



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA

CURSO DE ENGENHARIA INFORMÁTICA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO E MONITORIA DO CAMPO
AGRÍCOLA COM BASE EM INTERNET OF THINGS (IoT)**

Caso de Estudos: Associação Regantes da Massaca - Distrito de Boane

Autor

Massuque, Abubacar Rachid

Supervisor

Eng^o Rúben Manhiça

Maputo, Agosto de 2022



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA

CURSO DE ENGENHARIA INFORMÁTICA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO E MONITORIA DO CAMPO
AGRÍCOLA COM BASE EM INTERNET OF THINGS (IoT)**

Caso de Estudos: Associação Regantes da Massaca - Distrito de Boane

Autor

Massuque, Abubacar Rachid

Supervisor

Eng^o Rúben Manhiça

Maputo, Agosto de 2022



Universidade Eduardo Mondlane

Faculdade de Engenharia

Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Curso de Engenharia Informática

TERMO DE ENTREGA DO RELATORIO DE TRABALHO DE LICENCIATURA

Declaro que o estudante Abubacar Rachid Massuque entregou no dia __/__/____/, as 3 cópias do relatório do seu Trabalho de Licenciatura com referência 2022EITLN101, intitulado: Desenvolvimento de um sistema de irrigação e monitoria do campo agrícola com base em Internet of Things (IoT)

Maputo, 16 de Agosto de 2022

Chefe da Secretaria

DEDICATÓRIA

Dedico o meu trabalho ao meu Pai Zito Monile Caminho, a minha mãe Telma Marino Massuque Caminho, à minha avó Luísa Catarina Manuel Cossa, ao meu Avô Dinis Feliciano Julai, aos meus tios, pelo apoio e dedicação ao longo dos seis anos incansavelmente sacrificaram-se em conseguir cada centavo para poder financiar os meus estudos mesmo diante de muitas adversidades, a vós sou grato por todo vosso apoio e esforço.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida, força, coragem e sabedoria proporcionada que serviram na realização deste projeto.

Agradeço a atenção cuidadosa e paciência dispensada, sobretudo o profissionalismo com qual o Engenheiro Ruben Manhiça supervisionou este trabalho.

Ao Engenheiro Délcio Chadreca pela ajuda na escolha do tema. A Natacha Mugabe pelo companheirismo ao longo do ano de estudo, fazendo sentir a sua preocupação e repassando o seu conhecimento a cada preocupação lançada.

Aos meus amigos Gregório António, Dionildo Peleve, que compartilharam dos inúmeros desafios que enfrentamos, sempre com o espírito colaborativo.

A todos colegas da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane que contribuíram directa e indirectamente para este sucesso. Especialmente para colegas do grupo FIRE (Belton Jamine, Cremildo Mucavel, Sérgio Adil, Jamisse Muando, Benizio Nhavoto, Bernardo Adamo, Anselmo Matavele e Hermenegildo Cumbana) pela amizade e ajuda incondicional em qualquer situação académica e pessoal.

Agradeço à minha família, pelo carinho, atenção e apoio que eles me deram durante toda a minha vida.

Agradeço a mim por acreditar em mim mesmo, por trabalhar incansavelmente durante essa jornada, por nunca desistir.

RESUMO

A agricultura desempenha um papel vital no desenvolvimento de Moçambique, pois é onde recai grande parte do seu potencial económico. Apesar de toda a expressão socioeconómica e potencialidades do segmento, a actividade agrícola enfrenta constantemente, o desafio de aumentar a produção de alimentos com regularidade, sendo afectada por alguns problemas básicos, dentre estes a dificuldade de uso da água e falta de alternativas tecnológicas adequadas às condições de vida desses agricultores que, por conta disso, são impedidos de produzir mais e melhor durante todo o ano.

O presente trabalho visa desenvolver um modelo de automação inteligente e sustentável de irrigação e monitoria de terrenos agrícolas baseado na Internet das Coisas e automação de baixo custo.

O Primeiro passo que se tomou foi procurar descrever e entender quais os dados necessários para a implementação de um sistema de irrigação para que a posterior, estes servirem como guia para a construção de um sistema de irrigação automatizado e de baixo custo relativamente aos sistemas de irrigação existentes.

Neste trabalho foram identificados também os principais benefícios de um sistema de irrigação e monitoria do campo agrícola baseado em IoT, que são: sustentabilidade, produtividade, economia, melhoria da qualidade dos produtos, mão-de-obra;

O modelo e o protótipo desenvolvido e testado em campo permitem concluir que para além do êxito funcional, o sistema tinha de ser de custo relativamente baixo em relação aos sistemas vigentes, de forma a orientar a pesquisa, questionou-se se o sistema proposto pudesse ser mais acessível em termos financeiros em relação aos sistemas de irrigação implementado Associação Regantes da Massaca - Distrito de Boane.

Com o orçamento obtido e aplicando um valor de tolerância de 10% do valor total, referente a oscilações de preços e custos ocultos, obtém-se um custo total de 319,088.00MT para a implementação do Sistema automatizado, onde também pode-se concluir que o sistema de irrigação e monitoria de campo agrícola com base em IoT é menos dispendioso por uma margem mínima de 2% e com uma margem máxima de 62%, para essa comparação não levou-se em consideração os encargos relativos a manutenção dos sistemas por falta de dados que indiquem a performance dos sistemas bem como o ciclo de vida dos mesmos.

Para trabalhos futuros algumas modificações podem ser feitas tais como uso da tecnologia LoRaWAN (rede de área ampla e longo alcance), uso de WebSockets que facilitam a transmissão de mensagens de diferentes dispositivos, uso do sensor de fluxo de água para medir o consumo de água utilizada pela plantação.

Palavras-Chave: Agricultura Inteligente. Automação. Irrigação. Internet das Coisas. Monitoria.

