INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SERTÃO PERNAMBUCANO
COORDENAÇÃO DO CURSO DE SISTEMAS PARA INTERNET
SISTEMAS PARA INTERNET

RAUL GUILHERME DE SOUZA SANTOS

Plataforma Deméter: Sistema de Irrigação de Precisão de baixo custo baseado em Internet das Coisas (IoT)

SALGUEIRO

2023

RAUL GUILHERME DE SOUZA SANTOS

Plataforma Deméter: Sistema de Irrigação de Precisão de baixo custo baseado em Internet das Coisas (IoT)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do curso de Sistemas para Internet do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, campus Salgueiro,como requisito parcial à obtenção do título de tecnólogo em Sistemas para Internet.

Orientador: Marcelo Anderson Batista dos Santos

SALGUEIRO

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S237 Santos, Raul Guilherme de Souza.

Plataforma Deméter : Sistema de Irrigação de Precisão de baixo custo baseado em Internet das Coisas (IoT) / Raul Guilherme de Souza Santos. - Salgueiro, 2023.
30 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Sistemas para Internet) -Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Salgueiro, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Marcelo Anderson Batista dos Santos.

1. Robótica. 2. Irrigação de Precisão. 3. Desenvolvimento de Aplicativo. 4. API Rest. 5. Manufatura Aditiva. I. Título.

CDD 372.358

Gerado automaticamente pelo sistema Geficat, mediante dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Plataforma Deméter: Sistema de Irrigação de Precisão de baixo custo baseado em Internet das Coisas (IoT)

Raul Guilherme de Souza Santos, Marcelo Anderson Batista dos Santos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano (IFSertaoPE) - Campus - Salgueiro - Pernambuco - Brasil

raul.guilherme@aluno.ifsertao-pe.edu.br,
marcelo.santos@ifsertaope.edu.br

Abstract. *The economy and the waste of water represent considerable challenges faced by small farmers, especially in the context of Brazilian agribusiness, which has been obtaining revenue records in exports. Although some technologies have been developed to mitigate water waste, such as precision irrigation, these solutions are still not accessible to family farming, a sector responsible for no less than 70% of food production in Brazil. Considering that family farming is a vital part of Brazil's food system, providing fresh and healthy food to the population, it is possible to look for solutions that can make small farmers enjoy the benefits of precision irrigation. Faced with this reality, the primary objective of this work is to propose and develop a precision irrigation solution that is viable and accessible to family members. As a result of this research, we obtained a functional prototype controlled via an application, with sprinklers created from additive manufacturing..*

Resumo. *A escassez e o desperdício de água representam desafios consideráveis enfrentados pelos pequenos agricultores, especialmente no contexto do agronegócio brasileiro, que vem obtendo recordes de faturamento em exportações. Embora algumas tecnologias tenham sido desenvolvidas para mitigar o desperdício de água, como a irrigação de precisão, essas soluções ainda não são acessíveis para a agricultura familiar, um setor responsável por nada menos que 70% da produção de alimentos no Brasil. Considerando que a agricultura familiar é uma parte vital do sistema alimentar do Brasil, proporcionando alimentos frescos e saudáveis para a população, é imprescindível buscar soluções que permitam aos pequenos agricultores aproveitar os benefícios da irrigação de precisão. Diante dessa realidade, o objetivo primordial deste trabalho é propor e desenvolver uma solução de irrigação de precisão que seja viável e acessível para os agricultores familiares. Como resultado desta pesquisa obtivemos um protótipo funcional controlado via aplicativo, com aspersores criados a partir de manufatura aditiva.*

1. Introdução

O agronegócio brasileiro continua a desempenhar um papel fundamental na economia do país. De acordo com o Ministério da Agricultura e Pecuária, em março deste ano (2023), as exportações alcançaram um marco impressionante ao atingir o recorde de US$16 bilhões. Esse recorde não apenas destaca a capacidade produtiva do Brasil, mas também ressalta a importância do agronegócio para o fornecimento de alimentos tanto para a população interna quanto para o mercado global. Com uma vasta extensão

territorial e um clima favorável para diversas culturas, o país tornou-se um dos maiores produtores e exportadores de commodities[1] agrícolas.

A escassez de água no sertão brasileiro e o desperdício de água são problemas graves que afetam tanto a população quanto o agronegócio. A região do sertão é conhecida por seu clima semiárido e enfrenta desafios significativos em relação ao acesso à água potável e à disponibilidade hídrica para atividades agrícolas.

Além disso, o agronegócio também contribui para o consumo hídrico na região, especialmente nas atividades de irrigação. O uso intensivo de água na agricultura pode agravar a escassez hídrica, uma vez que grandes volumes de água são retirados dos rios, açudes e lençóis freáticos para atender às demandas da produção agrícola. O desperdício, seja por técnicas inadequadas de irrigação, vazamentos ou falta de manejo adequado dos recursos hídricos, também exerce pressão adicional sobre a disponibilidade de água na região.

Hoje em dia, existem diversas soluções, como a Agrosmart e a Valley que se propõe a resolver esse problema do uso inadequado da água por parte da agricultura, porém as soluções disponíveis no mercado não são acessíveis para a agricultura familiar.

A Plataforma Deméter foi concebida com o propósito de mitigar a escassez de água no Sertão brasileiro. Seu objetivo é fornecer uma solução acessível aos pequenos agricultores, utilizando tecnologias como Internet das Coisas (IoT), energias renováveis e manufatura aditiva para irrigação de precisão. Através da aplicação dessas tecnologias inovadoras, a Plataforma Deméter visa oferecer aos pequenos agricultores uma ferramenta inovadora que permita o uso eficiente e responsável da água na agricultura.

Essa iniciativa torna-se ainda mais relevante considerando a importância do setor agrícola familiar para a economia do país, uma vez que, de acordo com o Censo Agropecuário do IBGE de 2017, a agricultura familiar é responsável por 70% dos alimentos produzidos e consumidos no Brasil.

Através do desenvolvimento deste projeto, foi possível implementar um protótipo que permite o controle remoto do processo de irrigação. Um aplicativo foi desenvolvido para esse fim, e os aspersores utilizados na irrigação foram produzidos por meio de manufatura aditiva, mais especificamente, por impressão 3D. Além disso, o aplicativo também possibilita o monitoramento das condições de temperatura e umidade do ar. Vale ressaltar que o protótipo da plataforma Deméter opera com baterias recarregáveis por energia solar.

2. Revisão da Literatura

2.1.1 Fundamentação Teórica

A irrigação é uma etapa crucial no processo produtivo agrícola. A aplicação adequada de água é fundamental para o desenvolvimento e crescimento das plantas, e é importante que seja realizada de forma eficiente e precisa. Com o uso de tecnologias modernas,

[1] São mercadorias primárias de origem agrícola, pecuária, mineral e ambiental que fornecem matérias-primas importantes para a produção industrial global.

como a IoT, é possível implementar um sistema de irrigação de precisão, que permita a aplicação de água de acordo com as necessidades específicas de cada cultura.

A utilização da IoT na agricultura tem se mostrado uma tendência crescente nos últimos anos. De acordo com um relatório do BNDES em parceria com o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) o impacto da IoT na economia será de 4% a 11% do PIB global. No Brasil, a estimativa é que essa tecnologia tenha um impacto de 50 a 200 bilhões de dólares anualmente até 2025 (BNDES, 2017). É possível utilizar a Internet das Coisas para diversas finalidades, tais como a detecção e monitoramento da produção, a análise do desenvolvimento de culturas, o controle de desempenho zootécnico animal, a avaliação do processamento de alimentos, a previsão de variáveis meteorológicas, o controle de pragas, entre outras funcionalidades (Bertollo *et al.*, 2022).

El-Naggar *et al.* (2020), em um experimento na Nova Zelândia com plantações de feijão e ervilha observaram uma diferença no volume de água aplicado no início das operações de irrigação, resultando em economia entre 27–44% do volume de água usado em áreas manejadas com sensores de umidade do solo.

Diante disso, é possível concluir que a implementação de um sistema de irrigação de precisão baseado em IoT pode trazer diversos benefícios para a agricultura brasileira, contribuindo para a produção de alimentos de forma mais eficiente e sustentável. A pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias nessa área são fundamentais para o avanço da agricultura e a redução do consumo de água.

2.1.2. Agricultura Familiar

A agricultura familiar é um modelo de produção agrícola que tem como característica principal a gestão familiar da propriedade, com envolvimento direto dos membros da família nas atividades produtivas. Este tipo de agricultura é fundamental para o desenvolvimento sustentável de uma região, pois contribui para a manutenção da biodiversidade, a preservação dos recursos naturais e a promoção da segurança alimentar da população.

