



SCHED – PROPOSTA DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO EMBARCADA

Ricardo Júnior Abreu da Silva¹, Joabel Moia²

Resumo: Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma proposta de um sistema de irrigação embarcada, com a finalidade de automatizar o processo de irrigação para culturas de pequeno porte, com base na umidade do solo e do ar. Com a aplicação do conceito de Internet das Coisas (IoT) possibilitará o controle do sistema de irrigação, apresentando dados em tempo real, como o percentual de umidade do solo e do ar e possíveis condições climáticas, com o intuito de contribuir com o dia a dia do cultivador. Foi realizada uma pesquisa utilizando o método Kano, e a partir dos resultados foi desenvolvido um protótipo para a prova de conceito, junto a um grupo de contribuintes que correspondem ao público-alvo, para avaliar as funcionalidades e resultados esperados do protótipo de solução.

Palavras-chave: Irrigação automatizada. Sensores. Sistemas embarcados.

Abstract: This article presents the development of a proposal for an on-board irrigation system, with the purpose of automating the irrigation process for small crops, based on soil and air humidity. With the application of the Internet of Things (IoT) concept, it will make it possible to control the irrigation system, presenting real-time data, such as the percentage of soil and air humidity and possible weather conditions, with the aim of contributing to the day-to-day grower's day. A survey was carried out using the Kano method, and from the results a prototype was developed for the proof of concept, together with a group of contributors that correspond to the target audience, to evaluate the functionalities and expected results of the prototype solution.

Keywords: Automated irrigation. Sensors. Embedded systems.

¹ Especialista em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos, IFSC/Florianópolis <ricardojr19@hotmail.com>.

² Professor do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), IFSC/Florianópolis <joabel.moia@ifsc.edu.br>.

1 INTRODUÇÃO

A agricultura é uma prática econômica que consiste no uso do solo para cultivo de vegetais, a fim de garantir a subsistência alimentar do ser humano. Através desta prática, produzem-se também matérias-primas, que são transformadas em produtos secundários em outros campos da atividade econômica. Trata-se de uma das formas principais de transformação do espaço geográfico, sendo uma das mais antigas práticas realizadas na história. A História propõe que a prática agrícola existe há mais de 12 mil anos e foi desenvolvida durante o período Neolítico (MUNDOEDUCACAO, 2023).

A agricultura tornou-se um dos processos constitutivos das primeiras civilizações, uma vez que todos os agrupamentos humanos já encontrados praticavam algum tipo de manejo e cultivo dos solos. Com o passar do tempo, as civilizações desenvolveram as primeiras técnicas de cultivo, postas em prática a partir do momento em que o homem observou que algumas sementes, quando plantadas, germinavam. Com isso, observou-se um lento processo de sedentarização das práticas humanas, fruto das novas técnicas sobre o uso e apropriação do meio natural. Nascia a agricultura e, com ela, desenvolviam-se as primeiras civilizações.

A agricultura irrigada é a prática de aplicar água diretamente na raiz das plantas, bem como, aplicar a prática de irrigação, tem como o principal objetivo de facilitar a condução de água e fertilizantes, mantendo baixo o consumo energético (AEGRO, 2022). A irrigação também é uma prática agrícola capaz de suprir a deficiência total ou parcial de água para as plantas, e nesta prática, equipamentos e técnicas específicas são utilizadas para conduzir água de forma artificial, garantindo a produção do que está sendo cultivado, mesmo quando não há uma entrega natural de água. Porém, apenas o fornecimento de água às plantas não garante uma

produção de sucesso, pois a agricultura irrigada é feita com planejamento, monitoramento e gestão da irrigação. Portanto, o planejamento está relacionado a vários fatores como cultura, solo e clima. As necessidades de quem produz e as particularidades dos diferentes métodos de irrigação também precisam ser considerados.

1.1 Soluções Comerciais

Atualmente, há inúmeras soluções voltadas para irrigação no Brasil. A maioria delas, visa atender cultivadores de grande porte, pelo qual exigem uma infraestrutura de irrigação fixa, e geralmente dispendiosa, levando em consideração equipamentos e materiais necessários para sua construção (IRRISMART, 2023).

Ao envolver equipamentos complexos para atender requisitos de uma cultura de grande porte, remete também a contratação de funcionários, engenheiros e até mesmo consultoria de empresas para aferir dados e obter-se resultados (SMARTAGRI, 2023).

Dentre as soluções encontradas, geralmente é necessária a instalação de motores, válvulas e, até mesmo, estações meteorológicas para se obter o resultado esperado ao investir com a finalidade de simplesmente tornar inteligente, ou preciso o processo de irrigação (IRRIGAFLORA, 2023).

Há também opções no mercado, como temporizadores da empresa Rain Bird, que permitem automatizar a irrigação, porém não atendem requisitos como a umidade do solo e umidade do ar (ACQUACONTROLL, 2023).

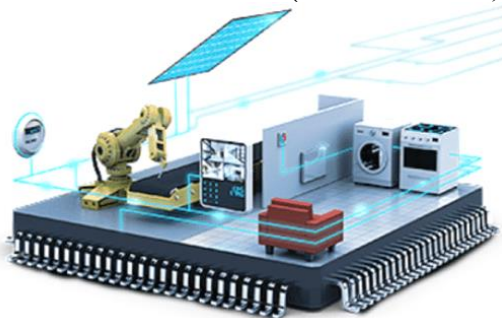
Levando em consideração o alto investimento para automatizar o processo de irrigação, a necessidade de modificar a infraestrutura, até mesmo ter um custo mensal com funcionários ou assessoria, o cultivador de médio e pequeno porte permanece em desamparo em nível de soluções que possam contribuir com o seu dia a dia.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Sistemas Embarcados

Os sistemas embarcados mudaram o mundo. Com o passar dos tempos, a união da microeletrônica com a programação contribuiu muito com a vida das pessoas, assim como com as indústrias (EMBARCADOS, 2017). Ao olhar ao redor, e observar que os sistemas embarcados estão em quase todos os lugares, demonstra que a sua aplicação impulsionou o desenvolvimento tecnológico de quase todas as áreas de conhecimento humano. Um sistema embarcado pode salvar vidas em marca-passos, garante a segurança dos transportes em computadores aviônicos e freios ABS. Aproxima as pessoas através de satélites e equipamentos de telecomunicações, agrega conforto ao dia a dia das pessoas com equipamentos *smart*, sendo eles TVs, *smartphones* e *tablets*. Nos veículos com computadores de bordo e centrais multimídia, casas e cidades inteligentes, cursos e trabalho remoto, diversão com consoles de games e entre outros tantos equipamentos. A Figura 1 representa a aplicação dos sistemas embarcados no cotidiano.

Figura 1 – Sistemas embarcados (EMBARCADOS, 2018).



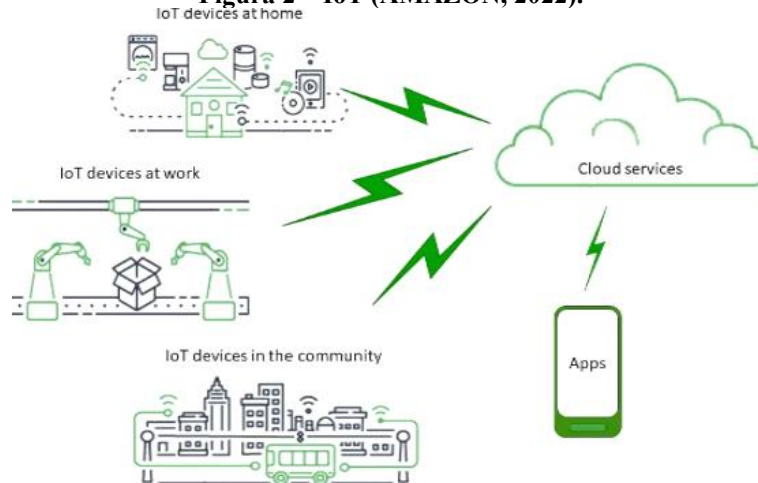
Anteriormente, este modo de empregar sistemas, era chamado de eletrônicos de forma geral, termo pelo qual não é capaz de representar satisfatoriamente a complexidade do desenvolvimento e os poderes computacionais que diferenciavam os sistemas embarcados dos eletrônicos sem habilidade computacional, e, com isso fora substituído pela tradução direta do inglês, *embedded system*, impulsionado pelo interesse dos próprios engenheiros da área (EMBARCADOS, 2017).

2.2 Internet das Coisas (IoT)

A Internet das Coisas, ou *Internet of Things* (IoT), trate-se de um sistema composto de dispositivos e sensores interconectados e que coletam e compartilham dados. Uma vez que conectados estes dispositivos à Internet, empresas e pessoas conseguem coletar e analisar grandes quantidades de dados, com o intuito de obter *insights* sobre tendências e padrões.

Esta conexão pode ser feita com os mais diversos dispositivos, desde objetos do cotidiano, como eletrônicos domésticos, lâmpadas e *smartphones*, bem como sistemas mais complexos, como máquinas, veículos e equipamentos industriais. A Figura 2 demonstra o controle sob os dados, providos das mais variadas fontes de dados, sendo armazenados na nuvem e entregues na palma da mão, ou seja, no *smartphone*.