ABSTRACT

Agriculture plays a vital role in Mozambique's development, as this is where much of its economic potential lies. Despite all the socio-economic expression and potential of the segment, agricultural activity constantly faces the challenge of increasing food production on a regular basis, being affected by some basic problems, among them the difficulty of using water and the lack of adequate technological alternatives to the living conditions of these farmers who, because of this, are prevented from producing more and better throughout the year. The present work aims to develop an intelligent and sustainable automation model for irrigation and monitoring of agricultural land based on the Internet of Things and low-cost automation.

The first step that was taken was to try to describe and understand the data necessary for the implementation of an irrigation system so that later, these serve as a guide for the construction of an automated irrigation system and low cost compared to irrigation systems existing.

In this work, the main benefits of an irrigation system and monitoring of the agricultural field based on IoT were also identified, which are: sustainability, productivity, economy, improvement of product quality, workforce;

The model and prototype developed and tested in the field allow us to conclude that, in addition to the functional success, the system had to be relatively low cost compared to current systems, in order to guide the research, it was questioned whether the proposed system could be more affordable in terms of irrigation systems implemented Associação Regantes da Massaca - District of Boane. With the budget obtained and applying a tolerance value of 10% of the total value, referring to price fluctuations and hidden costs, a total cost of 319,088.00MT is obtained for the implementation of the automated system, where it can also be concluded that the IoT-based irrigation and field monitoring system is less expensive by a minimum margin of 2% and with a maximum margin of 62%, for this comparison, the costs related to the maintenance of the systems due to lack of data that indicate the performance of the systems as well as their life cycle.

For future work, some modifications can be made, such as the use of LoRaWAN technology (wide area and long-range network), use of WebSockets that facilitate the transmission of messages from different devices, use of the water flow sensor to measure water consumption used by the plantation.

Keywords: Smart Agriculture. Automation. Internet of Thing. Monitoring.

ÍNDICE

DEDICATÓRIA.....	II
AGRADECIMENTOS	III
RESUMO.....	IV
ABSTRACT	VI
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABELAS	XI
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	XII
CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	1
1.1 Contextualização	1
1.2 Definição do problema	3
1.2.1 Pergunta de pesquisa.....	4
1.3 Objectivos	5
1.3.1 Objectivo Geral.....	5
1.3.2 Objectivos Específicos	5
1.4 Metodologia	5
1.4.1 Classificação do Trabalho	5
1.4.2 Actividades desenvolvidas para descrever como é feito actualmente a implementação de Sistemas de Irrigação por gota-a-gota;	6
1.4.3 Actividades desenvolvidas para identificar os principais benefícios de um sistema de irrigação e Monitoria do campo agrícola beseado em IoT;	7
1.4.4 Actividades desenvolvidas para desenvolver um protótipo funcional que seja sustentável, eficaz na irrigação e de custo relativamente baixo.....	7
1.5 Estrutura do trabalho.....	9
CAPÍTULO 2: REVISÃO DA LITERATURA.....	10
2.1 Irrigação	10
2.1.1 Irrigação no contexto evolutivo das políticas e estratégias de desenvolvimento nacional	10

2.1.2	Dados Necessários para a implementação de um Sistema de irrigação.....	13
2.1.3	Sistemas de irrigação por gota-a-gota.....	15
2.2	Internet das Coisas	15
2.2.1	Arquitetura.....	16
2.2.2	Aplicações de IoT	18
2.3	Principais benefícios de um sistema de irrigação e Monitoria do campo agrícola baseado em IoT;	19
2.4	Sistema de Irrigação e Monitoria do campo agrícola baseado em IoT	20
2.4.1	Composição do sistema	21
CAPÍTULO 3: CASO DE ESTUDO		27
3.1	Localização	27
3.2	Implementação e Custo de investimento dos sistemas de Irrigação gota-a-gota	27
3.2.1	Constrangimentos e limitações nos do sistema de irrigação gota-a-gota implementado	29
3.3	Fontes de Abastecimento de Água	29
3.4	Clima e Hidrografia	30
3.5	Relevo e Solo.....	31
3.6	Agricultura.....	31
CAPÍTULO 4: PROPOSTA DE SOLUÇÃO		33
4.1	Descrição da proposta de solução.....	33
4.2	Dimensionamento	33
4.2.1	Da plantação	33
4.2.2	Da célula	35
4.2.3	Da Quantidade de Água Necessária	36
Capítulo 5 - Desenvolvimento do protótipo		38
5.1	Análise e definição de requisitos.....	38
5.1.2	Requisitos Funcionais	38