A agricultura familiar é um tema de grande relevância e discussão no contexto agrícola. Segundo o artigo de Schneider (2021), publicado na revista "Revista Brasileira de Ciências Sociais", a agricultura familiar é caracterizada pela produção agrícola desenvolvida por famílias em pequenas propriedades. Essas unidades de produção têm como característica fundamental o envolvimento direto dos membros da família em todas as etapas do processo produtivo. Este tipo de agricultura é fundamental para o desenvolvimento sustentável de uma região, pois contribui para a manutenção da biodiversidade, a preservação dos recursos naturais e a promoção da segurança alimentar da população.

Altafin (2007) também aborda a agricultura familiar em seu artigo intitulado "Reflexões sobre o conceito de agricultura familiar". Nesse texto, a autora destaca a importância de compreender a agricultura familiar não apenas sob uma perspectiva

estritamente econômica, mas também considerando suas dimensões sociais, culturais e ambientais. Altafin ressalta que a agricultura familiar é uma forma de organização da produção agrícola que possui especificidades e peculiaridades, devendo ser reconhecida e valorizada em suas particularidades.

Esses estudos destacam a importância da agricultura familiar como uma estratégia de desenvolvimento rural sustentável. Segundo Schneider (2021), esse tipo de agricultura desempenha um papel crucial na produção de alimentos, na conservação dos recursos naturais e na preservação da biodiversidade. Além disso, a agricultura familiar contribui para a promoção da segurança alimentar e nutricional, bem como para a geração de emprego e renda nas comunidades rurais.

No entanto, os artigos também mencionam os desafios enfrentados pela agricultura familiar. Altafin (2007) destaca a necessidade de políticas públicas adequadas que considerem as demandas específicas desse setor, como o acesso a crédito, assistência técnica, infraestrutura e mercados. Schneider (2021) ressalta a importância do fortalecimento das organizações de agricultores familiares, da capacitação e da promoção de práticas agrícolas sustentáveis para superar esses desafios.

2.1.3. Internet das Coisas e a Nuvem

O conceito de Internet das Coisas, ou Internet of Things (IoT), foi introduzido inicialmente por Kevin Ashton do MIT em uma apresentação para uma grande companhia em 1999, o termo se tornou popular a partir de 2008 quando o termo IoT passou a ser amplamente utilizado no Twitter (ELDER, 2019).

De acordo com Čolaković, A. e Hadžialić M. (2018) a IoT é baseada na integração de vários processos, como identificação, sensoriamento, redes e computação, permitindo inovações tecnológicas em larga escala e serviços de valor agregado que personalizam a interação dos usuários com diferentes dispositivos inteligentes. As aplicações da IoT abrangem diversos setores, incluindo saúde, tráfego, logística, varejo, agricultura, cidades inteligentes, medição inteligente, monitoramento remoto e automação de processos.

A IoT tem o potencial de revolucionar diversos setores, desde residências inteligentes até indústrias, cidades e saúde. Por exemplo, em uma residência inteligente, é possível controlar e monitorar remotamente os dispositivos domésticos, como iluminação, eletrodomésticos e sistemas de segurança, por meio de smartphones ou assistentes virtuais.

A computação em nuvem, por sua vez, é um modelo de entrega de serviços de computação por meio da Internet. Em vez de executar aplicativos ou armazenar dados localmente em um computador pessoal ou servidor, a computação em nuvem permite que essas tarefas sejam realizadas em servidores remotos, acessados pela Internet. Segundo Flávio *et al.,* (2010) a proposta inicial do modelo de computação em nuvem era oferecer serviços de forma acessível, com custos reduzidos e garantias de alta disponibilidade e escalabilidade.

Na computação em nuvem, os recursos computacionais são disponibilizados como serviços, permitindo que os usuários os acessem sem a necessidade de conhecimento técnico sobre a infraestrutura subjacente. Consequentemente, tanto usuários quanto empresas podem acessar esses serviços sob demanda, independentemente de sua localização geográfica (Flávio *et al.,* 2010). Isso significa que os dispositivos IoT podem enviar e receber dados da nuvem, onde podem ser armazenados, processados e analisados de forma eficiente. A computação em nuvem permite que a IoT aproveite recursos poderosos, para assim obter insights valiosos e tomar decisões automatizadas.

A combinação entre IoT e computação em nuvem permite que uma grande quantidade de dados de vários dispositivos sejam coletadas e processadas para obter informações valiosas em tempo real. Além disso, a nuvem oferece recursos de segurança e escalabilidade necessários para lidar com o crescimento contínuo do número de dispositivos IoT e a enorme quantidade de dados gerados por eles.

2.1.4. Trabalhos Relacionados

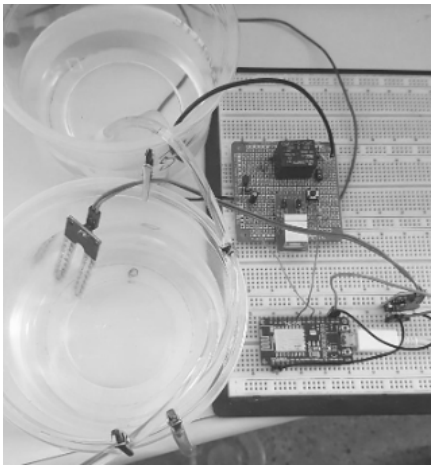
No Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado do Ceará (IFCE) Gonçalves (2018) desenvolveu um sistema baseado no princípio da Internet das Coisas que permite o monitoramento e controle automático da irrigação. O sistema utiliza um microcontrolador NodeMCU, um sensor de umidade do solo e uma bomba d'água para realizar a irrigação.

O sensor de umidade do solo utilizado é conectado ao NodeMCU e fornece dados sobre a umidade do solo. Esses dados são utilizados para determinar quando a irrigação deve ser realizada. O sistema permite configurar o tempo de irrigação, bem como os limites mínimo e máximo de umidade do solo por meio de uma página em PHP. Além disso, é possível monitorar em tempo real a variação da umidade do solo por meio de um gráfico na página web.

Quando a umidade do solo fica abaixo do limite mínimo configurado, o NodeMCU aciona a bomba d'água para irrigar o solo. A bomba é desligada quando a umidade do solo atinge o limite máximo configurado. Os dados de umidade do solo são enviados para uma API (Interface de Programação de Aplicativo), que os armazena em um banco de dados para posterior consulta.

O sistema apresentado no artigo é de baixo custo, utilizando componentes acessíveis, como o NodeMCU e a bomba d'água submersa. Ele oferece uma solução simples e eficiente para automatizar a irrigação, garantindo que as plantas recebam a quantidade adequada de água, a figura 1 ilustra esse sistema. O diferencial deste projeto em relação ao desenvolvido por Gonçalves é que essa pesquisa consiste em criar um sistema de irrigação de precisão usando manufatura aditiva para produzir diferentes tipos de aspersores, adequados a diferentes culturas. Além disso, o sistema permite acessar os dados por meio de um aplicativo e utiliza energia sustentável.

Figura 1. Circuito completo de Sistema de Irrigação



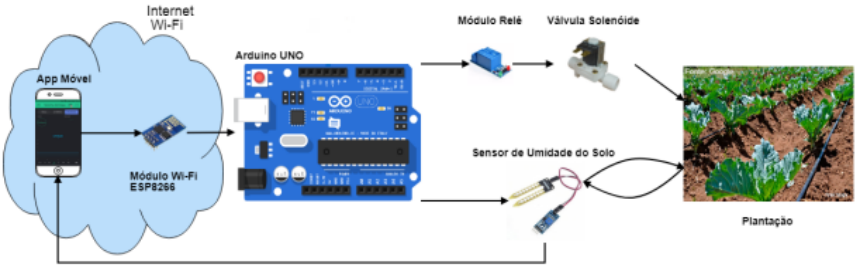
Fonte: Goncalves *et al.,* (2018)

Em um trabalho de conclusão da Universidade Estadual do Maranhão, curso de Engenharia da Computação de autoria de Albuquerque (2019) aborda a utilização da irrigação na agricultura, especialmente na agricultura familiar, que desempenha um papel importante no setor agrícola brasileiro. O constante crescimento da população mundial tem aumentado a demanda por produção agrícola, o que resulta em um alto consumo de água nesse setor.

Com o objetivo de aumentar a eficiência e evitar o desperdício de água, o projeto propõe a aplicação da tecnologia para automatizar e facilitar o trabalho dos agricultores familiares, por meio da criação de um sistema de irrigação inteligente de baixo custo. Esse sistema utiliza a IoT e a placa de prototipagem Arduino UNO como base. Sua arquitetura e o protótipo do sistema podem ser observados respectivamente nas figuras 2 e 3. Os usuários podem controlar a irrigação de suas plantações e receber informações sobre a umidade do solo por meio de um aplicativo desenvolvido a partir da plataforma Blynk.