Figura 2 – IoT (AMAZON, 2022).



O IoT permite a comunicação e troca de informações, como por exemplo, um fabricante pode utilizar sensores IoT para monitorar o desempenho de seus produtos em campo e, até mesmo, uma cidade pode usar semáforos interconectados para reduzir congestionamentos.

As possibilidades são infinitas, e a tecnologia vem transformando indústrias que vão da agricultura ao *marketing*. À medida que mais empresas e organizações adotam o sistema, o potencial para inovar e crescer é imenso (MEIO E MENSAGEM, 2022).

2.3 Sensores Eletrônicos

Os sensores eletrônicos são dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente que pode ser luminosa, térmica, cinética, relacionando informações sobre uma grandeza física que precisa ser mensurada (medida), como temperatura, pressão, velocidade, corrente elétrica, aceleração, posição *etc.*

Um sensor nem sempre tem as características elétricas necessárias para ser utilizado em um sistema de controle. Normalmente o sinal de saída deve ser condicionado antes da sua leitura no sistema de controle. Isso geralmente é realizado com um circuito de interface para produção de um sinal que possa ser lido pelo controlador. Supondo que a saída de um sensor, ao ser sensibilizado por uma energia externa, é dada por um nível de tensão muito baixo, torna-se necessária sua amplificação. Essa interface seria então um amplificador capaz de elevar o nível do sinal para sua efetiva utilização. Há uma série de características relacionadas aos sensores que devem ser levadas em consideração na hora da seleção do sensor mais indicado para uma aplicação.

No âmbito industrial, é fundamental uma grande quantidade de características, principalmente quando se trata de automação e instrumentação industrial. Inicialmente é necessário mostrar a diferenciação entre alguns elementos presentes em uma automação de qualquer natureza. Os principais elementos que atuam sobre a automação industrial são os sensores e atuadores, pois eles verificam e interferem no ambiente controlado.

2.3.1 Sensor de Umidade do Solo

O sensor de umidade do solo representa um tipo de módulo que detecta a resistividade da terra, ou seja, o sensor mede a variação da umidade presente no solo considerando a corrente detectada.

Dentre as opções disponíveis no mercado, há alguns modelos mais utilizados para prototipação sendo eles o higrômetro, o sensor capacitivo e o sensor resistente a corrosão (CURTO CIRCUITO, 2023).

O higrômetro é um sensor simples e composto por um módulo para calibração e um comparador em formato de arco que possui um sensor resistivo. A tensão de operação do higrômetro é de 3,3-5,0 V, possui uma interface de saída digital e uma interface de saída analógica, pesa 10 g e mede 3,4 x 14 x 0,7 mm.

O sensor capacitivo apresenta maior durabilidade comparado ao higrômetro. Este é um sensor composto por um circuito único e possui formato pontiagudo. A tensão de operação deste sensor é de 5,5 V, possui uma saída analógica, pesa 5 g e mede 97 x 22 x 3 mm.

O sensor resistente a corrosão, em relação aos dois sensores já mencionados é mais simples, pois apresenta apenas se o solo está seco ou úmido. É composto por um módulo de calibração, um comparador em

formato de haste soldado à um cabo coaxial de aproximadamente um metro. A tensão de operação deste sensor é de 3,3-12,0 V, pesa 25 g e mede 60 x 19 x 9 mm.

2.3.2 Sensor de Temperatura e Umidade do Ar

O sensor de temperatura e umidade do ar utiliza um sensor capacitivo de umidade e um termistor para medir o ar circundante, conectados a um controlador de 8 bits que fornece um sinal digital serial no pino de dados (VIDA E SILICIO, 2023).

Dentre as opções de sensores de temperatura e umidade do ar disponíveis no mercado para prototipação, os mais utilizados são o DHT11 e o DHT22. Ambos os sensores são de baixo custo e possuem um gabinete de proteção fabricado em plástico ABS. As características de ambos os sensores são comparadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Comparação das características dos sensores DHT11 e DHT22 (ELETROGATE, 2022).

	DHT11	DHT22
Tensão de Operação	3,3 a 5,0 V	3,3-5,0 V
Tipo de Saída de Dados	Interface digital	Interface digital
Faixa de Leitura de Umidade Relativa do Ar	20 a 80%	0-100%
Faixa de Leitura da Temperatura do Ar	0 a 50 °C	-40 a 80 °C

2.4 Máquinas de Estados Finitos

As máquinas de estados finitos são máquinas abstratas que capturam as partes essenciais de algumas máquinas concretas. Essas últimas vão desde máquinas de vender jornais e de vender refrigerantes, passando por relógios digitais e elevadores, até programas de computador, como alguns procedimentos de editores de textos e compiladores. O próprio computador digital, se considerarmos que sua memória é limitada, pode ser modelado por meio de uma máquina de estados finitos. Embora existam máquinas abstratas conceitualmente mais poderosas que as de estados finitos, que são mais adequadas para a modelagem de certas máquinas como o computador, as máquinas de estados finitos são adequadas, tanto do ponto de vista teórico quanto do prático, para a modelagem de amplo espectro de máquinas (mecânicas, eletrônicas, de *software* etc.).

Existem basicamente dois tipos de máquinas de estados finitos: os transdutores e os reconhecedores ou aceitadores de linguagens. Os transdutores são máquinas com entradas e saídas, e os reconhecedores são máquinas com apenas duas saídas possíveis, ou seja, geralmente uma delas significa “aceitação” da entrada, e a outra, “rejeição” da entrada.

Uma característica fundamental de uma máquina de estados finitos é que sua memória é limitada e exclusivamente organizada em torno do conceito de “estado”. Embora uma máquina de estados finitos seja, tecnicamente falando, uma estrutura matemática, e um conjunto de estados um conjunto finito da estrutura, pode ser conveniente introduzir esses conceitos de maneira mais intuitiva do que normal (VIEIRA, 2004).

2.5 Agricultura Irrigada

A agricultura irrigada adapta-se a vários tipos de solo, e proporciona qualidade no cultivo. Tratando-se de um processo passivo de automatização, contribui com o trabalho diário. Além do fato de a automatização do processo de irrigação ter relevância para o dia a dia de quem a utiliza, ela também proporciona outras vantagens, como:

- Redução dos efeitos da seca no crescimento e desenvolvimento da cultura;
- Aumento da produtividade e diminuição de riscos;
- Aumento do vigor e estande inicial de plantas;
- Homogeneidade de floração;
- Flexibilidade na decisão do período de plantio e colheita da cultura;
- Expansão do cultivo pra áreas não aptas à agricultura de sequeiro.

Atualmente, o Brasil encontra-se entre os 10 países do mundo com as maiores áreas equipadas para irrigação, totalizando aproximadamente sete milhões de hectares (AEGRO, 2022).

Em projeções futuras para a agricultura irrigada no Brasil, é esperado um crescimento de 47% até 2030, aumentando para cerca de 10 milhões de hectares. Com isso, a agricultura irrigada salienta também alguns aspectos negativos e que exigem preocupação, sendo um deles, a grande demanda de água (AEGRO, 2022).

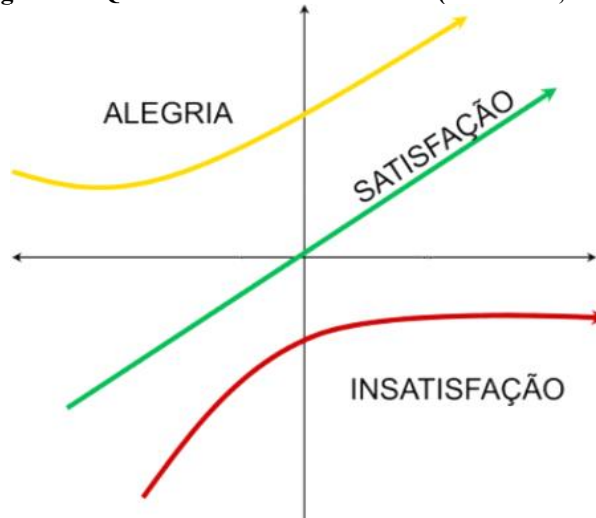
Levando em consideração o aumento do consumo de água, torna-se importante a busca constatar por métodos que tornem eficientes o uso racional da água, evitando desperdício, bem como o consumo em excesso (AEGRO, 2022).

2.6 Método Kano

O modelo Kano colabora com a geração de informações em relação ao nível de satisfação do cliente bem como em relação ao desempenho de um produto ou serviço. Criado no fim da década de 1980, o modelo Kano vem sendo considerado uma grande ferramenta para o gerenciamento da qualidade de uma marca e/ou produto, além da sua ampla aplicação nas áreas de *marketing* nos mais variados ramos de atividade.

O professor Noriaki Kano notou que dados sobre os clientes poderiam ser categorizados de acordo com a prioridade que eles determinavam. Com a definição de categorias, Kano resolveu desenvolver um diagrama, depois chamado de diagrama de Kano, como modelo gráfico utilizado para estruturar expectativas de clientes e compreender o que fazer para atendê-las (LABONE, 2020). A metodologia propõe uma importante classificação das necessidades dos clientes em quadrantes, de acordo com a Figura 3.