5.1.3 Requisitos não Funcionais	39
5.2 Projeto de sistema e software.....	40
5.2.1 Requisitos de Software.....	40
5.2.2 Requisitos de Hardware	40
5.2.1 Arquitectura	40
5.2.2 Modelo de funcionamento	45
5.3 Implementação e teste de unidade	49
5.3.1 Instalação do Mosquitto Broker no Windows.....	49
5.3.2 Instalação do Node-Red localmente.....	49
5.3.3 Instalação do Arduino IDE	49
5.3.4 Programação do ESP8266.....	50
5.4 Integração e teste de sistema	52
5.4.1 Resultados Obtidos	52
5.5 Operação e manutenção.....	54
5.5.1 Plano Instalação do Sistema de irrigação e monitoria de campo agrícola com base em Internet of Things (IoT)	54
CAPÍTULO 6: CONCLUSÃO	55
6.1 Recomendações.....	56
Referências / Bibliografia.....	56
ANEXO 1: GUIÃO DA ENTREVISTA	A11
ANEXO 2: PLATAFORMA FÍSICA.....	A22
ANEXO 3: CÓDIGO DO PROGRAMA	A35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:Número de dispositivos de IoT conectados 2015-2025	16
Figura 2: Diagrama de Arquitectura de Internet das Coisas.....	17
Figura 3: Sensor de humidade do solo.....	21
Figura 4:Sensor de Humidade e Temperatura	22
Figura 5:Acumulador de Energia Solar	23
Figura 6: Sensor de Presença	23
Figura 7: Buzzer.....	24
Figura 8: Microcontrolador ESP8266 NodeMCU.....	25
<i>Figura 9:Raspberry Pi 3B+</i>	25
Figura 10:Diagrama de pinos e partes constituintes de Raspberry Pi 3B+.....	27
Figura 11:Instalação de linhas	28
Figura 12: Filtro	28
Figura 13:Área de implementação do sistema de agricultura inteligente	29
Figura 14: Temperatura e precipitação médias em Boane	30
Figura 15:Dimensões da plantação	34
Figura 16:Disposição dos nós no sistema da plantação agrícola	35
Figura 17:Disposição da canalização do sistema de irrigação	37
Figura 18:Arquitectura do modelo de solução	41
<i>Figura 19: Representação esquemática do MQTT</i>	42
<i>Figura 20: Correlação entre Node-RED e linguagem C</i>	44
<i>Figura 21: Exemplo de um programa em fluxo feito em Node RED</i>	45
Figura 22:Topologia da rede, em estrela.....	46
Figura 23:Fluxograma do Sistema	46
Figura 24:Diagrama de Blocos do Sistema	47
Figura 25:Instalação da biblioteca do ESP8266.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores Aproximados Das Necessidades Hídricas Sazonais	36
Tabela 2: Requisitos Funcionais.....	39
Tabela 3:Requisitos não funcionais	40
Tabela 4: Orçamento do sistema	53
Tabela 5 : Calendarização do Plano de Implementação do Sistema	54
Tabela 6: Planos de Manutenção Preventiva	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ADC** -Analog-Digital Converter (Conversor Analógico-Digital)
- AI** – Agricultura Inteligente
- API** – Application Programming Interface (Interface de Programação de Aplicações)
- CPU** – Central Processing Unit (Unidade de Processamento Central)
- DHT** – Digital Humidity and Temperature (Humidade e Temperatura Digital)
- FAO** - Food and Agriculture Organization (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura)
- GPU** – Graphics Processing Unit (Unidade de Processamento Gráfico)
- GPIO** -General Purpose Input/Output (Entradas e Saídas de Uso Geral)
- IDE** – Integrated Development Environment – Ambiente de Desenvolvimento Integrado
- IEEE** – Instituto de Engenheiros Eléctricas e Electrónicos
- INE** – Instituto Nacional de Estatísticas
- IoT** – Internet of Things (Internet das Coisas)
- IP** – Internet Protocol (Protocolo de Internet)
- IU** – Interface do Usuário
- LAN** – Local Area Network (Rede Local)
- MADER** – Ministério da Agricultura e Desenvolvimento Rural
- MQTT** – Message Query Telemetry Transport - Transporte de Telemetria por Consulta de Mensagens
- PIR** - Passive Infrared Sensor (Sensor Infravermelho Passivo)
- TCP** - Transmission Control Protocol (Protocolo de Controle de Transmissão)
- TIC** – Tecnologias de Informação e Comunicação
- USB** – Universal Serial Bus
- WLAN** – Wireless Local Area Network (Rede Local Sem Fio)

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A Constituição da República no artigo 103, ponto 1, afirma que “Na República de Moçambique a agricultura é a base do desenvolvimento nacional”. Esta priorização deve-se às suas grandes extensões de terra arável e clima tropical favorável para o desenvolvimento da actividade agrícola. Esta priorização deve-se às suas grandes extensões de terra arável e clima tropical favorável para o desenvolvimento da actividade agrícola. Para encorajar este potencial, o Governo Moçambicano vem estabelecendo políticas para a transformação através do projecto Sustenta. O Projecto ou programa Sustenta é um processo de busca de soluções para incrementar os níveis de produção e produtividade agrícola (MADER, 2020).

Em Moçambique, aproximadamente 67% da população reside nas zonas rurais, onde 98% desta pratica a agricultura familiar, basicamente de subsistência, que representa 97,8% das explorações agrícolas do país¹. Por volta de 3,9 milhões das famílias praticam agricultura de sequeiro em parcelas de cerca de 1,4 hectares, na agricultura familiar nacional a utilização de tecnologias melhoradas é baixa, apenas aproximadamente 9,1 % dos produtores irriga os campos agrícolas, 6,9% dos produtores tem acesso à extensão rural², 4,6% usa sementes melhoradas, 5,5% utiliza pesticidas, 8,8% utiliza estrume, 7,8% utiliza fertilizantes químicos, 0,6% tem acesso aos créditos e 39,9% tem acesso à informação sobre os preços dos produtos agrícolas. Para além disso, em cerca de 30,7% dos produtores ocorrem perdas pós colheitas e cerca de 70% das propriedades são afetadas por eventos climáticos extremos (MADER, 2019; 2021).

Com isso podemos concluir que sector agrícola Moçambicano encontra várias dificuldades para se desenvolver nomeadamente: dificuldade na gestão das plantações, queimadas descontroladas, ineficiência na irrigação, implementação e manutenção dos Sistemas de Irrigação, acesso a financiamento, que fazem com que o resultado do plantio não seja condizente com o seu real potencial. Os pequenos e médios agricultores Moçambicanos não escapam dessas dificuldades e com vista a

¹ No país existem cerca de 4,3 milhões de explorações agrícolas (pequenas e médias).

² Moçambique possui 1,815 extensionistas da rede pública e 1,405 da rede privada

melhorar os níveis de produção os agricultores sentiram-se obrigados a associarem-se em diversas Associações de Agricultores, segundo informações colhidas na entrevista concedida (Miquitaio, 2021).

Segundo (Miquitaio,2021) Actualmente os grandes desafios enfrentados pelas Associações de Agricultores são acesso ao crédito agrário e a implementação dos Sistemas de Irrigação vigentes em Moçambique.

