necessários, foi possível obter alguns dados sobre a irrigação. Devido ao sistema de irrigação ser por gotejamento, foi observado que o sistema consome 165ml de água por minuto, totalizando 9,9L por hora.

Em um dos testes, foi selecionado para o sistema ligar a irrigação quando a umidade do solo caísse para 41% e desligasse quando atingisse 73% de umidade. Ao fazer esse teste, foram necessários aproximadamente 27 minutos para chegar ao valor de umidade máxima, o qual foi selecionado, com isso, o sistema consumiu aproximadamente 4,455L de água.

Levando esse valor de consumo em consideração, e fazendo a irrigação uma vez por dia, a autonomia do reservatório estando cheio, vai para 14 dias, isso sem considerar outros fatores.

Figura 30 - Nova faixa de umidade



Fonte: O autor (2023)

Em outro teste, em um dia mais quente, no qual foi escolhido outra faixa de umidade, foi configurado para o sistema ligar a irrigação quando a umidade do solo estivesse em 30% e desligasse com 65%. Nesse teste, levou aproximadamente 37 minutos para atingir os 65% de umidade selecionado.

No sistema é possível visualizar um gráfico da umidade (Figura 31), no qual faz a leitura do solo de minuto em minuto, com isso é possível analisar o comportamento do sistema. Também é possível, em outro gráfico, como se comporta o uso da bateria no sistema.

Figura 31 - Gráfico umidade



Fonte: O autor (2023)

Também foi possível identificar que caso fosse necessário aumentar a vazão da água, não seria possível devido a potência da bomba utilizada, a mesma não teria força suficiente por conta da localização do reservatório, abaixo do nível do local a ser irrigado, o que acaba por aumentar a altura manométrica utilizada pela bomba para levar a água do reservatório até os pontos de irrigação.

Como o sistema tem um funcionamento autônomo, com utilização de energia solar, foi analisado a autonomia do sistema. Em um primeiro teste, foi feito o carregamento das baterias com a utilização de um carregador de baterias, para assim garantir que as mesmas estivessem com 100% de carga, após isso, foi colocado as baterias no sistema e deixado em funcionamento com a opção de irrigar uma vez ao dia, com essa configuração o sistema teve uma autonomia de 73 horas, 3 dias e uma hora.

Após o teste inicial, foi ligado o carregamento por energia solar, com o intuito de carregar as baterias sem o auxílio de carregadores. Devido ao modo que é coletada as informações de carga da bateria, não foi possível analisar quanto tempo demorou para carregar 100%, isso considerando toda a variação climática.

Após alguns dias de pleno funcionamento, devido aos dias de grande acumulado de chuva seguido por muitos outros de céu encoberto, acabou por influenciar no sistema de carregamento, também levando em consideração que a placa solar utilizada não possui uma alta eficiência.

Com os dias de chuva, foi feito um monitoramento diário para conseguir acompanhar como iria se comportar o sistema em relação ao carregamento das baterias. Logo nos primeiros dias, o sistema não teve nada de carregamento, o que fez com que o sistema parasse de funcionar no terceiro dia, o qual permaneceu por mais 2 dias sem funcionar. Conforme surgia um pouco de sol, o sistema religava, porém devido ao pouco tempo de carregamento, o mesmo se desligava assim que diminuía a incidência solar.

Nestes períodos de muita chuva, durante uma semana inteira o sistema não conseguiu permanecer em funcionamento por 24 horas num mesmo dia. Pois, com a baixa incidência de luz solar, as baterias não conseguiram recarregar de forma plena, e nem o suficiente para se manter uma autonomia de 18 horas, que seria suficiente para aguardar o carregamento no dia seguinte.

Analisando com os valores calculados, pode-se perceber que houve uma diferença de autonomia de funcionamento do sistema, o qual durou menos tempo que o previsto.

5 CONCLUSÃO

O trabalho apresentado visou mostrar de forma didática a construção de um equipamento de irrigação automatizada e autossuficiente, utilizando um painel fotovoltaico para que o sistema possa funcionar em locais sem energia elétrica.