Figura 3 – Quadrantes do método Kano (LABONE, 2020).



- **Quadrante de Insatisfação:** São requisitos mínimos que não estão presentes ou que não atingem um determinado nível de desempenho, como, por exemplo, a hospedagem de uma pessoa em um hotel, tem como requisitos básicos água quente, toalhas e quartos limpos (LABONE, 2020).
- **Quadrante de Satisfação:** São os requisitos que se referem a satisfação do cliente, ou seja, quando mais se tiver deste requisito, mais satisfeito o cliente ficará; ainda no exemplo do hotel, a Internet ofertada ser de alta performance (LABONE, 2020).
- **Quadrante de Alegria:** Trata-se dos requisitos que atraem o cliente, e que não estão sendo esperados por ele. No hotel mencionado no exemplo, um jantar grátis, do qual o cliente não está esperando (LABONE, 2020).
- **Atributo unidimensional obrigatório:** a satisfação é proporcional ao grau de desempenho, quanto maior o grau de desempenho, maior será a satisfação do cliente e *vice-versa*.
- **Atributo neutro:** refere-se aos aspectos que não são bons e nem ruins, e consequentemente, não resultam em qualquer satisfação ou insatisfação do cliente.
- **Atributo reverso questionável:** esta avaliação indica que a pergunta foi formulada incorretamente, ou que o cliente não entendeu a pergunta corretamente, ou que a resposta foi inconsistente.

A classificação dos requisitos dos clientes nos três quadrantes, pode ser feito criando perguntas que serão feitas aos clientes. Dessa forma, as perguntas serão respondidas de uma maneira positiva e negativa.

3 DESENVOLVIMENTO

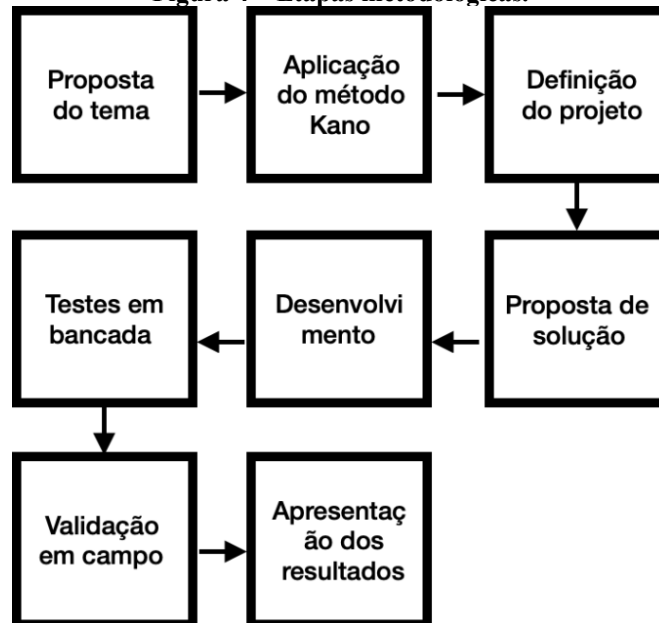
Com o intuito de atender as necessidades dos cultivadores, antes de iniciar o desenvolvimento, foi realizada uma pesquisa utilizando o método Kano, com base na proposta de solução, e partir dos resultados definiu-se o projeto.

Com a definição da proposta de solução tem-se o circuito eletrônico (*hardware*), envolvendo a placa principal que contém o microprocessador, módulo de rede e pinos, os sensores e a válvula. Será apresentado também, o *software* desenvolvido em linguagem C e Python, a proposta para o aplicativo e o fluxograma que representa o funcionamento do sistema.

3.1 Etapas Metodológicas

A fim de atingir os objetivos e facilitar o desenvolvimento da proposta de solução, o trabalho foi fragmentado em oito etapas metodológicas de acordo com a Figura 4.

Figura 4 – Etapas metodológicas.



3.2 Resultado da Pesquisa com Possíveis Usuários/Clientes do Sistema

A pesquisa realizada utilizando o método Kano, e respondida por sete pessoas, sendo elas: três cultivadores, três usuários domésticos e um profissional com formação na área de Engenharia Ambiental.

3.2.1 Questionário

Os quesitos analisados através da pesquisa aplicando o método Kano que obtiveram 100% de aceitação entre os entrevistados foram os seguintes:

- Irrigação acontecer automaticamente.
- Economia de água.
- Monitorar o sistema de irrigação pelo *smartphone*.
- Informar a possibilidade de chuva durante o dia e a noite.
- Informar a temperatura do ar.
- Informar a umidade do ar.
- Informar a umidade do solo.

Um quesito analisado através da pesquisa aplicando o método Kano obteve mais de 85% de aceitação entre os entrevistados:

- Informar a possibilidade de sol durante o dia e chuva a noite?
 - **Atrativo unidimensional obrigatório:** 85,7%
 - **Neutro:** 14,3%
 - **Reverso Questionável:** 0,0%

Além da aplicação do método de Kano, também foram elencadas algumas sugestões para futuras implantações, listadas a seguir:

- evapotranspiração,
- vazão do curso hídrico na propriedade,
- coletar água da chuva,
- potenciômetro para indicar potencial de fertilidade,
- método de gotejamento,
- geolocalização dos sensores e
- mensurar o volume de água da chuva;

bem como o valor máximo que os clientes estariam dispostos a pagar pelo sistema, apresentado na sequência:

• Abaixo de R\$ 100,00:	28,6%
• De R\$ 100,00 a R\$ 200,00:	14,3%
• De R\$ 200,00 a R\$ 500,00:	0,0%
• De R\$ 500,00 a R\$ 1.000,00:	14,3%
• Acima de R\$ 1.000,00:	42,9%

3.3 Proposta de Solução

Com base no resultado da pesquisa com os possíveis consumidores do sistema e nos pontos mencionados na introdução, sendo eles, o planejamento, monitoramento e gestão da irrigação, bem como, um equipamento de fácil manuseio para que o cultivador possa trabalhar de forma personalizada o que estiver cultivando, sendo ele de pequeno ou médio porte, foi realizada a definição da proposta de solução.

Diferente das soluções atuais, sendo elas equipamentos fixos e que exigem uma infraestrutura para funcionamento conforme mencionado na seção 1.1, a proposta consiste no desenvolvimento de um sistema embarcado composto por sensores de umidade do solo e umidade e temperatura do ar, alimentado por uma bateria e apto a conectar-se a uma rede e/ou a Internet, tornando-o portátil.

Os parâmetros relacionados à umidade do solo poderão ser configurados com base na cultura, com o propósito de atingir o percentual de umidade adequado para ela, economizando água e garantindo a qualidade evitando o excesso e desperdício.

O monitoramento do ar, sendo ele a partir da umidade e temperatura, informará ao sistema e ao cultivador, sobre a possibilidade de chuva e/ou seca. Ao informar as condições climáticas ao sistema, ele será capaz de identificar a necessidade de iniciar a irrigação não havendo a probabilidade de chuva, mas tendo como premissa atingir umidade previamente configurada.

Tendo em vista um produto composto pelos sensores mencionados e uma bateria para alimentá-lo, o mesmo pode ser remanejado pelo cultivador conforme sua necessidade, e cravado ao solo que deseja monitorar, conforme o protótipo representado pela Figura 5. As principais características do sistema proposto são apresentadas na sequência:

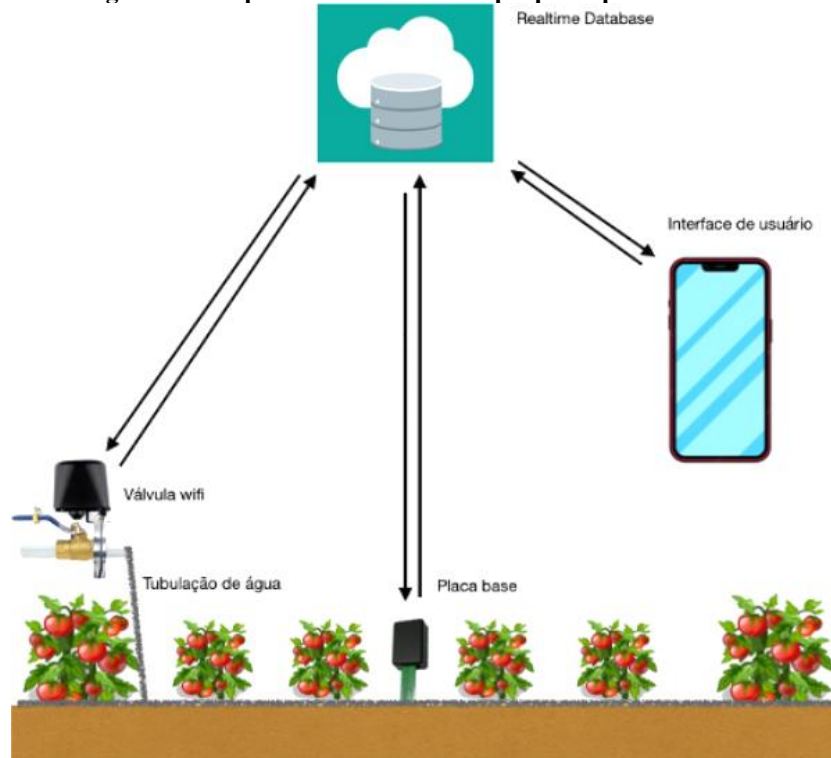
Figura 5 – Placa base.