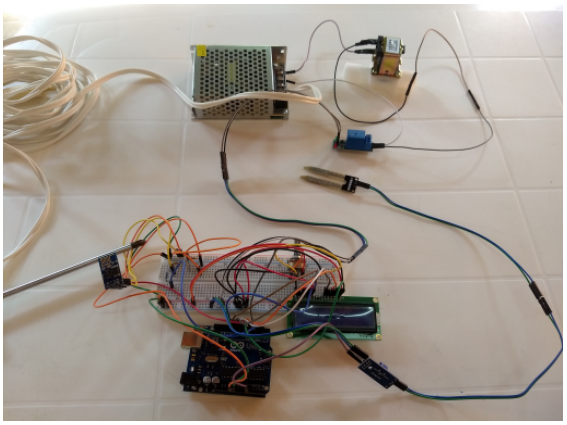
O projeto desenvolvido por Albuquerque também não faz uso de aspersores para realizar o processo de irrigação ou energia sustentável, assim como o projeto citado anteriormente, desenvolvido por Gonçalves. No entanto, a principal distinção é encontrada no aplicativo utilizado. O aplicativo utilizado no projeto de Albuquerque foi desenvolvido utilizando a plataforma Blynk, que, embora seja uma plataforma adequada para projetos de IoT, pode ter limitações de escalabilidade devido às opções limitadas de funcionalidades disponíveis na plataforma.

Figura 2. Arquitetura do Sistema



Fonte: Albuquerque (2019)

Figura 3. Protótipo do Sistema de irrigação



Fonte: Albuquerque (2019)

Em um trabalho de conclusão da UFPE, pelo curso de Engenharia Mecânica, foi apresentado um sistema de monitoramento e controle de irrigação de baixo custo para a agricultura familiar, utilizando o microcontrolador Arduino MEGA, tendo como autor Marinho (2019).

O objetivo principal era permitir que os agricultores monitorem e controlem a irrigação de suas culturas de forma mais eficiente e precisa. O sistema utiliza sensores de umidade do solo para coletar dados sobre as condições do solo e, com base nesses dados, controla automaticamente o fluxo de água para a irrigação. Além disso, o sistema incorpora um módulo de comunicação sem fio que permite aos agricultores receberem informações em tempo real sobre o estado da irrigação e ajustarem as configurações remotamente.

O desenvolvimento do sistema foi realizado utilizando o microcontrolador Arduino MEGA, que oferece recursos adequados para o controle e processamento dos dados do sensor. Foram implementados algoritmos e circuitos eletrônicos para aquisição de dados, controle do fluxo de água e comunicação com o módulo sem fio. As informações sobre a irrigação e medições são enviadas para o celular do usuário via conexão Bluetooth. As figuras 4 e 5 ilustram o circuito esquemático e a arquitetura do

sistema. O sistema foi testado em um ambiente de campo e os resultados demonstraram sua eficácia na monitoração e controle da irrigação.

Assim como os projetos mencionados anteriormente, este não utiliza de manufatura aditiva para produzir aspersores ou energias sustentáveis mas o principal diferencial é a ausência de um aplicativo, no caso desse projeto já que a comunicação é realizada através de Bluetooth, é necessário que o dispositivo esteja próximo do sistema de irrigação para receber as informações.

Figura 4. Circuito esquemático

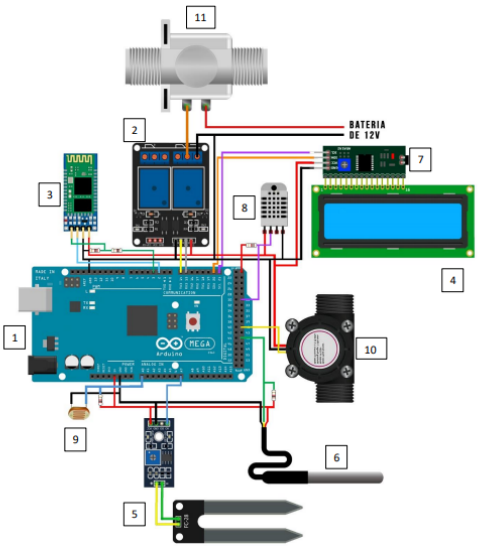
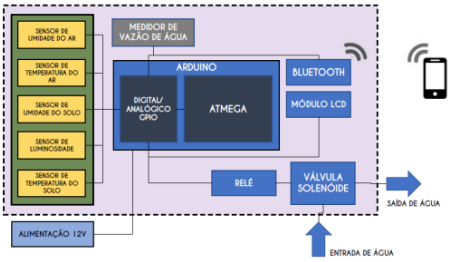


Figura 5. Arquitetura do Sistema



Fonte: Marinho (2019)

3. Soluções de Irrigação de Precisão já disponíveis no Mercado

Em busca de uma produção mais sustentável, eficiente e rentável, muitos produtores rurais acabam recorrendo à tecnologia para otimizar processos. Dentre esses processos, a irrigação acaba sendo um dos principais problemas enfrentados. A agricultura é sensível às mudanças climáticas, afetando a produção de várias maneiras, como eventos extremos, alterações na temperatura e na ocorrência de pragas, o aumento da temperatura e mudanças na chuva podem resultar em perdas nas safras de grãos e impactar a segurança alimentar do Brasil (Agrosmart, 2016). Por ser um setor que historicamente sempre desperdiçou água, a irrigação de precisão surge como uma técnica avançada da agricultura moderna para fornecer água de forma precisa.

Essa abordagem mais precisa traz vários benefícios significativos: primeiramente, a irrigação de precisão promove uma utilização mais eficiente dos recursos hídricos, reduzindo o desperdício de água. A água é aplicada somente onde é necessária, evitando o escoamento superficial, o que também ajuda a prevenir a erosão

do solo (Coelho *et al.,* 2005). Além disso, essa técnica permite economizar energia, pois o sistema de irrigação pode ser programado para funcionar em momentos específicos e em quantidades adequadas, reduzindo o consumo de eletricidade ou combustível necessário para bombear a água.

Outro benefício importante da irrigação de precisão é o aumento da produtividade agrícola. Ao fornecer água e nutrientes diretamente às raízes das plantas na quantidade adequada, os agricultores podem otimizar o crescimento e o desenvolvimento das culturas. Isso resulta em melhores rendimentos, plantas mais saudáveis e maior qualidade dos produtos agrícolas. Além disso, a irrigação de precisão também permite o controle mais preciso de doenças e pragas, já que a umidade do solo pode ser ajustada para evitar condições favoráveis ao seu desenvolvimento.

No mercado brasileiro, existem várias opções de soluções de irrigação de precisão disponíveis. Algumas empresas nacionais e internacionais oferecem essas tecnologias e equipamentos. Aqui estão algumas das opções disponíveis:

3.1 Agrosmart

A Agrosmart[2] é uma empresa brasileira especializada em soluções agrícolas inteligentes. Ela oferece um sistema de irrigação de precisão baseado em tecnologias de sensoriamento, dados meteorológicos e algoritmos avançados. A empresa utiliza sensores no campo para coletar dados em tempo real, como umidade do solo, temperatura, pluviosidade e outras variáveis relevantes. Esses sensores enviam os dados para uma plataforma online, onde os agricultores podem acessar informações precisas sobre as condições do solo e as necessidades hídricas das plantas. Com base nesses dados, o software da Agrosmart fornece recomendações personalizadas de irrigação, permitindo uma distribuição precisa de água nas áreas cultivadas.

3.2 Valley

A Valley[3] é uma empresa americana líder no setor de irrigação. Ela oferece sistemas de irrigação por pivô central[4], que são amplamente utilizados em diferentes culturas agrícolas. A Valley utiliza sensores de solo para monitorar a umidade e a salinidade do solo, além de sensores meteorológicos para capturar dados climáticos relevantes. Com base nesses dados, os sistemas da Valley ajustam automaticamente o padrão de irrigação, garantindo que as plantas recebam a quantidade certa de água. Além disso, a Valley também oferece um software de gestão de irrigação, que permite aos agricultores programar e controlar remotamente os sistemas de irrigação, bem como acessar informações sobre as condições do solo e as taxas de aplicação de água.

3.3 Netafim

---

[2] www.agrosmart.com.br

[3] www.valleyirrigation.com.br

[4] sistema de irrigação no qual uma linha lateral suspensa por torres de sustentação dotadas de rodas e motores gira em torno de um ponto central, que é chamado de pivô.