Com a ajuda de programas de simulação, e através de um protótipo foi possível verificar o funcionamento do projeto, assim validando a viabilidade de construção física do mesmo. Considerando que os testes iniciais se mostraram favoráveis, foi possível iniciar a criação do equipamento.

Após concluir os estudos na área de irrigação, no qual foi definido o método de irrigação por gotejamento, simulações e orçamentos das peças necessárias para o desenvolvimento do equipamento, foi então que o projeto saiu do papel e finalmente instalado em campo, afim de verificar seu pleno funcionamento.

Neste período de testes, foi possível verificar o consumo de água durante a irrigação e sua autonomia energética, com isso, o sistema se mostrou tão eficiente quanto se esperava, mesmo que tenha ficado alguns dias sem funcionar devido as condições climáticas. Apesar de tantos dias de chuva e céu nublado, o sistema se comportou da forma esperada, conseguindo realizar as regas conforme o programado. Um fator positivo deste grande acumulado de chuva, foi que o reservatório de água conseguiu manter-se sempre cheio, ajudando assim o sistema a efetuar os testes de forma plena.

Ao final dos estudos e testes foi constatado então, que o sistema é de fato funcional e capaz de realizar a irrigação do solo da forma esperada. Podendo no futuro, ser melhorado afim de trazer mais benefícios e um melhor funcionamento do sistema, além de uma maior autonomia para o equipamento.

5.1 Perspectivas futuras

Para um projeto futuro, sugerem-se os seguintes tópicos:

- Utilizar uma placa solar, o qual gere uma corrente de saída maior;
- Aumentar o número de baterias;
- Aumentar o tamanho do reservatório de água;
- Utilizar uma bomba com uma potência um pouco maior;
- Desenvolver uma placa a qual possa ser comercializada.

6 BIBLIOGRAFIA

AEGRO. Irrigação por gotejamento: conheça as vantagens e desvantagens. Porto Alegre, 2022. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/irrigacao-por-gotejamento>. Acesso em: 16 de abril de 2023.

AGROPÓS: Irrigação por Aspersão: Saiba Tudo Sobre esse Assunto. Cajuri, 2017. Disponível em: <https://agropos.com.br/irrigacao-por-aspersao>. Acesso em: 15 de abril de 2023.

AGROSMART. 5 motivos para fazer a aferição do seu pivô central de irrigação. Campinas, 2017. Disponível em: <https://agrosmart.com.br/blog/motivos-afericao-pivo-central-irrigacao>. Acesso em: 15 de abril de 2023.

ALIEXPRESS. Painel solar 6V. China, 2023. Disponível em: https://a.aliexpress.com/_m0MVLq0. Acesso em: 27 de maio de 2023.

BARBOSA, J. W. Sistema De Irrigação Automatizado Utilizando Plataforma Arduino. Assis, 2013.

CARVALHO, E. S. Irrigação inteligente. Matão, 2010.

CARVALHO, M. S. Sensor para Monitoramento de Umidade do Solo Utilizando Energia Solar. Quixadá, 2016.

CASTRO, G. D. Leitura da Umidade do Solo. Santana de Parnaíba, 2021. Disponível em: <https://www.robocore.net/tutoriais/leitura-umidade-solo>. Acesso em: 20 de abril de 2023.

CENÁRIO RURAL. Webinar entre Conab e ANA debate mapeamento do arroz irrigado em nova data. Araguaína, 2020. Disponível em: <https://www.cenariorural.com.br/webinar-entre-conab-e-ana-debate-mapeamento-do-arroz-irrigado-em-nova-data>. Acesso em: 11 de abril de 2023.

CHERLINKA, V. Umidade Do Solo: Nível Ótimo E Controle De Déficit. Mountain View, 2022. Disponível em: <https://eos.com/pt/blog/umidade-do-solo/>. Acesso em: 15 de abril de 2023.