- O acionamento da água será controlado por uma válvula solenoide, também conectada à rede e/ou à Internet e alimentada pela rede elétrica, que receberá os comandos do sistema, sendo eles permitir ou bloquear a passagem da água.
- A válvula Wi-Fi deve ser instalada na passagem de água principal da cultura para que haja o controle total da irrigação, desta forma, não será necessária a alteração da infraestrutura de irrigação caso já exista.
- Como forma de interface de usuário, e a fim de monitorar, gerenciar e controlar o sistema, através de um aplicativo para *smartphone*, o cultivador terá um ambiente pelo qual permitirá o gerenciamento de múltiplos sensores e válvulas, relacionados entre si.
- Cada sensor e válvula poderão ser configurados no aplicativo. Para cada sensor, será permitido o cadastro de uma válvula da qual será vinculado.
- Após a configuração dos periféricos, o cultivador terá controle sobre o sistema, como por exemplo, fator de umidade, percentual de carga da bateria dos sensores, condições climáticas, estado dos sensores, conectividade e ações do sistema em tempo real.
- Tendo em vista o diferencial proposto, o cultivador terá controle sobre o processo de irrigação de qualquer lugar do mundo acessando o aplicativo através do *smartphone*, e ao mesmo tempo ganhará tempo, economizará água.

A Figura 6 apresenta a arquitetura de alto nível proposta para o sistema.

Figura 6 – Arquitetura de alto nível proposta para o sistema.



3.4 Definição do Projeto

O resultado da pesquisa obtido na seção 3.2.1 foi de suma importância para a definição do projeto. Ao compilar as respostas foram observados os seguintes recursos a serem implementados:

- Mensurar a umidade do solo;
- Mensurar a umidade e temperatura do ar;
- Informar condições climáticas;
- Controlar automaticamente a passagem de água para a cultura;
- Possibilitar o acesso ao sistema de qualquer lugar através do *smartphone*;

Com base nos recursos mencionados, o projeto será composto por quatro módulos, sendo eles:

- Circuito eletrônico dedicado;
- *Software* embarcado dedicado;
- Banco de dados disponível;
- Aplicativo móvel dedicado.

De acordo com os recursos mencionados, foi realizado um levantamento das opções de soluções para desenvolvimento disponíveis no mercado, e optado pela placa de desenvolvimento NodeMCU ESP-12. Tal solução atende às necessidades do projeto, em relação a custo, quantidade de pinos analógicos e digitais necessários, periférico gerenciador de comunicação Wi-Fi integrado, alimentação de fácil acoplamento, compatibilidade com a linguagem de programação C e tamanho físico.

Em relação à bateria para alimentação do sistema proposto, no mercado há, entre as diversas opções de baterias, as de Íons de Lítio (Li-Ion) e as de Polímero de Lítio (Li-Po), que será definida após o desenvolvimento final do circuito eletrônico, tendo em vista necessidade de cálculo baseado no consumo do sistema.

Quanto à válvula solenoide Wi-Fi, o usuário poderá utilizar qualquer modelo disponibilizado no mercado, como as válvulas fornecidas pela marca Tuya, Sonoff e entre outras.

3.5 Circuito Eletrônico (*Hardware*)

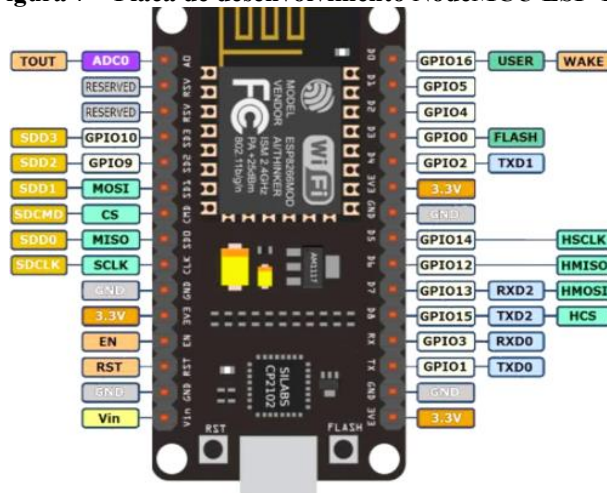
O *hardware* é composto pelos seguintes componentes:

- Placa de desenvolvimento NodeMCU ESP-12;
- Sensor de umidade do solo ou higrômetro;
- Sensor de umidade e temperatura do ar DHT22 (ou sei similar AM3202);
- Bateria, a ser definida após os testes de consumo do protótipo.

3.5.1 NodeMCU ESP-12

A NodeMCU ESP12, mostrada na Figura 7, é uma placa de desenvolvimento que integra interface USB/Serrial, regulador de tensão 3,3 V e um microcontrolador ESP8266. Este microcontrolador possui um periférico para controle da comunicação Wi-Fi, suporta também conexão com o protocolo TCP/IP e possui 11 portas E/S.

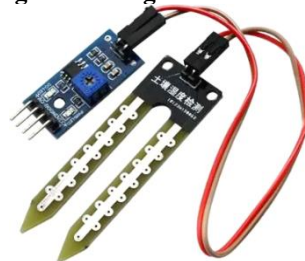
Figura 7 – Placa de desenvolvimento NodeMCU ESP-12.



3.5.2 Sensor de Umidade do Solo

O sensor de umidade do solo, higrômetro, modelo 9SS19, apresentado na Figura 8, foi desenvolvido para detectar variações de umidade do solo.

Figura 8 – Higrômetro 9SS19.



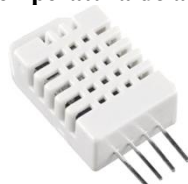
O sensor entrega valores de umidade do solo no formato de um número inteiro, de 0 a 1023. Os valores obtidos para os diferentes níveis de umidade do solo foram:

- **Solo úmido:** de 0 a 400
- **Solo com umidade média:** de 401 a 800
- **Solo seco:** de 801 a 1023

3.5.3 Sensor de Umidade e Temperatura do Ar

O sensor de umidade e temperatura do ar escolhido para o sistema proposto foi o modelo DHT22, apresentado na Figura 9, por permitir leituras entre -40 e 80°C e umidade entre 0 e 100%, condizentes com dados para áreas externas.

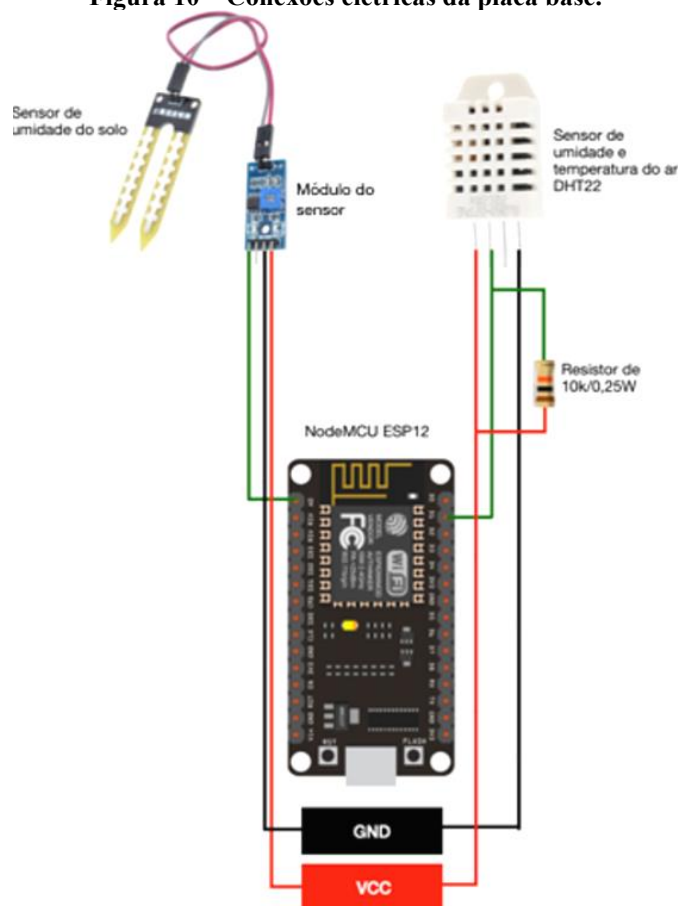
Figura 9 – Sensor de umidade e temperatura do ar DHT22 (ELETROGATE, 2022).



3.5.4 Conexões Elétricas da Placa Base

A Figura 10 apresenta as conexões elétricas entre os sensores e o NodeMCU.

Figura 10 – Conexões elétricas da placa base.