A Netafim[5] é uma empresa israelense especializada em soluções de irrigação por gotejamento. Seus sistemas são projetados para fornecer água diretamente às raízes das plantas, minimizando perdas por evaporação e oferecendo uma irrigação precisa e eficiente. A Netafim utiliza diferentes métodos de sensoriamento para monitorar as condições do solo, incluindo sensores de umidade do solo e sensores de sucção. Esses sensores fornecem informações detalhadas sobre as necessidades hídricas das plantas em tempo real. A empresa também oferece um software de gestão de irrigação que integra dados de sensores com informações meteorológicas, permitindo que os agricultores controlem a irrigação de forma precisa e otimizada.

Tabela 1: Comparativo entre soluções de irrigação

Solução	**Tipo de Irrigação**	**Software**
Agrosmart	Aspersão, Gotejamento	Aplicativo, Plataforma Web
Valley	Pivô Central, Linear, Por setor	Aplicativo, Plataforma Web
Netafim	Gotejamento	Aplicativo, Plataforma Web

Fonte: Autoral

É importante considerar o tamanho da propriedade agrícola ao escolher uma solução de irrigação de precisão. Enquanto a Agrosmart oferece uma solução escalável e adaptável, a Valley e a Netafim possuem sistemas específicos, como pivôs centrais e gotejamento, respectivamente, que são mais adequados para propriedades agrícolas de médio e grande porte. É importante notar que o investimento inicial varia dependendo de vários fatores, incluindo o tamanho da propriedade, a complexidade do sistema, a tecnologia utilizada e os requisitos específicos de cada propriedade agrícola.

4. A Solução de Baixo Custo

No cenário atual, a agricultura tem sido fortemente impactada pela revolução tecnológica conhecida como Agricultura 4.0, esse conceito tem origem a partir do termo Indústria 4.0, um movimento que teve início a partir de um projeto de modernização iniciado na Alemanha em 2011, onde foram estabelecidos ações para promover a informatização dos processos de manufatura, onde passou a ser utilizado tecnologias como IoT e Machine Learning[6] na produção (FORBES, 2022).

[5] /www.netafim.com.br

[6] Uma área da Inteligência Artificial (IA) que tem como objetivo imitar como os humanos aprendem, melhorando gradualmente sua precisão.

Esse novo paradigma, impulsionado por avanços na área da eletrônica, tem transformado a maneira como a agricultura é planejada, executada e gerenciada. A aplicação de conceitos eletrônicos básicos no contexto agrícola tem desempenhado um papel fundamental nessa revolução, capacitando os agricultores a obterem maior eficiência, precisão e sustentabilidade em suas atividades.

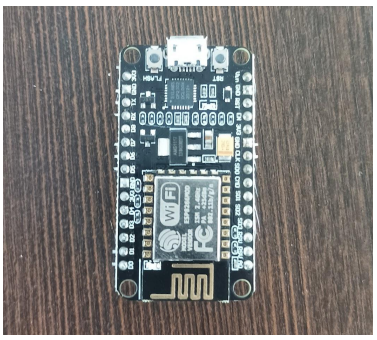
Neste tópico, exploraremos os conceitos básicos dos componentes eletrônicos que compõem a solução desenvolvida para a Plataforma Deméter.

4.1.1. NodeMCU ESP8266

O NodeMCU ESP8266 (figura 6) tem se destacado como uma plataforma popular e acessível para o desenvolvimento de projetos de IoT. Com sua combinação única de recursos, o NodeMCU ESP8266 oferece uma experiência de programação simplificada e versátil, atendendo às necessidades tanto de iniciantes quanto de desenvolvedores experientes.

O NodeMCU ESP8266 possui compatibilidade com a plataforma Arduino. Com isso, os desenvolvedores podem aproveitar as extensas bibliotecas e recursos disponíveis para o Arduino. O principal diferencial do NodeMCU ESP8266 é sua conectividade Wi-Fi, permitindo a comunicação sem fio com outros dispositivos e o acesso à Internet. Essa capacidade é fundamental para projetos de IoT, nos quais a troca de dados e a interação com serviços em nuvem são essenciais. Além disso, o NodeMCU ESP8266 possui pinos de entrada/saída (GPIOs), possibilitando a conexão e o controle de diversos dispositivos externos, como sensores e atuadores.

Figura 6: NodeMCU Esp8266



Fonte: Imagem autoral

4.1.2. Sensor de Fluxo de Água

O sensor de fluxo de água (figura 7) é um dispositivo eletrônico projetado para medir a taxa de fluxo de água em um sistema. Ele desempenha um papel importante em diversas aplicações, como monitoramento e controle de consumo de água, controle de irrigação, sistemas de aquecimento/refrigeração, entre outros.

O sensor de fluxo de água é instalado diretamente no cano para medir a quantidade de água que passa por ele. Esse dispositivo é capaz de enviar pulsos PWM (Modulação por Largura de Pulso) para um microcontrolador permitindo a medição precisa da vazão de água. A estrutura do sensor é composta por uma válvula em formato de catavento, que possui um imã acoplado. Em conjunto com um sensor de efeito Hall, esse imã gera um sinal PWM proporcional ao fluxo de água. À medida que a água flui pelo cano, a válvula em forma de catavento gira, acionando o imã. O sensor de efeito Hall detecta essa rotação e converte-a em pulsos elétricos PWM, que são enviados ao Arduino ou Raspberry Pi para processamento e análise (MAKERHERO, 2023).

Figura 7: Sensor de Fluxo de água

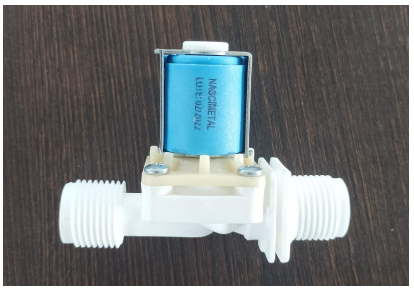
Fonte: Imagem autoral

4.1.3. Válvula Solenoide

A válvula solenóide é um componente responsável pelo controle de passagem da água, ela consiste em uma bobina e um núcleo móvel que atuam em conjunto para abrir ou fechar, essa válvula pode ser encontrada tanto no modelo normalmente fechada quanto normalmente aberta.

A válvula solenóide permanece em seu estado normal até que uma corrente elétrica seja aplicada a bobina, mudando o estado da válvula, o que irá liberar ou impedir a passagem de líquido, a depender do tipo de válvula.

Figura 8: Válvula Solenoide

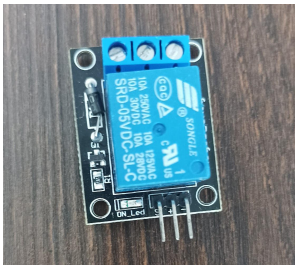


Fonte: Imagem autoral

4.1.4. Módulo Relé

O módulo relé é um dispositivo eletrônico utilizado para controlar circuitos de alta potência através de circuitos de baixa potência. Ele é comumente utilizado em projetos de automação e controle, permitindo que microcontroladores, como Arduino, Raspberry Pie NodeMCU Esp8266, ativem ou desativem dispositivos de maior potência, como válvulas solenóide, motores, lâmpadas, eletrodomésticos, entre outros.

Figura 9: Módulo Relé

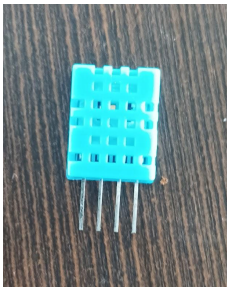


Fonte: Imagem autoral

4.1.5. Sensor DHT11

O sensor DHT11 é um sensor de temperatura e umidade, ele mede a temperatura ambiente e a umidade relativa do ar com base nas variações na resistência de um elemento sensível à umidade presente em seu interior.

Figura 10: Sensor DHT11



Fonte: Imagem autoral

4.1.6. Baterias de Lítio

A bateria de lítio é uma bateria recarregável que utiliza compostos de lítio como um dos eletrodos. O lítio é utilizado em baterias porque é leve e o elemento metálico mais eletropositivo, o que permite que a bateria armazene uma grande quantidade de energia em pequena quantidade de massa, tornando-as ideais para dispositivos portáteis que exigem longa duração da bateria. Além disso, as baterias de lítio têm uma baixa taxa de autodescarga, o que significa que elas mantêm sua carga por períodos prolongados de inatividade.

Outra vantagem das baterias de lítio é sua vida útil prolongada. Elas geralmente têm um número maior de ciclos de carga e descarga em comparação com outras tecnologias de bateria, o que significa que podem ser recarregadas e usadas repetidamente antes de precisarem ser substituídas.