Segundo (Jacto,2018) o crédito agrário é uma modalidade de financiamento para transações de empreendimentos rurais, o que inclui empréstimos, letras de câmbio. Este tipo de financiamento foi desenhado para ajudar associações, agricultores a aumentar suas operações.

Segundo (CRUZ, 2019) a Irrigação é uma actividade muito importante na agricultura, tendo em consideração em consideração a aplicação da água no momento e quantidade ideais conforme a necessidade hídrica da cultura. A gestão da Irrigação não pode ser de de carácter fixo, mas sim de carácter flexível. Segundo (CRUZ, 2019) se aplicar água em excesso, isso pode causar danos na cultura, porque satura o solo, além disso com o excesso de água causa um microclima favorável ao desenvolvimento de doenças.

De acordo com o plano estratégico de irrigação, os seguintes factores contribuem para o declínio na Irrigação (INIR 2021):

- Falta de assistência técnica e apoios na zona rural para assegurar a manutenção e melhoramento dos esquemas de irrigação.
- Custo de instalação dos sistemas de irrigação são elevados, isto é, é preciso adquirir vários equipamentos que encarecem os sistemas.

Os custos dos Investimentos dos sistemas de irrigação são muito elevados e por vezes dificilmente justificáveis do ponto de vista económico o que causa sérios problemas para os agricultores da Associação Regantes da Massaca, o que as torna a fonte de maior prejuízo no acto da prática da Agricultura segundo informações colhidas na entrevista concedida (Miquitaio, 2021).

Os pequenos agricultores comercias pertencentes a Associação Regantes da Massaca sentem-se ameaçados em aderir ao financiamento do programa SUSTENTA, porque os sistemas de irrigação pequenas escalas não estão em unidade satisfatória e estes revelam ser de custos muito elevados o que torna um a sua implementação um grande

desafio e compromete activamente níveis de quantidade e qualidade de produção esperado segundo informações colhidas na entrevista concedida (Miquitaio, 2021).

Todo esse conjunto de dificuldades encontradas na produção agrícola pode ser consideravelmente reduzido mudando-se o paradigma vigente com a modernização da agricultura para uma Agricultura Inteligente. Pode-se referir à agricultura moderna como sendo a aplicação da tecnologia na agricultura, no geral. Mas, por outro lado, 'Agricultura Inteligente' é usado principalmente para denotar a aplicação de soluções de Internet das Coisas na agricultura (Aleksandrova, 2018).

O Instituto de Engenheiros Electricistas e Electrónicos (IEEE) define Internet das Coisas (IoT) como sendo "Uma rede de itens - cada um deles embutido com sensores - conectados à Internet." (IEEE, 2015). De um modo geral IoT refere-se aos equipamentos de detecção de informações para realizar trocas de informações e comunicações, a fim de alcançar reconhecimentos inteligentes, posicionamento, rastreamento, monitorização e administração.

Com a combinação de tecnologia de ponta em hardware e software, a IoT é capaz de monitorar e manipular quase tudo, o que permite-nos reduzir perdas e custos. A informação de parâmetros de interesse pode ser acessada na "ponta dos nossos dedos" em nossos telemóveis, computadores e Tablets, o que torna mais fácil tomar as decisões certas em tempos certos.

A IoT tem a capacidade de transformar a agricultura numa Agricultura Inteligente e permitir que agricultores olhem em perspectivas diferentes no que concerne ao diagnóstico e resolução de alguns dos problemas que eles encontram em suas actividades, como por exemplo, actividades rotineiras, dificuldades em irrigação, combate à incêndios e pragas. Este novo paradigma da tecnologia pode abordar esses problemas e, por conseguinte, melhorar a qualidade, quantidade, sustentabilidade e efectividade da produção agrícola. Unindo os conhecimentos obtidos no curso de Engenharia Informática, este trabalho visa demonstrar o uso da IoT no desenvolvimento da agricultura em Moçambique.

1.2 Definição do problema

Em Moçambique a extensão e riqueza de terra oferecem condições agro-geológicas com diferentes aptidões para o desenvolvimento da actividade agrícola o que deveria catapultar em maiores perspectivas de desenvolvimento socioeconómico. Não

Obstante do todo potencial agrário disponível ainda persistem sérios desafios, tal como se destaca a implementação dos Sistemas de Irrigação, a fraca capacidade de o país atrair fortes investimentos direcionados para agricultura, bem como o acesso ao financiamento agrário.

O sector agrário tem um papel primordial na erradicação da pobreza e da fome uma vez que constitui a principal fonte de renda para os agregados familiares. Um dos maiores constrangimentos que minam o desenvolvimento agrícola prende-se com ao custo de implementação dos Sistemas de Irrigação.

O sistema de irrigação implementado pela Associação de Agricultores consiste em:

- a) Uma irrigação por gota-a-gota: principais componentes de sistema são, emissores(gotejadores), linhas laterais (tubos de polietileno que suportam os emissores), linha principal e ramais de derivação (tubulação em geral de PVC 35,50,75 ou 100mm), filtragem (filtros separadores: de tela, de disco ou de areia), fertirrigação (reservatórios, injectores, agitadores e por fim o Bombeamento (motor, bomba, transformador).

Tendo em vista o panorama socioeconómico moçambicano, o intervalo de 5 mil à 13 mil dólares³ por hectare de custo de construção destes sistema de irrigação, constitui uma adversidade à efectivação e expansão;

O sistema de irrigação vigente na Associação Regantes da Massaca - Distrito de Boane. revela ser de custo muito elevado, o que torna a sua expansão um grande desafio. A insustentabilidade de expansão do sistema de irrigação implementado compromete activamente os níveis e qualidade de produção agrícola.