3.6 Software Embarcado

Escrito em linguagem C, o *software* embarcado deste projeto foi desenvolvido utilizando o modelo computacional de Máquinas de Estados Finitos, do tipo transdutor, ou seja, possui entradas e saídas de dados. A escolha deste modelo caracteriza-se pela possibilidade de criar estados independentes para cada ação do usuário através da interface gráfica, assim como decisões internas do próprio sistema. Além ter o controle sobre os estados, em tempo real de modo simultâneo, será realizada a coleta dos dados obtidos em cada sensor e informado ao *software* embarcado, no respectivo estado.

3.6.1 Estados do Sistema

No *software* embarcado foram implementados 11 estados de funcionamento para o sistema proposto, ou seja, estes estados representam o fluxo pelo qual o sistema deverá percorrer para atender aos pré-requisitos do sistema, ações de usuários e tomadas de decisões baseada em eventos. A Tabela 2 apresenta o ID, o nome dos estados e a função de cada um deles no sistema.

Tabela 2 – Estados da máquina de estados do *software*.

ID	Estado	Função
0	ST_INIT	Responsável pela inicialização, estabilização, e atender a eventos do sistema
1	ST_INIT_FAILURE	Responsável por informar em forma de eventos falhas durante a inicialização do sistema
2	ST_SENSOR_DET_CALIBRATE	Responsável pelo funcionamento dos sensores
3	ST_STANDBY	Estado que aguarda eventos de conexão a partir da ação usuário
4	ST_WAITING_CONNECTION	Responsável por atender a eventos de conexão de rede
5	ST_OK_TO_REGISTER	Responsável pela associação da placa base com a conta do cliente
6	ST_READY	Responsável por informar através de eventos que o sistema está disponível para uso
7	ST_APPLY_VALVE	Responsável por aplicar o vínculo entre os sensores de umidade do solo e a válvula
8	ST_STANDBY_MONITOR	Responsável por atender eventos a partir de ações do usuário (<i>start/stop</i>)
9	ST_SOIL_MONITORING	Responsável por monitorar os eventos de umidade, clima e ações do usuário
10	ST_IRRIGATION	Responsável por monitorar o processo de irrigação, eventos de clima e ações do usuário

3.6.2 Eventos do Sistema

Foram implementados 24 eventos implementados no sistema embarcado (Tabela 3); responsáveis por informar o resultado das operações realizadas na inicialização do sistema, pelas ações do usuário e pelas decisões tomadas dentro de cada estado.

Tabela 3 – Eventos do sistema.

ID	Evento	Status
0	EV_MAIN_HW_OK	Sistema OK
1	EV_MAIN_HW_NOK	Falha ao iniciar o sistema
2	EV_ALL_SENSORS_ITS_WORKING	Todos os sensores estão em funcionamento
3	EV_SENSORS_ITS_NOT_WORKING	Um ou mais sensores com problema
4	EV_REQUEST_NETWORK_CONNECTION	Aguardando pedido de conexão com a rede
5	EV_NETWORK_CONNECTED	Rede conectada
6	EV_NETWORK_DISCONNECT	Rede desconectada
7	EV_NEW_SENSOR	Pronto para adicionar novo sensor
8	EV_NEW_VALVE	Pronto para adicionar nova válvula
9	EV_COMPONENT_NOT_ADDED	Problema ao adicionar sensor e/ou válvula
10	EV_COMPONENT_ADDED	Sensor ou válvula adicionada
11	EV_READY_TO_USE	Sensor e/ou válvula pronto para uso
12	EV_RCVD_SOIL_DATA	Sensor de umidade do solo recebeu parâmetros
13	EV_SOIL_DATA_NOT_RCVD	Sensor de umidade do solo não recebeu parâmetros
14	EV_VALVE_ADDED	Válvula vinculada ao sensor
15	EV_VALVE_NOT_ADDED	Válvula sem vínculo com sensor
16	EV_START_MONITOR	Iniciar monitoramento do solo e do clima
17	EV_STOP_MONITOR	Parar monitoramento do solo e do clima
18	EV_RAINING	Chovendo
19	EV_START_IRRIGATION	Iniciar o processo de irrigação
20	EV_SOIL_HUMID_ACHIVED	Umidade ideal do solo atingida
21	EV_SOIL_HUMID_DOWN_OF_RANGE	Umidade do solo abaixo do ideal
22	EV_STOP_IRRIGATION	Parar processo de irrigação
23	EV_SOIL_HUMID_HIGH_OF_RANGE	Umidade do solo acima do ideal

3.6.3 Funções do Sistema

As funções implementadas no sistema, foram divididas em três módulos: funções de inicialização, funções de configuração e funções de interface.

As funções de inicialização são responsáveis pelas configurações iniciais do sistema, sendo elas:

- **p_init_hw:** função que controla a inicialização e estabilização do *hardware*;
- **p_init_sw:** função que atribui as configurações iniciais para os pinos utilizados pelos sensores, funcionamento do módulo Wi-Fi e a inicialização da comunicação com o banco de dados;
- **p_sensor_detec_calib:** função responsável pela detecção dos sensores do solo e do ar com a placa base e pela calibração deles.

As funções de configuração são responsáveis pela orquestração dos sensores e válvula e conexão de rede, sendo elas:

- **p_waiting_connection:** função que disponibiliza os recursos de conexão de rede do módulo Wi-Fi para uso;
- **p_ok_to_register:** função que realiza a configuração de rede na placa base e na válvula;
- **p_add_component_to_account:** função que vincula o novo componente conectado à rede com a conta do cliente no banco de dados;
- **p_apply_valve:** função que vincula a válvula com a placa base.

As funções de interface, são responsáveis por atender as ações do usuário, bem como, tomar decisões automaticamente com base em configurações previamente realizadas, sendo elas:

- **p_standby_monitor:** função que recebe o parâmetro de umidade do solo salvo banco de dados, pelo qual o sensor usará como referência para o monitoramento. Esta função também atenderá a ação de iniciar o monitoramento feito pelo usuário;

- **p_soil_monitoring:** função que monitora a umidade do solo em tempo real e informa o percentual ao sistema para as tomadas de decisões, como por exemplo, iniciar irrigação, percentual ideal alcançado, percentual de umidade baixo ou alto e parar irrigação;
- **p_irrigation:** função que controla o processo de irrigação e toma decisões a partir de eventos de chuva, umidade alcançada, umidade baixa e parar a irrigação.

3.7 Banco de Dados

Um banco de dados é uma coleção organizada de informações, ou de dados, geralmente organizados em linhas e colunas, e em uma série de tabelas para realizar o processamento e a consulta dos dados. A grande parte dos bancos de dados usa linguagem estruturada de consulta SQL para escrever e consultar dados.

Neste projeto, o banco de dados utilizado foi o Firebase do Google, por facilitar a comunicação dos dados tanto diretamente com a NodeMCU, quanto com o aplicativo móvel, permitindo a leitura e escrita de dados em tempo real.

3.7.1 Firebase

O Firebase é uma plataforma digital do Google desenvolvida para contribuir com a criação de aplicativos *web* e *mobile* de maneira prática, simples e gratuita quando utilizada para desenvolvimento. O principal objetivo do Firebase é melhorar o desempenho das aplicações com a união de várias funcionalidades em um único lugar.

O Firebase é compatível com as plataformas móveis Android, iOS e *web*, além de suportar as linguagens de programação Java, C++, JavaScript e Node (CODESH, 2022).

3.7.2 Realtime Database

O modelo de banco de dados utilizado foi o *Realtime Database*, disponibilizado pela plataforma do Firebase, por se tratar de um banco de dados hospedado na nuvem. Os dados são armazenados em formato JSON, e automaticamente sincronizados em tempo real para cada cliente conectado. Ao contrário de um banco de dados SQL, não há tabelas nem registros. Quando um dado é adicionado à árvore JSON, ele se torna um nó na estrutura JSON com uma chave associada. A Figura 11 representa a estrutura em formato de árvore JSON do banco de dados utilizado pelo sistema.

Figura 11 – Estrutura do banco de dados.



3.7.3 Casos de Uso do Sistema

Durante o processo de monitoramento, o sistema irá basear-se na umidade ideal do solo configurada.

- **Caso 1:** O usuário cultiva tomates e a umidade ideal para o solo é 60% e automaticamente o sistema ficará atento a este percentual de umidade.
 - Quando a umidade atual baixar para 25% por exemplo, o sistema abrirá a válvula para que a irrigação aconteça, e ao mesmo tempo permanecerá monitorando a umidade atual do solo. Assim que a umidade atual alcançar a umidade ideal, o sistema irá fechar a válvula parando a passagem de água.
 - Durante o monitoramento do solo, bem como a irrigação, a temperatura e umidade do ar também serão monitorados.
- **Caso 2:** Se a umidade atual estiver abaixo da ideal, e estiver chovendo, o sistema não abrirá a válvula se a umidade atual estiver aumentando, até alcançar a umidade ideal. Desta forma será economizada água e não terá excesso de água na cultura;
- **Caso 3:** Se durante o processo de irrigação começar a chover, o sistema irá fechar a válvula e monitorar a umidade atual até que ela alcance a umidade ideal para irrigar se for necessário;
- **Caso 4:** Se umidade atual estiver abaixo da ideal e o sistema entender a probabilidade de chuva nos próximos minutos, a válvula ficará fechada. Se chover, a atuação do sistema será igual a mencionada no Caso 3;
- **Caso 5:** Quando estiver chovendo, se a chuva parar e a umidade atual do solo estiver abaixo da ideal, o sistema irá abrir a válvula até que a umidade atual alcance a ideal;

Em todos os casos, se o usuário acionar o botão parar monitoramento na interface de usuário, o monitoramento e irrigação sairão de funcionamento.