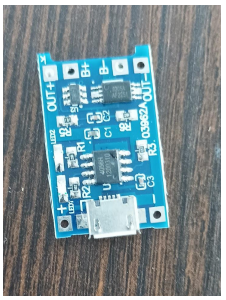
Figura 11: Baterias de Lítio

Fonte: Imagem autoral

4.1.7. Módulo Carregador de Bateria de Lítio

O módulo carregador de bateria de lítio é um dispositivo eletrônico projetado para carregar baterias de lítio de forma segura e eficiente. Ele é amplamente utilizado em uma variedade de aplicações, como dispositivos portáteis, sistemas de energia solar, veículos elétricos e outros sistemas que dependem de baterias recarregáveis de lítio.

Figura 12: Módulo Carregador de Bateria de Lítio

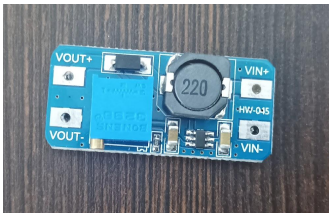


Fonte: Imagem autoral

4.1.8. Conversor Boost

Um conversor boost, também conhecido como elevador de tensão, é um tipo específico de conversor de energia utilizado para aumentar a tensão de entrada para um valor mais alto na saída. Ele é usado quando é necessário fornecer uma tensão maior do que a disponível inicialmente. O objetivo principal de um conversor boost é elevar a tensão para atender aos requisitos específicos de um componente ou sistema.

Figura 13: Conversor Boost



Fonte: Imagem autoral

4.1.9. Placa Solar

De acordo com Vieira (2021) as energias renováveis surgem como alternativas para viver de forma sustentável, substituindo as energias não renováveis. Elas promovem o crescimento econômico ao mesmo tempo em que contribuem para o desenvolvimento social e a preservação do meio ambiente. Vieira (2021) ainda comenta que dentre as energias renováveis, a energia solar é a segunda mais rápida a produzir eletricidade, ficando atrás apenas da energia eólica.

Uma placa solar, também conhecida como painel solar ou módulo fotovoltaico, é um dispositivo utilizado para converter a energia da luz solar em energia elétrica utilizável. Ela é composta por células fotovoltaicas que são capazes de gerar uma corrente elétrica quando expostas à luz solar. Elas podem ser integradas a sistemas de armazenamento de energia, como baterias, para fornecer energia durante períodos sem luz solar ou recarregar as baterias. Além disso, as placas solares são de baixa manutenção e têm uma vida útil longa, o que as torna uma opção atraente para a geração de eletricidade sustentável.

Figura 14: Placa Solar

Fonte: Imagem autoral

5. Plataforma Deméter

A Plataforma Deméter é um sistema de irrigação de precisão baseado em Internet das Coisas. A plataforma recebeu seu nome em homenagem a Deméter, a deusa grega da agricultura, fertilidade e colheita. O principal objetivo da plataforma é fornecer um

produto de baixo custo e acessível para os agricultores. O sistema foi planejado para funcionar de forma automatizada, utilizando dados coletados para tomar decisões e realizar a irrigação de forma precisa, evitando desperdício de água.

Além disso, a Plataforma Deméter possui um aplicativo que permite ao usuário monitorar todo o processo de irrigação e acompanhar a fase de crescimento de suas culturas. Isso proporciona aos agricultores um maior controle e conhecimento sobre o estado das suas plantações, permitindo uma gestão mais eficiente e melhorando o rendimento da produção.

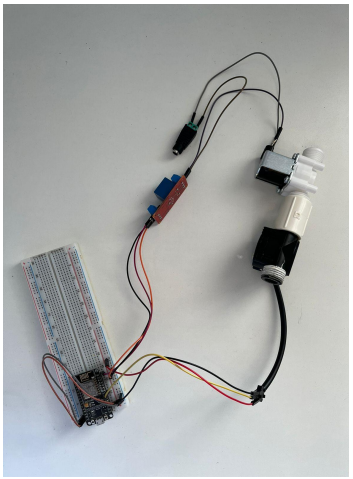
A utilização de IoT nesse contexto é interessante, pois permite a coleta de dados em tempo real e a comunicação entre dispositivos conectados, o que possibilita a automação e a tomada de decisões com base em informações atualizadas. Ao oferecer um sistema de irrigação de baixo custo e acessível, a Plataforma Deméter busca atender às necessidades da agricultura familiar, que muitas vezes possui recursos limitados.

5.1.1 Processo de sensoriamento e prototipação

Com o objetivo de disponibilizar a tecnologia de irrigação de precisão para os agricultores de pequena escala, o desenvolvimento da Plataforma Deméter foi dividido em duas etapas iniciais. A primeira etapa consistiu na criação de um protótipo responsável pelo controle da irrigação (figura 15). Inicialmente, esse protótipo era composto pelo microcontrolador NodeMCU Esp8266, um sensor de fluxo de água, um módulo relé e uma válvula solenóide.

No entanto, um dos desafios enfrentados nessa etapa estava relacionado ao cálculo da vazão de água. Era necessário converter o valor lido pelo sensor de fluxo em litros. Para superar essa dificuldade, foram realizados diversos testes. Inicialmente, estabelecia-se uma quantidade de água a ser irrigada e, em seguida, verificava-se se a quantidade de água aproximava-se do valor pré-estabelecido. Essa abordagem experimental permitiu ajustar e calibrar o sistema, de modo a garantir uma medição mais precisa da vazão de água. Com base nos resultados obtidos nos testes, foi possível fazer as devidas correções e aprimorar o algoritmo utilizado no cálculo da vazão, assegurando uma irrigação mais precisa e eficiente.

Figura 15: Protótipo de controle de irrigação



Fonte: Imagem autoral

Na segunda etapa do desenvolvimento da Plataforma Deméter, foi criado um segundo protótipo com o objetivo de monitorar a temperatura e umidade do ar. Esse novo protótipo é composto por um microcontrolador NodeMCU Esp8266 e um sensor DHT11. Diferentemente do desafio enfrentado na primeira etapa, o foco agora era obter leituras precisas e confiáveis da temperatura e umidade do ar.

5.1.2 Microirrigação e a manufatura aditiva

A microirrigação é um sistema de irrigação altamente eficiente que fornece água diretamente às raízes das plantas, minimizando o desperdício e maximizando o uso eficiente dos recursos hídricos. De acordo com Frizzone (2017), a microirrigação despertou um grande interesse devido aos resultados promissores em economia de água e energia, além do seu potencial em fornecer condições ideais de manejo para o desenvolvimento e produtividade das plantas. Esse sistema oferece benefícios significativos nesses aspectos, impulsionando sua popularidade e adoção. A capacidade de utilizar água de forma eficiente e direcionada, juntamente com a possibilidade de otimizar o crescimento das plantas, torna a microirrigação uma opção atrativa para agricultores e profissionais do setor.

A manufatura aditiva, também conhecida como impressão 3D, é uma forma inovadora de produção que permite a criação de objetos físicos camada por camada, adicionando material em vez de removê-lo. Essa abordagem contrasta com os métodos tradicionais de manufatura, nos quais o material é moldado ou cortado para obter a forma desejada. Através da impressão 3D foi possível imprimir nossos próprios aspersores utilizando modelos já prontos (figuras 16 e 17) na plataforma Thingerverse.

Figura 16: Aspersor por gotejamento, modelo 3D

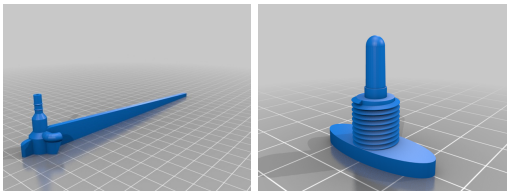
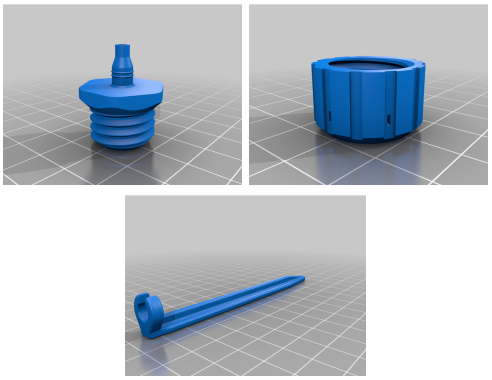


Figura 17: Aspersor por microaspersão, modelo 3D



Fonte: Thingerverse

O processo de impressão de ambos os tipos leva aproximadamente uma hora e meia e o material utilizado é PETG, trata-se de um tipo de filamento utilizado em impressões 3D, esse material foi escolhido para ser utilizado na impressão dos aspersores devido a sua alta resistência a desgaste, corrosão e agentes oxidantes e temperatura (3DLab, 2021). O resultado final pode ser observado nas figuras a seguir.