1.2.1 Pergunta de pesquisa

O presente trabalho será orientado pela seguinte pergunta de pesquisa: **pode o sistema de irrigação e monitoria de campo agrícola com base em Internet of Things (IoT) ser menos dispendioso em relação ao sistema de Irrigação Vigente na Associação Regantes da Massaca - Distrito de Boane?**

³ 5 mil e 13 mil dólares, em taxa de câmbio de Julho de 2022 (65 Meticais por dólar) correspondem a 325mil e 845 mil meticais respectivamente.

1.3 Objectivos

O Principal Objectivo do presente trabalho é desenvolver, implementar e testar um sistema de irrigação e monitoria do campo agrícola com base em Internet of Things que aciona a irrigação por intermedeio de dados adquiridos por sensores para otimizar os recursos hídricos e garantir as condições adequadas para o desenvolvimento da Agricultura.

1.3.1 Objectivo Geral

- ✓ Desenvolver um sistema de irrigação e monitoria do campo agrícola com base em Internet of Things (IoT) que seja eficaz, sustentável e de custo relativamente baixo.

1.3.2 Objectivos Específicos

- ✓ Descrever como é feito actualmente a implementação de Sistemas de Irrigação de gota-a-gota;
- ✓ Identificar os principais benefícios de um sistema de irrigação e Monitoria do campo agrícola baseado em IoT;
- ✓ Desenvolver um protótipo funcional que seja sustentável, eficaz na irrigação e de custo relativamente baixo.

1.4 Metodologia

1.4.1 Classificação do Trabalho

a) Quanto à natureza

Quanto à natureza, caso de estudo ela usa teorias e conhecimentos gerados em electrónica, informática e agronomia com o intuito de desenvolver um sistema que vai resolver um problema específico.

b) Quanto à abordagem

Do ponto de vista da forma de abordagem do problema, a pesquisa classifica-se como sendo qualitativa. Esta pesquisa assim se classifica, pois, serão apresentados os resultados através de percepções e análises para dar resposta ao problema levantado no início da pesquisa – os custos do sistema.

c) Quanto aos objectivos

Do ponto de vista dos objectivos, a pesquisa classifica-se como exploratória.

d) Quanto aos procedimentos técnicos

A pesquisa pode ser classificada como sendo experimental. Um protótipo do sistema será construído, para tal, o método experimental entra em cenário para a análise do comportamento de componentes electrónicos e ajuste das variáveis para o funcionamento esperado.

e) Quanto às técnicas de colecta e análise de dados

A colecta e análise de dados teve uma abordagem quantitativa. Os dados usados para a pesquisa foram colhidos em base experimental. O tipo de tecnologia usada e as condições do terreno são factores que podem influenciar nos resultados da pesquisa. Portanto, foram experimentados e escolhidos factores que pudessem fornecer os resultados esperados. No que concerne a análise de dados, a pesquisa será baseada em estatística descritiva. A partir de uma amostra definida (1 hectare) e dos custos estimados que o sistema proposto poderá ter, far-se-á uma comparação directa entre os dois sistemas de modo a responder o problema que se levanta.

1.4.2 Actividades desenvolvidas para descrever como é feito actualmente a implementação de Sistemas de Irrigação por gota-a-gota;

Com esse objectivo o autor pretende descrever os dados necessários para a implementação de um sistema de irrigação bem como os critérios a seguir durante a implementação dos sistemas de irrigação, definir um sistema de irrigação por gota-a-gota e o custo de investimento e desta forma o autor desenvolveu as seguintes actividades:

- ✓ Revisão da Literatura sobre: Sistemas de Irrigação, Implementação de Sistemas de Irrigação;
- ✓ Conversa com o representante da Associação dos Agricultores para recolher dados de como é feita a implementação e manutenção dos sistemas de irrigação gota-a-gota;
- ✓ Visitas a páginas Webs e
- ✓ Reuniões semanais com o supervisor.

1.4.3 Actividades desenvolvidas para identificar os principais benefícios de um sistema de irrigação e Monitoria do campo agrícola baseado em IoT;

Com esse objectivo o autor pretende identificar os principais benefícios de um sistema de irrigação automatizado pode trazer para agricultura Moçambicana e desta forma o autor desenvolveu as seguintes actividades:

- ✓ Revisão da Literatura sobre: Internet das Coisas(IoT) e as suas aplicações, critérios para a escolha de um sistema de irrigação;
- ✓ Conversa com o representante da Associação dos Agricultores para entender quais os principais critérios para a escolha de um sistema de irrigação;
- ✓ Descrever a arquitetura de um sistema de irrigação baseado em IoT;
- ✓ Visita a associação de agricultores do distrito de Boane;
- ✓ Entrevista com alguns Agricultores e
- ✓ Reuniões semanais com o supervisor.

1.4.4 Actividades desenvolvidas para desenvolver um protótipo funcional que seja sustentável, eficaz na irrigação e de custo relativamente baixo.

Com esse objectivo o autor desenvolver o protótipo para o problema identificado usando os princípios de engenharia de software de forma a garantir a qualidade do produto final, entretanto foi usada a metodologia Waterfall(Cascata):

Modelo waterfall (cascata) é proposta de desenvolvimento de projeto, na qual é preciso terminar uma etapa para começar outra. Trata-se de um modelo de desenvolvimento de software sequencial e sistemático, no qual o desenvolvimento é visto como um fluir constante para frente, como uma cascata. Segundo SOMMERVILLE (2007) existem cinco fase (ou etapas) do Ciclo de vida do software, nomeadamente:

Análise e definição de requisitos: envolve a coleta dos requisitos do sistema e dos usuários que utilizarão o sistema, a listagem e entendimento dos serviços, restrições e objetivos do sistema, que devem ser definidos detalhadamente e servirem como uma especificação para o projeto.

No caso concreto do trabalho o autor visitou aos Agricultores e falou com o representante da associação e a posterior fez a especificação dos requisitos.

Projeto de sistema e software: estabelece-se uma arquitetura geral do sistema que envolve a identificação e a descrição da estrutura de dados, detalhes procedimentos, relacionamentos e caracterização da interface. Como os requisitos, o projeto é documentado e torna-se parte da configuração do software.