3.7.4 Interface de usuário

A interface de usuário foi implementada utilizando o *framework React Native*, que por sua vez utiliza a linguagem JavaScript. Para realizar o envio e recebimento dos dados diretamente para o banco de dados, foi utilizada a biblioteca *Database* disponibilizada pelo *Firebase Realtime Database* a partir de chamadas de funções sendo elas:

- **set:** envia uma nova entrada de dados para o banco de dados;
- **onValue:** faz a leitura valores de dados salvos no banco de dados, inclusive quando forem atualizados automaticamente;
- **update:** realiza atualizações de dados em campos existentes no banco de dados.

A Figura 12 representa a interface de usuário apresentando os valores obtidos pelos sensores, como o nível de umidade atual do solo e umidade ideal configurada, temperatura e umidade do ar, o *status* do sistema e outras informações sobre o *hardware*.

Figura 12 – Interface de usuário.

Sistema:
S/N:
00112233445566778899

Autonomia da bateria:
89

Status:
monitoring

Percentual de umidade atual do solo:
427

Nível de umidade do solo:
Solo com umidade média

Percentual de umidade ideal para o solo:
1000

Umidade do Ar:
82.8

Temperatura do Ar:
24.7

Ler

3.7.5 Arquitetura do Sistema

A escolha do *Realtime Database* facilitou o desenvolvimento do projeto por criar independência entre o *software* embarcado, a interface de usuário e o próprio banco de dados. Descartando a necessidade do desenvolvimento de uma API proprietária, responsável pelas chamadas de leitura e escrita entre as partes do sistema, o *Realtime Database* garante a persistência dos dados e permite que o *software* embarcado e a interface de usuário realizem leituras ou enviem dados em tempo real. Mantendo o sistema constantemente atualizado.

A interface de usuário realiza chamadas ao banco de dados também em tempo real, através da função **onValue** disponibilizada pela biblioteca *Database* mantendo os dados sempre atualizados.

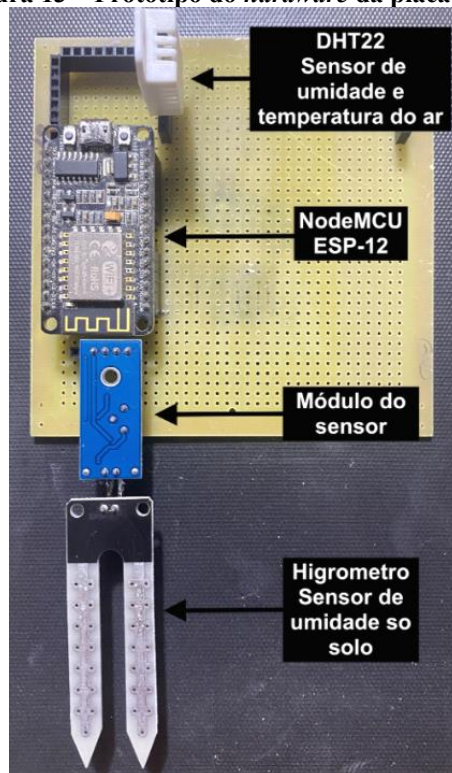
O *software* embarcado, realiza a leitura dos dados armazenados no banco de dados, também em tempo real, e partir destas leituras toma decisões de escrita para o banco de dados manter-se atualizado, bem como utiliza dessas leituras para a tomada de decisões na máquina de estados, como por exemplo parar o monitoramento ou atualizar o percentual de umidade ideal informado pelo usuário através da interface de usuário.

4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

4.1 Protótipo do Circuito Eletrônico

Com base no circuito eletrônico representado pela Figura 10, o protótipo do *hardware* eletrônico foi montado utilizando os sensores de umidade do solo e umidade e temperatura do ar, bem como a placa de desenvolvimento NodeMCU. A Figura 13 representa o protótipo da placa base, que foi levada em campo para realização dos testes com alguns dos possíveis clientes do sistema.

Figura 13 – Protótipo do *hardware* da placa base.

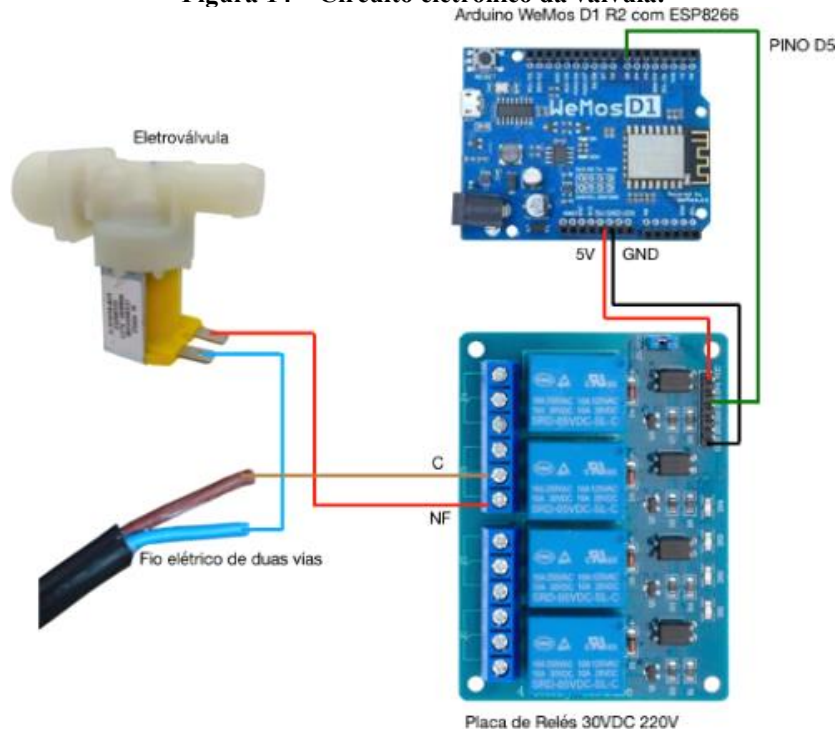


Para representar a válvula solenoide Wi-Fi, foi realizada a montagem de um protótipo utilizando os componentes de *hardware* especificados na sequência, levando em consideração a limitação de investimentos financeiros para compra de uma válvula nova disponível no mercado.

- Wemos D1 R2 com módulo Wi-Fi integrado ao ESP8266;
- Uma placa de Relés 30 V / 10 A;
- Uma eletroválvula simples 220 V;

O circuito eletrônico utilizado para implementar a montagem do protótipo da válvula está apresentado na Figura 14.

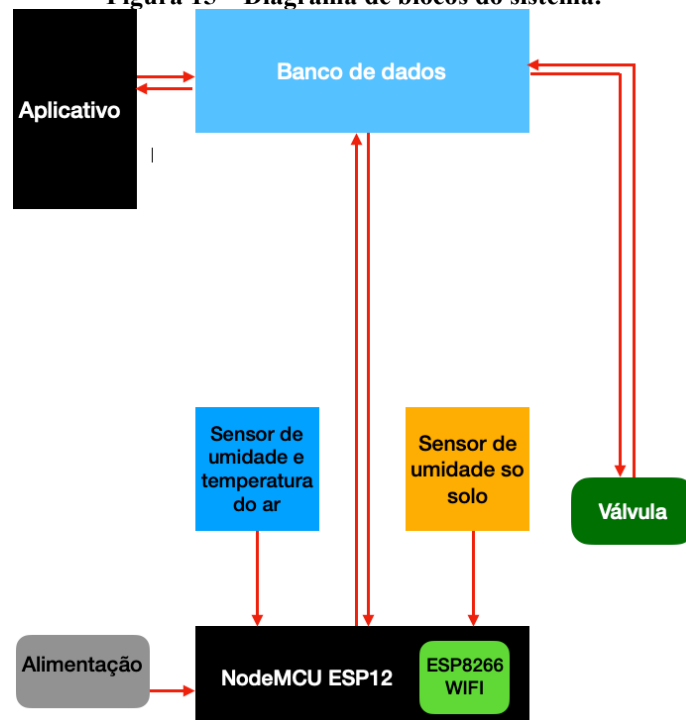
Figura 14 – Circuito eletrônico da válvula.



Para que a válvula receba os comandos enviados pelo usuário através da interface e salvos no banco de dados, foi escrito um pequeno *software* em linguagem C e embarcado no Wemos, permitindo o comando da válvula.

O *software* embarcado desenvolvido para válvula realiza a conexão com a rede Wi-Fi, bem como acessa o banco de dados *Firestore Realtime Database* através da APIKEY, a mesma configurada na placa base, tornando-a totalmente compatível com o sistema. Para melhor entendimento do sistema proposto, a Figura 15 apresenta um diagrama de blocos completo do projeto.