Figura 18: Aspersor por gotejamento

Figura 19: Aspersor por microaspersão

Fonte: Imagem Autoral

5.1.3 Heroku

O Heroku[7] é uma plataforma de hospedagem em nuvem que permite aos desenvolvedores implantar, gerenciar e dimensionar aplicativos web de maneira fácil e eficiente. Fundada em 2007, a plataforma se tornou popular devido à sua abordagem

[7] www.heroku.com

simplificada para o desenvolvimento e implantação de aplicativos, especialmente para aqueles baseados em linguagens de programação populares, como Ruby, Python, Java e Node.js (HEROKU).

Através do Heroku foi possível hospedar uma API desenvolvida utilizando o framework *Flask*, da linguagem Python, e é por meio desta API que é feita toda a comunicação do aplicativo com o sistema de irrigação.

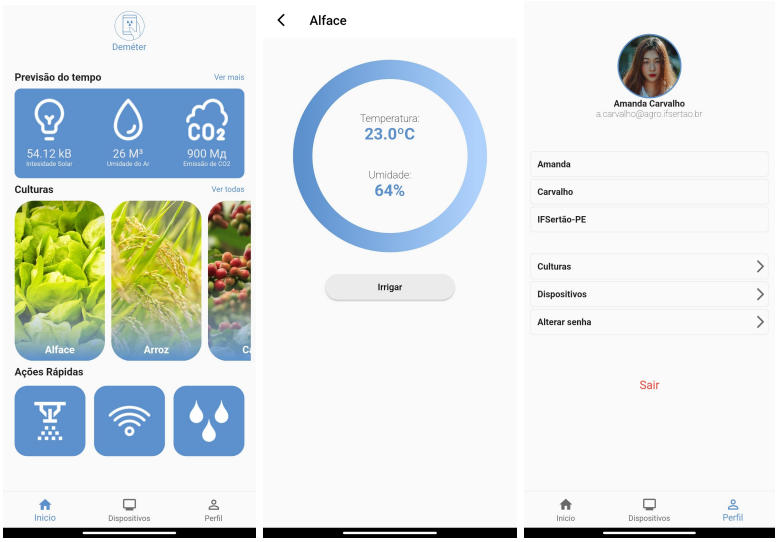
5.1.4 Aplicativo

O aplicativo da Plataforma Deméter (figura 20), foi desenvolvido utilizando o framework Flutter, O Flutter é um framework de desenvolvimento de aplicativos multiplataforma criado pelo Google, que permite criar aplicativos de alta qualidade para diferentes dispositivos. Com uma interface intuitiva e amigável, o aplicativo permite que os usuários monitorem e controlem remotamente os sistemas de irrigação. Eles podem visualizar informações detalhadas sobre a temperatura e umidade, e ainda monitorar o processo de irrigação em diversas culturas.

O aplicativo dispõe das seguintes funcionalidades para o usuário:

- Selecionar uma cultura
- Visualizar as informações de temperatura e umidade daquela cultura
- Com a cultura selecionada, o usuário poderá realizar uma solicitação para irrigar, informando a quantidade de água em litros que será irrigada.

Figura 20: Aplicativo da Plataforma Deméter



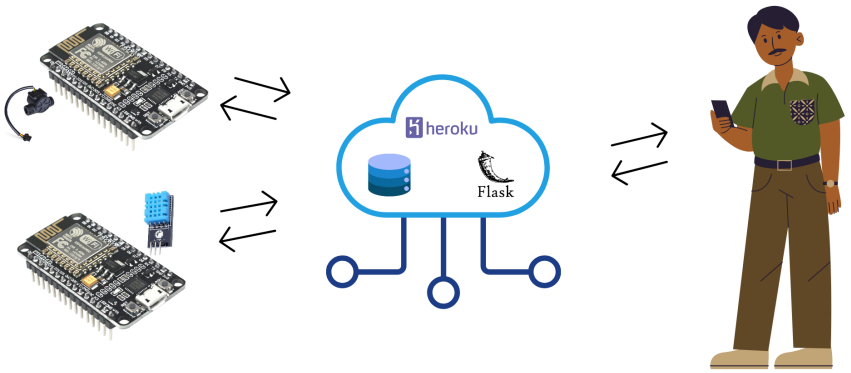
Fonte: Imagem autoral

5.1.5 Funcionamento

O protótipo de irrigação (ver tópico 5.1.1), foi programado para manter a válvula fechada até que o microcontrolador recebesse uma nova solicitação via aplicativo do

usuário, indicando a quantidade de água desejada para a irrigação, quando o usuário enviar essa solicitação, a mesma fica armazenada na API. Após receber essa nova solicitação, o microcontrolador acionaria a válvula, permitindo o fluxo da água. É nesse ponto que entra o sensor de fluxo de água, responsável por monitorar a quantidade de água que está passando, até que ela atinja a quantidade especificada na solicitação da API. Quando isso acontecesse, o microcontrolador fecharia a válvula solenóide e aguardaria uma nova solicitação, repetindo todo o processo. Já o segundo protótipo foi programado para a cada 5 minutos realizar uma leitura da temperatura e umidade do ar através do DHT11 e enviar esses valores para a API. A figura 20 ilustra a arquitetura do sistema.

Figura 20: Arquitetura do Sistema



Fonte: Imagem autoral

6. Metodologia

A metodologia utilizada nesta pesquisa foi do tipo exploratória, qualitativa, e com prototipagem, pois explora tecnologias e técnicas para melhorar a eficiência da irrigação, tentando obter *insights* sobre as necessidades e experiências do agricultor, enquanto é realizado o desenvolvimento de protótipos. Os objetivos da Plataforma Deméter são a otimização do uso de água, a redução de desperdícios e a melhoria da eficiência do sistema de irrigação, tudo isso sem a necessidade de intervenção humana. Para atingir esse objetivo, o projeto foi dividido em 6 etapas:

1 - Revisão da Literatura: Realizar uma revisão bibliográfica sobre os sensores que seriam utilizados no sistema, sobre API e desenvolvimento de aplicativo para dispositivos móveis.

2 - Montagem do Hardware e Programação do NodeMCU Esp8266: Nesta etapa, o hardware é montado com base nos objetivos da Plataforma Demeter. A montagem do hardware inclui a conexão dos sensores componentes relevantes da Plataforma Demeter. Além disso, é realizada a programação do NodeMCU,

utilizando a linguagem Arduino, para coletar dados dos sensores e realizar o controle da irrigação.

3 - Implementação da API: A API é desenvolvida para permitir a comunicação entre o hardware do projeto e o aplicativo móvel. Nesta etapa, são definidos os *endpoints* da API, que serão responsáveis por receber e transmitir dados entre o hardware e o aplicativo.

4 - Desenvolvimento do Aplicativo: O aplicativo móvel é desenvolvido para fornecer uma interface amigável e intuitiva aos usuários, permitindo o monitoramento e o controle da irrigação de precisão.

5 - Integração do Hardware, Aplicativo e API: Após a conclusão da montagem do hardware, implementação da API e desenvolvimento do aplicativo, é realizada a integração desses componentes. O hardware é conectado à API por meio de requisições HTTP. O aplicativo móvel, por sua vez, se comunica com a API para obter dados do hardware e enviar comandos de controle.

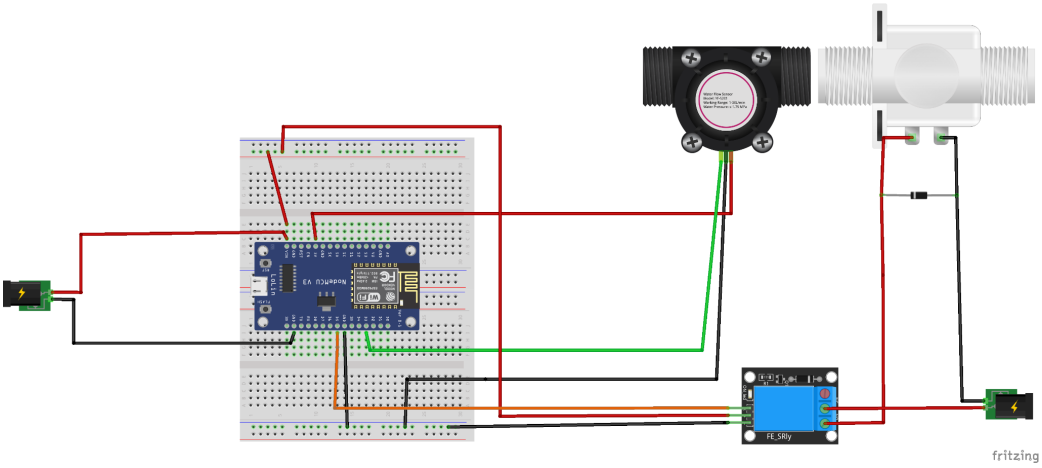
6 - Validação e Ajustes: Nesta etapa, o sistema completo de irrigação de precisão é submetido a testes e validações para garantir o funcionamento adequado e o cumprimento dos objetivos estabelecidos.