COELHO, E. F. Sistemas e manejo de irrigação de baixo custo para agricultura familiar. Brasília, 2017.

EICOS. Sensor de Nível LA16M-40. Sorocaba, [2021]. Disponível em: <https://www.eicos.com.br/sensor-de-nivel/montagem-lateral/LA16M-40/>. Acessado em: 22 de abril de 2023.

EMBRAPA. Cultivo da Cebola no Nordeste. Petrolina, 2007. Disponível em: http://www.cpatia.embrapa.br:8080/sistema_producao/spcebola/irrigacao.htm. Acesso em: 11 de abril de 2023.

ENGELOGIC. Sensores de Nível. Londrina, 2012.

GARDEN TOY: **Kit de Irrigação 4 Estações Controlador WiFi e Sensor**. São Paulo, [2021]. Disponível em: <https://gardentoy.com.br/produto/kit-irrigacao-4-estacoes-controlador-wifi-e-sensor-de-chuva/>. Acessado em: 05 de junho de 2023.

GUIMARÃES, F. **Sensor de umidade capacitivo para solo**. Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <https://mundoprojetado.com.br/sensor-de-umidade-capacitivo-para-solo/>. Acesso em 20 de abril de 2023.

IRRIGA GLOBAL. **Métodos de Irrigação: sistemas, características e aplicações**. Santa Maria, 2021. Disponível em: <https://irrigaglobal.com.br/metodos-de-irrigacao-sistemas-caracteristicas-e-aplicacoes>. Acesso em: 16 de abril de 2023.

KOLBAN, N. **Kolban's Book on ESP32**. [S.l.], 2017.

LAST MINUTE ENGINEERS. **ESP32 Pinout Reference**. [S.l.], [2020]. Disponível em: <https://lastminuteengineers.com/esp32-pinout-reference/>. Acessado em: 19 de abril de 2023.

LOJA PIVOT. **Controlador para Irrigação ESP-TM2 - Rain Bird**. Goiânia, [2019]. Disponível em: <https://www.lojapivot.com.br/controladorpirrigaoesptm2rainbird/p>. Acessado em: 05 de junho de 2023.

OLIVEIRA, E. **Como usar com Arduino – Módulo Relé 5V 1 Canal**. Conselheiro Lafaiete, 2018. Disponível em: <https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-modulo-rele-5v-1-canal>. Acesso em 27 de abril de 2023.

PENA, R. A. **Fontes renováveis de energia**. Goiânia, 2021. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/fontes-renovaveis-energia.htm>. Acesso em: 02 de maio de 2023.

SANTOS, J. W. **Sistema de automação residencial de baixo custo controlado pelo microcontrolador ESP32 e monitorado via Smartphone**. Ponta Grossa, 2019.

SARAVATI. **Placa Super Mini Carregador Solar Lipo CN3065**. São Paulo, 2023. Disponível em: <https://www.saravati.com.br/placa-super-mini-carregador-solar-lipo-cn3065.html>. Acesso em 02 de maio de 2023.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: Métodos, Sistemas e Aplicações**. Campinas, 2017.

USINAINFO. **Bombinha Submersa de Água para Arduino 5V USB JT160A 1.5L/Min**. Santo Ângelo, 2023. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/bombinha-de-agua-e-ar/bombinha-submersa-de-agua-para-arduino-5v-usb-jt160a-15lmin-5234.html>. Acessado em: 06 de maio de 2023.

USINAINFO. **Sensor de Umidade de Solo Capacitivo 5V para Arduino**. Santo Ângelo, 2023. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-umidade-arduino/sensor-de-umidade-de-solo-capacitivo-5v-para-arduino-jumper-5134.htm>. Acessado em: 01 de maio de 2023.

USINAINFO. **Sensor de Umidade de Solo HL-69 para Arduino**. Santo Ângelo, 2023.
Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-umidade-arduino/sensor-de-umidade-de-solo-hl-69-para-arduino-2311.html>. Acessado em: 01 de maio de 2023.