Figura 15 – Diagrama de blocos do sistema.



4.2 Validação do Protótipo

O processo de avaliação do protótipo desenvolvido foi realizado em campo, com o intuito de adquirir mais informações sobre o dia a dia do cultivador, com base na umidade do solo. Como o propósito do sistema

é atender os mais variados tipos de cultura, e entender como o sistema poderá atender o máximo das necessidades existentes em culturas de pequeno e médio porte, foram realizados testes nos seguintes cenários:

- Em um produtor de hortaliças de médio porte.
- Em um produtor de morango de médio porte.
- Em um produtor de verduras, hortaliças e temperos doméstico (pequeno porte).

4.2.1 Produtor de Hortaliças de Médio Porte

Os testes foram realizados no dia 10 de maio de 2023 com início às 7 horas e 30 minutos e concluídos ao meio-dia.

A área possui infraestrutura de irrigação com água encanada e tubulações direcionadas para cada quadra de cultivo, conduzindo a água para as hortas. Para cada quadra há um registro para abrir e fechar a passagem de água manualmente.

O processo de irrigação das hortas é realizado manualmente, e com base na experiência do produtor, ou seja, diariamente entre 6 horas e 19 horas, três pessoas monitoram a olho nu e toque manual no solo, a fim de identificar períodos de seca.

No inverno, a irrigação é realizada aproximadamente três vezes no período da manhã e entre 4 e 5 vezes no período da tarde. No verão, o trabalho aumenta, pela manhã, aproximadamente 5 vezes e a tarde, entre 7 e 8 vezes, tendo em vista que a temperatura do ar aumenta, deixando o solo mais seco. A Figura 16 apresenta as quadras de hortas contendo cinco tipos de hortaliças, sendo elas, alface verde, salsa, couve folha, alface roxa, e couve alta.

Figura 16 – Quadras do cultivo de hortaliças.



A coleta dos dados da alface verde foi realizada antes da irrigação, identificando a umidade do solo obtida durante a noite a partir do sereno e orvalho da manhã.

Na horta da salsa os dados foram coletados 30 minutos após a irrigação e o solo apresentava alta umidade.

Nas coletas de dados dos dois tipos de couve folha e da alface roxa, que aconteceram entre uma hora e uma hora e trinta minutos após a irrigação, o solo estava úmido, porém diminuindo nível para umidade média necessitando de irrigação nos próximos minutos. A Tabela 4 apresenta os resultados das coletas utilizando o sistema no cultivo das hortaliças.

Tabela 4 – Resultados em campo das hortaliças.

Cultura	Valor do Sensor	Nível de umidade do solo
Alface verde	418	Umidade média
Alface roxo	273	Úmido
Couve folha	277	Úmido
Couve folha alta	339	Úmido
Salsa	91	Úmido

De acordo com a Tabela 4, foi constatado que o sistema apresentou resultados esperados de acordo com o nível de umidade do solo levando em consideração a irrigação realizado em cada cultura, bem como a necessidade de irrigar novamente.

Neste produtor não foi possível realizar a irrigação automaticamente por limitações relacionadas à infraestrutura de condução da água para hortas.

4.2.2 Produtor de Morango e Médio Porte

Os testes foram realizados no dia 15 de maio de 2023 com início às 14 horas e concluídos às 19 horas. O cultivo do morango é coberto e o plantio é feito com o solo ensacado numa altura de 50 centímetros acima do chão. A área possui infraestrutura de irrigação, que é composta por mangueiras flexíveis de 15 metros com furos de 8 em 8 centímetros e válvulas de água. O processo de irrigação é realizado manualmente, revezado por duas pessoas todos os dias, 4 vezes por dia com um período de 1 minuto por vez.

O solo ensacado mantém-se úmido de diferentes modos durante o dia dependendo da temperatura e umidade do ar. Em dias frios, o solo se mantém úmido por mais tempo proporcionando maior tempo entre as irrigações, já em dias quentes ocorrem duas variações. A primeira acontece após a irrigação, o ensacamento do solo produz umidade por estar seco e receber água deixando o solo úmido por mais tempo, e a segunda, após o aumento da temperatura as raízes consomem uma quantidade maior de água deixando o solo com umidade média ou totalmente seco. A Figura 17 apresenta o cultivo do morango ensacado.

Figura 17 – Cultivo de morango ensacado.



A primeira coleta realizada foi com o solo seco. A última irrigação havia sido realizada 4 horas antes e por se tratar de mudas novas de morango, o consumo de água é maior e o solo passa a secar com mais rapidez, exigindo muita atenção e cuidado do produtor nos primeiros 30 dias de cultivo.

A segunda coleta foi realizada em um setor com o solo apresentando umidade média, bem como umidade no ensacamento, mantendo o solo úmido por mais tempo. Neste caso a irrigação acontece com intervalos maiores de tempo, porém requer bastante atenção.

A terceira coleta foi realizada na sequência de uma irrigação, apresentou bastante umidade e um consumo de água mais lento em relação as primeiras coletas. Foi necessário irrigar em aproximadamente 3 horas após a última irrigação. Isso acontece com pés maiores e mais consolidados, com raízes maiores e mais finas, bem como muitas flores formadas a ponto de tornassem frutos. A Tabela 5 apresenta os dados obtidos durante os testes.

Tabela 5 – Resultados em campo de morango ensacado.

Cultura	Valor do Sensor	Nível de umidade do solo
Morango	921	Seco
	102	Úmido
	426	Umidade média
	393	Úmido
	390	Úmido

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 5, o sistema apresentou os resultados esperados em relação à umidade do solo. A irrigação foi acionada automaticamente pelo sistema nos testes onde o solo apresentou umidade média e totalmente seco.

4.2.3 Produtor Doméstico de Pequeno Porte

Os testes foram realizados no dia 17 de maio de 2023, tendo início às 10 horas da manhã e finalizados às 16 horas. Este produtor cultiva hortaliças e verduras em sua casa para o consumo da sua família e de seus hóspedes. A área tem aproximadamente 20 metros quadrados e as hortas são misturadas entre as culturas mencionadas. Não há infraestrutura de irrigação fixa, o processo de irrigação acontece manualmente, com o manuseio de mangueiras e um pistão de ferro que fornece a água em forma de aspersão. O produtor realiza a irrigação todos os dias, 3 vezes por dia, e leva em torno de 1 hora para irrigar todas as hortas.

O solo da área de cultivo é levemente íngreme com altura de aproximadamente 30 centímetros menor que o lado mais alto e possui uma área de sombra causada por suas árvores tomando aproximadamente 5 metros quadrados da área. A Figura 18 o apresenta o cultivo de alface, alecrim, orégano, cenoura, almeirão, rabanete, tomate, cebola roxa e milho.

Figura 18 – Cultivo doméstico.



A primeira irrigação foi realizada às 7 horas da manhã em todas as hortas. O primeiro teste foi realizado às 10 horas e quinze minutos na horta de alface, alecrim e orégano. O solo estava seco, necessitando de irrigação. Foram coletados os dados em 6 partes desta hora e constatado o estado de solo seco através de valores entre 812 e 1021. Esta horta fica totalmente exposta ao sol.

O segundo teste foi realizado perto das 12 horas na horta de cenoura, almeirão e rabanete. Esta é uma horta nova e está sendo cultivada próximo da área de sombra da qual demonstrou umidade média, porém bem próximo de solo seco. Os valores obtidos nos testes estavam próximos de 800.

O terceiro teste foi realizado entre uma e duas horas após a irrigação do meio-dia. Os dados foram obtidos nas hortas de tomate, cebola roxa e de milho. As três hortas mencionadas ficam totalmente expostas ao Sol, possuem raízes maiores e mais grossas e consomem bastante água, por conta das folhas mais longas.

Aproximadamente uma hora após a irrigação, o solo estava alcançando a umidade média, e em duas horas estava seco. A próxima irrigação aconteceria apenas às 18 horas e com isso todo o cultivo ficaria sem água por bastante tempo. A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos com o sistema.

Tabela 6 – Resultados no produtor doméstico.

Cultura	Valor do Sensor	Nível de umidade do solo
Alecrim	1012	Solo seco
Alface	812	Solo seco
Almeirão	721	Umidade média
Cebola roxa	399	Úmido
Cebola roxa	1002	Solo seco
Cenoura	718	Umidade média
Orégano	1021	Solo seco
Milho	398	Úmido
Milho	1024	Solo seco
Rabanete	721	Umidade média
Tomate	398	Úmido
Tomate	920	Solo seco

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 6, o sistema apresentou o resultado esperado em relação à umidade do solo e à necessidade de irrigação. A irrigação foi acionada automaticamente pelo sistema nos testes onde o solo apresentou umidade média e totalmente seco.

4.3 Questionário Pós-Validação em Campo com os Produtores

Após a realização da validação da proposta de solução em campo, foi realizada uma entrevista com os três produtores a fim obter opiniões a respeito da usabilidade do sistema, bem como o quanto sistema poderá contribuir com o dia a dia no seu trabalho e a qualidade do que é cultivado. A entrevista foi realizada simultaneamente com os 3 produtores e as respostas foram compiladas para apresentar os resultados de forma mais clara.