7. Resultados e Discussões

Nesta seção, apresentamos os resultados e discutimos as implicações da Plataforma Deméter, um projeto de irrigação de precisão focado na agricultura familiar. O objetivo principal desse projeto foi adaptar as técnicas avançadas de irrigação de precisão para atender às necessidades e realidades da agricultura familiar, visando melhorar a produtividade e a sustentabilidade das pequenas propriedades agrícolas.

Inicialmente, para o desenvolvimento do sistema de irrigação foram desenvolvidos dois protótipos, sendo o primeiro responsável pelo processo de irrigação, já o segundo era responsável pelo monitoramento de temperatura e umidade do ar. Ambos os protótipos tiveram sua versão inicial funcionando sem as baterias de lítio e placa solar. A alimentação era realizada através de fontes, duas de 5V para os dois NodeMCU Esp8266 de ambos os protótipos, e uma 12V para alimentação da válvula solenóide. O primeiro protótipo era composto por NodeMCU Esp8266, jumpers, módulo relé, sensor de fluxo de água e válvula solenóide, e pode ser visualizado na figura 21.

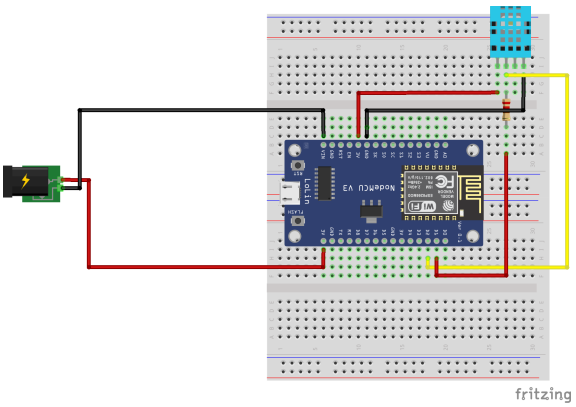
Figura 21: Protótipo Irrigação com Fontes



Foi durante a montagem deste protótipo onde a maior parte das dificuldades da pesquisa, pois era necessário realizar a soldagem de vários componentes, e ao realizar este processo era necessário ter cuidado para não queimar os componentes.

Já o protótipo responsável pelo monitoramento de temperatura e umidade era composto por NodeMCU, jumpers e o sensor DHT11, e pode ser visualizado na figura 22. Para garantir a precisão das medições de temperatura e umidade, foram realizados testes e calibrações. Esses testes envolviam a exposição do protótipo a diferentes condições de temperatura e umidade conhecidas. Com base nas leituras obtidas, foram feitas correções e ajustes para melhorar a exatidão dos dados coletados pelo sensor.

Figura 22: Protótipo Temperatura e Umidade com Fontes



Fonte: Imagem autoral

Após concluirmos a etapa inicial, demos início à migração de ambos os protótipos para operarem com bateria de lítio e painel solar (conforme mostrado nas figuras 23 e 24). Essa modificação tem como objetivo tornar os protótipos mais portáteis, eliminando a necessidade de acesso à rede elétrica. Além disso, buscamos utilizar fontes de energia renováveis e sustentáveis, armazenando a energia gerada pela placa solar nas baterias.

Figura 23: Protótipo Irrigação com Bateria de Lítio e Placa Solar

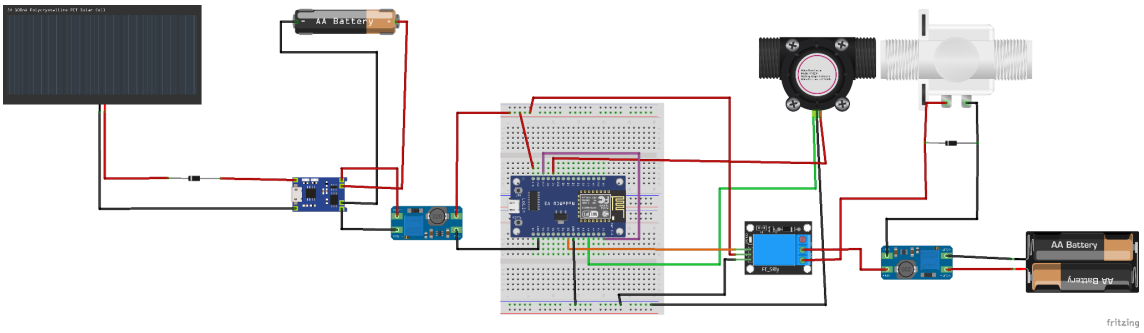
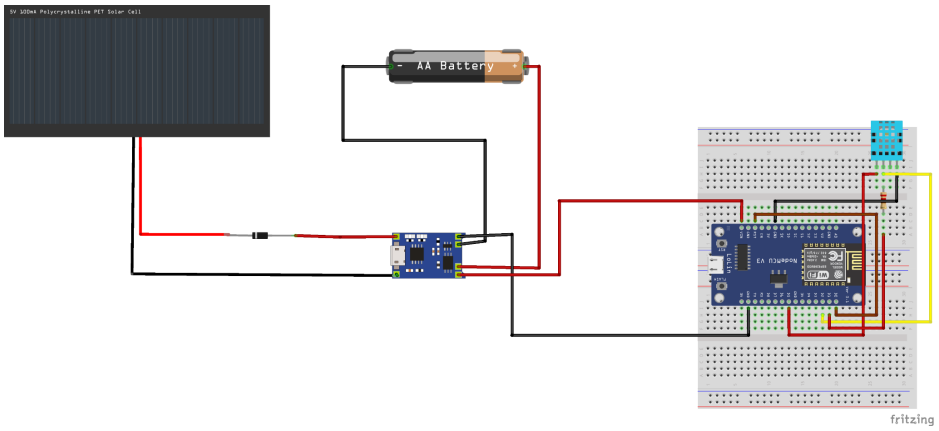


Figura 24: Protótipo Temperatura e Umidade com Bateria de Lítio e Placa Solar



Fonte: Imagem autoral

Uma outra dificuldade encontrada nessa pesquisa foi referente ao uso de baterias, pois era necessário implementar testes para verificar o tempo de vida das baterias e se forneciam alimentação suficiente para os componentes, nos primeiros testes realizados, as baterias descarregavam em um período de aproximadamente 5 horas, o que não era o ideal, foi então que esta pesquisa buscou formas de diminuir o consumo das baterias.

A solução foi uma modificação no código de ambos os protótipos visando reduzir o consumo de bateria. Para alcançar esse objetivo, foi utilizado o modo "*deepSleep*" ou "modo de sono profundo" do NodeMCU Esp8266. Essa funcionalidade é fundamental, pois permite que o microcontrolador entre em um estado de baixo consumo de energia. Durante esse estado, o microcontrolador desativa todas as funcionalidades, exceto o RTC (*Real Time Clock*), responsável pela medição do tempo (Eletrogate, 2022).

Para reativar o microcontrolador após o período estabelecido para o "sono", é necessário conectar o pino D0 do Esp8266 ao pino RST. Após as melhorias realizadas, foram conduzidos testes para avaliar a capacidade das baterias em fornecer energia para

todo o circuito. Os resultados indicaram que, em média, as baterias têm a capacidade de fornecer energia por aproximadamente 3 dias.

Com essa melhoria, as baterias eram capazes de fornecer energia por pelo menos dois dias.

8. Considerações Finais

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema de irrigação de precisão voltado para a agricultura familiar. Utilizando a IoT, conseguimos criar um protótipo que realiza o processo de irrigação de forma automatizada, eliminando a necessidade de intervenção humana. Além disso, desenvolvemos um aplicativo que permite ao usuário monitorar o processo de irrigação e obter informações relevantes sobre sua cultura, como temperatura e umidade do ar. Todo o sistema funciona por meio de uma API hospedada na nuvem.

Destaca-se que a Plataforma Deméter, criada neste trabalho, apresenta-se como uma solução acessível e de baixo custo em comparação com outras opções disponíveis no mercado.