No caso concreto do trabalho o autor agrupou os requisitos em sistemas de hardware e de software e estabeleceu a arquitetura do sistema geral, onde fez uma representação gráfica do sistema em blocos de funções, onde são definidas as interações entre as diferentes partes do sistema através de relação de entrada, saída e direcções de fluxo de informação.

Implementação e teste de unidade: durante essa etapa, o projeto de software é realizado como um conjunto de programas, que são codificados em linguagem que a máquina entenda. O teste unitário faz parte do processo de codificar onde é preciso testar o que foi feito para saber se está funcionando adequadamente ao esperado por aquele sistema e, então, seguir com a codificação.

No caso concreto do trabalho o autor preparou o ambiente de implementação instalando todas as aplicações e bibliotecas, desenhou todos Mockups do Sistema, codificou o Fluxo de Node-RED, programou o microcontrolador Esp8266 recorrendo a linguagem de programação C e por fim a montagem do protótipo.

Integração e teste de sistema: assim que todo o código foi gerado, inicia-se a realização de testes para verificar se os aspectos funcionais estão de acordo com os requisitos e sem erros. Após os testes, o software é liberado para o cliente.

No caso concreto do trabalho o autor testou o sistema e registou todas as ocorrências.

Operação e manutenção: após o software ser instalado e colocado em operação, o processo de manutenção começa. Envolve a correção de erros não detectados nos estágios anteriores e a adaptação à medida que novos requisitos são identificados. A manutenção re replica cada uma das etapas do método em cascata a um software existente, ao invés de um novo.

No caso concreto do trabalho o autor preparou plano de instalação e manutenção do sistema de irrigação e monitoria do campo agrícola.

1.5 Estrutura do trabalho

Capítulo 1 - Introdução: é o capítulo responsável por contextualizar o tema proposto. Nele, serão apresentados os objectivos que se pretendem alcançar e as razões que levam ao seu desenvolvimento. Dá-se também uma breve explicação de como a IoT pode enquadrar-se na agricultura.

Capítulo 2 – Revisão da Literatura: Este capítulo é referente à apresentação dos conceitos técnicos que regem o desenvolvimento do sistema de irrigação e monitorização inteligente nos moldes propostos, desde a escolha de alguns dispositivos para formar o sistema em detrimento de outros até aos protocolos de rede para unir os dispositivos.

Capítulo 3 – Caso de Estudo: Este capítulo descreve o local onde se vai implementar o sistema, a origem da água, o tipo de solo da região e susceptibilidade da aplicação de um sistema de irrigação e Monitoria do campo agrícola.

Capítulo 4 – Proposta de solução: Este capítulo tem como finalidade descrever a proposta de solução.

Capítulo 5 – Desenvolvimento: Este capítulo tem como finalidade apresentar o processo de desenvolvimento do sistema, desde a concepção esquemática à técnica, descrições e análises relativas a concepção e montagem do protótipo. É neste capítulo que é apresentado de forma detalhada e simples o funcionamento do sistema.

Capítulo 6 - Conclusão: é o capítulo onde serão expostas as concretizações em relação ao desenvolvimento do sistema, serão discutidos os resultados obtidos e analisar-se-ão os mesmos à luz do problema levantado na fase introdutória. O capítulo será, também, designado para apresentar as recomendações para os trabalhos futuros que serão desenvolvidos na linhagem de IoT e da Agricultura.

CAPÍTULO 2: REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Irrigação

A irrigação é uma técnica utilizada na agricultura para suprir as necessidades de água em uma região de cultura. Essa técnica utiliza de diversos equipamentos, acessórios e técnicas de gestão. Existem três tipos principais de irrigação, superficial, localizada e aspersão. Algumas características definem qual tipo de irrigação é adequada para a cultura, como por exemplo o tipo do solo, o clima e entre outros (AGROSMART, 2016). O processo de irrigação se define na aplicação artificial de água ao solo, em quantidades adequadas, visando proporcionar a humidade necessária ao desenvolvimento das plantas nele cultivadas, a fim de suprir a falta ou a má distribuição das chuvas. (CARVALHO, 2010).

Vantagens da irrigação

Incorporação de áreas improdutivas a produção agrícola, Garantia de produção pois supre as deficiências hídricas, permite a fertirrigação, Geração de empregos, melhor qualidade da produção e Aumento da produtividade.

Desvantagens

Alto consumo de água, alto custo de implantação, Falta de mão-de-obra especializada. Impactos ambientais como resíduos, mosquitos, alteração de ecossistemas, Disponibilidade hídrica.

2.1.1 Irrigação no contexto evolutivo das políticas e estratégias de desenvolvimento nacional

Moçambique tem cerca de 36 milhões de hectares de terra arável subdivididos em 10 regiões Agro-ecológicas, o potencial irrigável no país é estimado em três(3) milhões de hectares, dois quais 120.000 estão infraestruturados sendo actualmente cerca de 62.000 hectares estão operacionais, (INIR 2021).

Durante o período colonial, a irrigação teve um papel crucial na dinamização da economia. No ano 1968 a área irrigada estimava-se em 65 mil hectares, tendo sido crescido para 100mil hectares em 1973, onde destes, cerca de 72% situavam-se nas províncias de Gaza e Maputo. A Crise do estado colonial afectou negativamente a

irrigação, ao causar o êxodo massivo de pessoal técnico qualificado e ao afectar os investimentos que estavam em curso.