- **Pergunta 1:** Quais os benefícios de identificar com precisão a umidade do solo?
 - **Resposta:** “Entender e identificar a umidade do solo do que cultivamos é importante para mantermos as hortas altamente umedecidas, obedecendo limite de água para o crescimento ideal e ao mesmo tempo economizando água. Desta forma, conseguimos extrair ao máximo o potencial de nossos cultivos e colher bons frutos do nosso trabalho.”
- **Pergunta 2:** A irrigação acontecer automaticamente contribui?
 - **Resposta:** “Sim, entendemos que o fato de ter um sistema pelo qual não precisamos nos preocupar sempre que há necessidade de irrigar as hortas, e tendo este benefício não somente durante o dia nos casos de verão, além de feriados e fins de semana que não precisamos nos locomover para executar esta atividade, contribuirá muito e será de suma eficiência. Um grande diferencial para este trabalho.”
- **Pergunta 3:** Economizar mão de obra é importante?
 - **Resposta:** “A mão de obra sempre tem o maior custo, em relação ao tempo que precisamos dispor para cuidar das hortas, bem como a necessidade de contratar funcionários para ajudar no dia a dia. Levando em consideração que o sistema faz a irrigação de acordo com a umidade e monitora tudo em tempo real, consideramos também como um excelente diferencial.”
- **Pergunta 4:** Economizar água também ajuda?
 - **Resposta:** “A economia de água é sempre muito importante. A proporção ideal de água ajuda a planta a crescer, dar bons frutos, e ajuda o mundo! Alguns produtores utilizam a água diretamente do lençol freático, outros diretamente do distribuidor de água, com isso temos particularidade nos custos, mas levar isso em consideração, também nos ajudará muito.”
- **Pergunta 5:** O sistema possuir alta previsibilidade sobre condições climáticas, também será importante?
 - **Resposta:** “Com toda certeza! Acreditamos que ao unir previsibilidade sobre as condições do tempo, a irrigação automatizada e identificação da umidade do solo, teremos uma solução que proporcionará alto desempenho ao nosso dia a dia, bem como uma gama enorme de benefícios para o que cultivamos, além da sobra de tempo versus mão de obra.”

5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Com a realização dos testes em campo, foram observados que a agricultura possui muitas características e peculiaridades relacionadas ao solo e ao tipo de cultura. Desenvolver um projeto que não identifique a

umidade do solo não resolveria a dor do cultivador pois todos os dias são observados fatores como área de sombra, solos propensos à umidade bem como à seca, dos quais necessitam de ajustes para que a cultura cresça com qualidade, refletindo em mais trabalho braçal.

A umidade do solo é um fator de suma importância dentro do processo de cultivo. O cultivo de hortaliças, frutas e algumas verduras e outros tipos de cultura necessitam de um solo bem úmido desde o processo de plantio até a colheita tomando boa parte do dia do cultivador.

Analisando o resultado dos testes e entendendo um pouco mais sobre o dia a dia do produtor, conclui-se que a ausência e o excesso de água são prejudiciais à qualidade e produtividade da maior parte dos tipos de cultura e que o sistema poderá contribuir com este problema identificando a necessidade de irrigar sempre que for necessário e realizar o processo automaticamente.

Foi observado também a importância de identificar o nível de umidade do solo e proporcionar ao produtor a configuração do fator de umidade mais adequado para o seu cultivo.

O acesso remoto bem como controle sobre o sistema e sobre a cultura irá proporcionar confiança e liberdade ao produtor. O sistema irá garantir que na sua ausência ou com o surgimento de imprevistos a irrigação irá acontecer automaticamente e até mesmo poderá ser acionada manualmente através do aplicativo no *smartphone*.

Levando os pontos mencionados em consideração, é possível concluir que o sistema demonstrou os resultados esperados e pode colaborar com o trabalho exercido na agricultura.

Durante o processo do desenvolvimento do projeto, bem como os testes realizados e sugestões obtidas na pesquisa com os usuários, foram elencadas melhorias a serem implementadas no projeto, sendo elas:

- Aplicativo para *smartphone*, compatível com os sistemas operacionais iOS e Android;
- Implementar o processo de pareamento da placa base com a aplicação e banco de dados através de QRCode;
- Integração do aplicativo com a API OpenWeather (Free) para obter precisão na previsão do tempo bem como mensurar com mais precisão a umidade e temperatura do ar (OPEN WEATHER MAP, 2023);
- Implementar protocolo de comunicação com as válvulas Wi-Fi disponíveis no mercado, por exemplo Tuya e Sonoff;
- Desenvolver protótipo de *hardware* com gabinete e proteção IP66/IP67;
- Sensores e válvulas setorizadas, para que vários sensores possam controlar mais de uma válvula simultaneamente;
- Geolocalização para os sensores e válvulas terem sua localização encontrados facilmente para ajustes e/ou manutenção;
- Mensurar volume de água da chuva;
- Indicação do potencial de fertilidade do solo;
- Realizar testes em outros tipos de culturas praticados em outros estados do país;
- Adicionar ao sistema um sensor de chuva;
- Realizar testes em dias chuvosos;
- Realizar testes dedicados nas estações do ano com foco na umidade do solo e umidade e temperatura do ar;
- Realizar testes com os sensores de umidade do solo, capacitivo, resistente a corrosão e variados tamanhos de hastes;
- Realizar estudo sobre a quantidade de sensores serão necessários para o correto monitoramento por metro quadrado das hortas.

REFERÊNCIAS

ACQUACONTROLL. **Sistema de irrigação automatizado**. 2023. Disponível em:

<<https://www.acquacontroll.com.br/sistema-irrigacao-automatizado>>. Acesso em: 7 de janeiro de 2023.

AEGRO. **Agricultura Irrigada**. 2022. Disponível em: <<https://blog.aegro.com.br/agricultura-irrigada/>>.

Acesso em: 20 de janeiro de 2023.

AMAZON. **IoT**. 2022. Disponível em: <<https://aws.amazon.com/pt/what-is/iot/>>. Acesso em: 12 de novembro de 2022.

CODESH. **O que é Firebase**. 2022. Disponível em: <<https://coodesh.com/blog/dicionario/o-que-e-firebase/>>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2023.

CURTO CIRCUITO. **Sensores de umidade do solo**. 2023. Disponível em:

<<https://curtocircuito.com.br/blog/Categoria%20Arduino/sensores-de-umidade-de-solo-tipos-e-diferencas>>. Acesso em: 13 de março de 2023.

ELETROGATE. **Sensores DHT11 e DHT22**. 2022. Disponível em: <<https://blog.eletrogate.com/sensores-dht11-dht22/>>. Acesso em: 30 de maio de 2023.

EMBARCADOS. **Sistema Embarcado**. 2017. Disponível em: <<https://embarcados.com.br/sistema-embarcado/>>. Acesso em: 4 de abril de 2023.

EMBARCADOS. **Introdução a sistemas embarcados e microcontroladores**. 2018. Disponível em: <<https://embarcados.com.br/sistemas-embarcados-e-microcontroladores/>>. Acesso em: 4 de abril de 2023.

IRRIGAFLORA. **Sistema de irrigação automatizada**. 2023. Disponível em: <<https://www.irrigaflora.com.br/sistema-irrigacao-automatizada-gotejamento>>. Acesso em: 13 de abril de 2023.

IRRISMART. **Construções**. 2023. Disponível em: <<http://irrismart.com.br/#services>>. Acesso em: 13 de abril de 2023.

LABONE. **Modelo de Kano**. 2020. Disponível em: <<https://www.laboneconsultoria.com.br/modelo-de-kano/>>. Acesso em: 14 de janeiro de 2023.

MEIO E MENSAGEM. **Internet das Coisas**. 2022. Disponível em: <https://www.meioemensagem.com.br/proxima/internet-das-coisas?gelid=CjwKCAiAioifBhAXEiwApzCztqKpWj2pmY9vGwY5kP6fyZ8PMglU9Bat8lVoFYmxBxtfToPR95D5OxoC2rsQAvD_BwE%5C>. Acesso em: 5 de janeiro de 2023.

MUNDO EDUCAÇÃO. **Agricultura**. 2023. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/agricultura.htm#:~:text=A%20agricultura%20%C3%A9%20uma%20pr%C3%A1tica,outros%20campos%20da%20atividade%20econ%C3%B4mica.>>. Acesso em: 5 de janeiro de 2023.

OPEN WEATHER MAP. **API para clima e tempo**. 2023. Disponível em: <<https://openweathermap.org/>>. Acesso em: 7 de maio de 2023.

SMARTAGRI. **Consultoria**. 2023. Disponível em: <<https://smart.agr.br/sobre-a-smart-agri/>>. Acesso em: 4 de janeiro de 2023.

VIDA E SILÍCIO. **DHT22**. 2023. Disponível em: <<https://www.vidadesilicio.com.br/produto/dht22/>>. Acesso em: 7 de maio de 2023.

VIEIRA, J. N. **Introdução aos fundamentos da computação**. Cap. 2, Máquinas de estados finitos. Editora Thomson, 1ª ed., p. 29-30, 2004.