A Plataforma Deméter tem como objetivos futuros a criação de um novo aplicativo, que está sendo desenvolvido com base em extensas pesquisas para compreender as dificuldades enfrentadas pelos pequenos agricultores. Esse novo aplicativo está sendo projetado para oferecer uma experiência intuitiva e agradável aos usuários, além de facilitar a utilização por parte do usuário, tornando o sistema mais visual e automatizado, pois um dos principais objetivos da Plataforma Deméter é transformar esse sistema em uma solução totalmente inteligente, capaz de executar automaticamente o processo de irrigação diariamente, levando em consideração as necessidades específicas de cada cultura, tipo de solo e dados coletados pelo sistema, como temperatura e umidade do ar, etc.

A intenção é permitir que a plataforma tome decisões quanto à quantidade de água necessária para a irrigação baseado nos dados capturados, como temperatura e umidade, levando em consideração também a previsão do tempo de cada dia e determine o melhor horário para realizar a irrigação. Além disso, está sendo planejada a integração com a tecnologia LoRaWAN, o que possibilitará uma comunicação eficiente e confiável entre dispositivos IoT e a plataforma, aumentando a capacidade de monitoramento e controle de diferentes dispositivos agrícolas remotamente.

9. Agradecimentos

Neste trabalho, gostaríamos de expressar nossa sincera gratidão às instituições que tornaram possível a realização deste projeto de pesquisa. Por meio deste texto, expressamos nosso profundo agradecimento à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), à Lócus, à Oficina 4.0 e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio inestimável que nos foi concedido.

A FACEPE desempenhou um papel fundamental no sucesso deste projeto, fornecendo recursos financeiros e estruturais essenciais para a condução de nossa pesquisa. Acreditamos firmemente na importância do investimento em ciência e tecnologia, e a FACEPE tem sido um parceiro comprometido nessa missão. Agradecemos sinceramente pela oportunidade concedida e pelo suporte contínuo à comunidade científica em Pernambuco.

A Lócus, com sua visão empreendedora e compromisso com o desenvolvimento regional, foi uma parceira indispensável ao longo de nossa jornada acadêmica. Seu apoio logístico e técnico foi fundamental para o desenvolvimento de nossas atividades de pesquisa. Valorizamos profundamente a colaboração estabelecida e agradecemos por acreditar em nosso potencial, fornecendo-nos a infraestrutura necessária para alcançar nossos objetivos.

A Oficina 4.0, reconhecida por sua expertise em tecnologia e inovação, foi uma aliada valiosa para o avanço deste projeto. Através de sua orientação e capacitação, fomos capazes de aprimorar nossas habilidades e explorar novas abordagens para resolver desafios complexos. Agradecemos sinceramente pela parceria estabelecida e pelo suporte técnico que nos foi oferecido ao longo desta jornada acadêmica.

Por fim, expressamos nossa gratidão ao CNPq pelo financiamento e reconhecimento concedidos a este trabalho de pesquisa. O apoio financeiro fornecido pelo CNPq foi de extrema importância para viabilizar nossas atividades de pesquisa e nos permitiu avançar em nossa área de estudo. Acreditamos que o investimento em pesquisa científica é fundamental para o desenvolvimento do país, e estamos honrados por ter recebido o apoio do CNPq.

Mais uma vez, expressamos nossa profunda gratidão à FACEPE, Lócus, Oficina 4.0 e ao CNPq pelo apoio significativo e pela confiança depositada em nossa pesquisa. Estamos verdadeiramente honrados por termos tido a oportunidade de colaborar com essas instituições renomadas.

Referências

AGROSMART (2016). **O impacto das mudanças climáticas na agricultura.** Disponível em: https://agrosmart.com.br/blog/impacto-mudancas-climaticas-na-agricultura/

Albuquerque, R. S., (2019). **Sistema de irrigação inteligente para agricultura familiar baseado em IoT.** http://repositorio.uema.br/jspui/handle/123456789/876

Altafin, I. (2007). **Reflexões sobre o conceito de agricultura familiar.** Enfoques, 6(2). http://enfoc.org.br/system/arquivos/documentos/70/f1282reflexoes-sobre-o-conceito-de-agricultura-familiar---iara-altafin---2007.pdf

Bertollo, M., Castillo, R. A., & Busca, M. D. (2022). **Internet das coisas (IoT) e novas dinâmicas da produção agrícola no campo brasileiro.** Confins. Disponível em: https://doi.org/10.4000/confins.47229

BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social). (2017). **Relatório Final: Plano de Ação - Produto 8.** Disponível em: https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/269bc780-8cdb-4b9b-a297-53955103d4c5/relatorio-final-plano-de-acao-produto-8-alterado.pdf?MOD=AJPERES&CVID=m0jDUok&CVID=lXysvoX&CVID=lXysvoX&CVID=lXysvoX&CVID=lXysvoX&CVID=lXysvoX&CVID=lXysvoX

Čolaković, A., & Hadžialić, M. (2018). **Internet of Things (IoT): A review of enabling technologies, challenges, and open research issues.** Computer Networks, 144, 17–39. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2018.07.017

Coelho, E. F. Filho, M. A. C. Oliveira. S. Z (2005). **Agricultura Irrigada: eficiência de irrigação e uso de água.** Bahia Agric. Disponível em: https://ufrb.edu.br/neas/images/Artigos_NEAS/2005_3.pdf

Elder, Jeff (2019). **Como Kevin Ashton batizou a Internet das Coisas?** Disponível em: https://blog.avast.com/pt-br/kevin-ashton-named-the-internet-of-things

ELETROGATE. **Economizando Energia - Sleep Modes no ESP8266.** Disponível em: https://blog.eletrogate.com/economizando-energia-sleep-modes-no-esp8266/

El-Naggar, A. G., Hedley, C. B., Horne, D., Roudier, P., & Clothier, B. E. (2020). **Soil sensing technology improves application of irrigation water.** Agricultural Water Management, 228, 105901. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105901

Flávio R. C. Sousa, Leonardo O. Moreira e Javam C. Machado (2009). **Computação em Nuvem: Conceitos, Tecnologias, Aplicações e Desafios.** ERCEMAPI. https://www.researchgate.net/profile/Javam-Machado/publication/237644729_Computacao_em_Nuvem_Conceitos_Tecnologias_Aplicacoes_e_Desafios/links/56044f4308aea25fce3121f3/Computacao-em-Nuvem-Conceitos-Tecnologias-Aplicacoes-e-Desafios.pdf

Flávio R. C. Sousa, Leonardo O. Moreira, José Antônio F. de Macêdo e Javam C. Machado. **Gerenciamento de Dados em Nuvem: Conceitos, Sistemas e Desafios.** SWIB. Disponível em: http://200.17.137.109:8081/novobsi/Members/josino/fundamentos-de-banco-de-dados/2012.1/Gerenciamento_Dados_Nuvem.pdf

FRIZZONE, A, J. **OS MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO.** Disponível em: https://www.esalq.usp.br/departamentos/leb/disciplinas/Frizzone/LEB_1571/TEXTO_COMPLEMENTAR_1_-_METODOS_DE_IRRIGACAO.pdf

GONCALVES, Diego ; ARLINDO, Jardeson ; PEREIRA, Renata ; MOURA, Vitor ; JUCA, Sandro ; BEZERRA, Gilmar ; MOTA, Josué . **Sistema IoT para monitoramento e controle de irrigação.** In: ESCOLA REGIONAL DE INFORMÁTICA DO PIAUÍ (ERI-PI), 4. , 2018, Teresina. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2018 . p. 310 - 315.

Heroku. **What is Heroku.** Heroku. Disponível em https://www.heroku.com/what

IBGE. **Censo Agro 2017.** Disponível em: https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/index.html

MAFRA, E. T. **O que é a Agricultura 4.0?** Disponível em: https://forbes.com.br/forbesagro/2022/05/o-que-e-a-agricultura-4-0

MAKERHERO. **Sensor de Fluxo de Água 1/2″ YF-S201b.** MAKERHERO, 2023. Disponível em https://www.makerhero.com/produto/sensor-de-fluxo-de-agua-12-yf-s201/

Marinho, K. G. O. F., (2019). **Desenvolvimento de sistema de monitoramento e controle de irrigação de agricultura familiar com ATMEGA.** https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/47118

Ministério da Agricultura e Pecuária (2023). **Exportações do agronegócio atingem recorde em março e no acumulado do ano.** gov.br. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/exportacoes-do-agronegocio-atingem-recorde-em-marco-e-no-acumulado-do-ano

Schneider, S. (2003). **Teoria social, agricultura familiar e pluriatividade.** Revista Brasileira de Ciências Sociais, 18(51). https://doi.org/10.1590/S0102-69092003000100008

Vieira, A. C. F. (2021). **Energias renováveis e sua eficiência na nova economia energética no Brasil.** Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, 8(18), 211–223. Disponível em: https://doi.org/10.21438/rbgas(2021)081813