Após a independência nacional, o Estado Moçambicano deu prioridade á reabilitação e utilização das infraestruturas de rega abandonadas incluindo a expansão de novas áreas como uma das bases para a revitalização da produção agrícola. Durante o ano de 1976, no Ministério das Obras Públicas foi preparado o primeiro Plano geral do aproveitamento de recursos hidráulicos, o qual também incluiu infraestruturas de irrigação. A posterior foi realizado um diagnostico do subsector de irrigação, e elaboradas projecções de reabilitação e desenvolvimento do mesmo para o período de 1977 a 1986. O esforço de reabilitação incidiu sobre as áreas de maior densidade de infraestruturas de rega com destaque para as bacias dos rios Limpopo e Incomáti sob a coordenação do então secretario de Estado para a região do Limpopo e Incomáti.

Em finais de 1980 foram criadas em algumas províncias unidades especiais de irrigação, núcleos províncias de hidráulica agrícola, porem estas unidades não eram formalmente integradas no sector público, que se destinavam a dirigir, apoiar e dinamizar o desenvolvimento de sistemas de irrigação através de prestação de serviços de extensão hidroagrícolas e capacitação dos produtores. Contudo, a deterioração das condições de segurança nas zonas rurais (devido a guerra civil) limitou sobremaneira o trabalho destas unidades.

No ano 1991 foi criado o GCPI(Gabinete de Coordenação de projectos Integrados), que era responsável por dar continuidade a maior parte dos projectos anteriormente sob a alçada da Secretaria de Estado de Hidráulica Agrícola. Entretanto, no ano 1992, o Governo enfatizou a irrigação, tendo como objectivo a promoção da segurança alimentar. Em 1995, foi formalmente extinta a Secretaria de Estado de Hidráulica Agrícola e criada a Direcção Nacional de hidráulica agrícola no Ministério de Agricultura e pescas, a qual se manteve no então Ministério da Agricultura e Desenvolvimento Rural, de 1999 a 2004.

Em 2005, foi extinta o Ministério da Agricultura e Desenvolvimento Rural tendo sido criado o Ministerio da Agricultura. Nesse processo a Direcção Nacional de hidráulica agrícola foi também extinta e a irrigação passou a ser coordenada pelo Departamento de Engenharia hidráulica dentro do actual Direcção de Serviços Agrários. Em 2006, como resultado de um processo de reforma institucional, ocorreu a fusão do Fundo para o desenvolvimento de hidráulica Agrícola com o Fundo de Fomento Agrário, resultando na criação do Fundo de Desenvolvimento Agrário.

Segundo (INIR,2021), no subsector de irrigação existe uma falta generalizada de recursos materiais e humanos destacando-se: uma presença institucional diminuta ou inexistente de entidades publicas responsáveis pela irrigação, uma fraqueza de normas e regulamentos para orientar o desenvolvimento da irrigação, falta de tecnologias de irrigação que favorece o desenvolvimento da agricultura irrigada o que reduz número de empresas especializadas em serviços e construção de obras hidro-agricolas.

Com as mudanças rápidas no desenvolvimento económico nacional, regional e internacional. O Governo Moçambicano está aplicando reformas institucionais e de políticas significativas, bem como a reforma da planificação do desenvolvimento e do sistema financeiro público, visto que os responsáveis pela irrigação e os beneficiários são, em geral, fracas.

2.1.1.1 Sistemas de Irrigação existentes em Moçambique e os seus Constrangimentos

Irrigação por superfície é um sistema que usa métodos de irrigação nos quais a condução da água do sistema de distribuição até qualquer ponto de infiltração, dentro do campo a ser irrigado. Os seus constrangimentos estão intrinsecamente ligados ao alto factor de trabalho, acesso a fonte de agua próxima, Problema de gestão para os esquemas de bombeamento de água de maior envergadura e Altos custos de investimento.

Irrigação por aspersão é um sistema que usa o método de irrigação em que a água é aspergida sobre a superfície do terreno, que se assemelha a uma chuva em virtude da passagem da água sob pressão através de bocais, fracionando o jato de água em gotas. Os seus constrangimentos estão intrinsecamente ligados aos altos custos de energia, alto custo de investimento, custos do factor de trabalho na mudança de laterais para filas de plantio.

Irrigação localizada é um sistema que usa o método em que a água é aplicada diretamente sobre a região radicular, com baixa intensidade e alta frequência. Os seus constrangimentos estão intrinsecamente ligados ao entupimento dos gotejadores, Falta de familiarização com o sistema de irrigação localizada, alto custo de investimento.

2.1.2 Dados Necessários para a implementação de um Sistema de irrigação

Segundo (Fernando Braz Tangerino Hernandez, 2020) para implementação de um sistema de irrigação, seja por aspersão, gota-a-gota ou por superfície, são necessários a coleta de alguns dados na área a ser irrigada, nomeadamente:

1. Área a ser irrigada em hectares, metros quadrados (m^2);
2. Espécie de cultura plantada ou a ser plantada e o espaçamento entre plantas e entre linhas;
3. Tipo de Solo:
 - a) Quanto à textura: argilosa, arenosa ou textura média;
 - b) Quanto à permeabilidade: muito permeável, meio permeável ou pouco permeável;
4. Topografia do terreno: plana, suavemente ou fortemente ondulada;
5. Precipitação desejada ou calculada (em mm);
6. Horas de funcionamento desejado por dia: máximo de horas de funcionamento possível;
7. Desnível entre a água e o local de bomba em metros: este dado é de suma importância para o dimensionamento correto da bomba, pois cada bomba apresenta uma altura máxima;
8. Desnível entre a água e o local da bomba e o ponto mais alto do terreno em metros.
9. Quantidade e qualidade da água disponível na estação seca:
 - a) Se a água for captada numa fonte de água corrente (rio, lago, etc) determinar a sua vazão em litros/segundo ou metros cúbicos/hora;
 - b) Se a captação for feita em um reservatório, determinar o seu volume em metros cúbicos(m^3);
 - c) Qualidade da água: presença de sólidos em suspensão, elementos químicos (ferro, manganês, etc);
10. Tipo de acionamento que prefere para a bomba:
 - a) Elétrico: Voltagem e fases;
 - b) Diesel;
 - c) Trator: marca, modelo e potência;

Caso já haja bomba e motor para acionamento, especificar todos os dados disponíveis tais como: marca, modelo, potencia, rotação, vazão, etc.

11. Sistema de irrigação que pretende utilizar ou as alternativas possíveis;

2.1.2.1 Critérios a seguir para a Implementação de um sistema de Irrigação

Segundo (Fernando Braz Tangerino Hernandez, 2020) os critérios a serem seguidos são:

1. **Definição da precipitação ou lamina a ser aplicada na área:** a precipitação varia em função da cultura (cada cultura apresenta uma evapotranspiração, um consumo de água) e da região geográfica em que a área se situa (de região para região as condições climáticas- chuvas, evaporação, ventos);
2. **Seleção do equipamento mais adequado:** a seleção leva em consideração a cultura plantada ou a ser plantada, a topografia da área o tamanho da área e a disponibilidade da água;
3. **Cálculo de tempo de funcionamento:** para fazer esse cálculo leva-se em conta, o consumo diário de água que a cultura necessita, a profundidade do sistema radicular, característica do solo, quanto á sua capacidade de armazenamento de água;
4. **Cálculo da vazão:** esse cálculo refere-se a vazão total do equipamento e baseia-se na área a ser irrigada, na precipitação definida e o numero de horas de trabalho diário;
5. **Dimensionamento hidráulico:** o dimensionamento das tubulações e dos acessórios, tais como: válvulas, hidrantes, cotovelos de derivação e outros, baseia-se na vazão total, altura manométrica necessários e na velocidade da água no interior dos tubos. Uma vez selecionadas as tubulações e acessórios, procede-se a locação dos mesmos na área, locando-se, inclusive, as posições necessárias para o equipamento escolhido;
6. **Dimensionamento do conjunto motobomba:** o dimensionamento desde conjunto também se baseia na vazão, na altura manométrica e na potência necessária. Na escolha da bomba, além dos itens anteriormente citados, deve-se atentar para que a bomba escolha trabalhe no ponto de máximo rendimento ou próximo possível dele, e para altura máxima de sucção;

7. **Elaboração de planta:** efetuados dos cálculos deve ser elaborada uma planta onde é alocado o ponto de captação, a linha mestra, as linhas laterais, os acessórios e o posicionamento do equipamento;

2.1.3 Sistemas de irrigação por gota-a-gota

A irrigação por gota-a-gota, a água é directamente injectada na cultura através de pequenos gotejadores montados em tubos de polietileno flexíveis ao longo das fileiras das culturas. O Sistema pode ser muito eficiente em termos de utilização da água que chega a atingir índices de 90% a injeção da água é feita com extrema precisão sobre a cultura, resultado em óptimas colheitas. A irrigação por gota-a-gota é aplicada com muito sucesso na maioria das associações e agricultoras dedicadas a produção comercial de fruta e hortícolas (FAO, 2020).

2.1.3.1 Implementação e Custo de investimento

Antes de fazer a implementação de um sistema de irrigação é pertinente levar em consideração os aspectos descritos no ponto II.1.1 para que a implantação seja feita de acordo com as necessidades da plantação e assim obter resultados melhores. Durante o processo de implementação dos sistemas de irrigação os custos envolvidos são relacionados a compra de equipamentos, operação e manutenção.

Segundo (INIR,2021) o custo unitário para a construção de sistema de rega gota-a-gota variam entre o equivalente a 5mil-13mil USD por hectare, onde são necessários 5 anos para a implementação, sendo o primeiro ano de preparação de intervenção, 2 anos para dimensionamento e construção e os últimos 2 anos para a consolidação em termos de operacionalização, na perspectiva de garantir potencialmente o bom sucesso do sistema.

2.2 Internet das Coisas

Internet das Coisas, IoT, refere-se à ideia geral de “coisas”, especialmente objectos cotidianos, como electrodomésticos, móveis, veículos, etc., que são legíveis, reconhecíveis, localizáveis, endereçáveis através de dispositivos de detecção de informação e/ou controláveis via Internet, independentemente dos meios de comunicação, seja via RFID, LAN sem fio, redes de longa distância ou outros meios

(Patel & Patel, 2016). A essa “coisa” é atribuída a um endereço IP para que ele possa transferir dados através de uma rede. Para Patil, et. Al., (2012) isso fornecerá a base para muitas novas aplicações, como monitorização de energia, sistemas de segurança de transporte ou segurança de edifícios.

O número de dispositivos conectados à Internet, incluindo as máquinas, sensores e câmeras que compõem a IoT, continua a crescer a um ritmo constante. De acordo com o relatório gerado por IoT Analytics (2018), de 2018 à 2025 haverá um índice de aumento de 10% ao ano, na contagem de dispositivos. Ele ainda diz que, essa contagem poderá chegar à 21.5 bilhões até 2020.

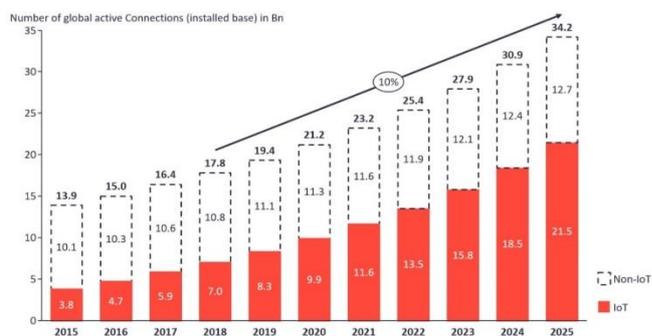


Figura 1: Número de dispositivos de IoT conectados 2015-2025

Fonte: IoT Analytics (2018)

2.2.1 Arquitetura

A Arquitetura da IoT está organizada em quatro camadas compostas por diferentes elementos e funções distintas que prevalecem independentemente de que tipo de sistema ou rede de IoT em execução.

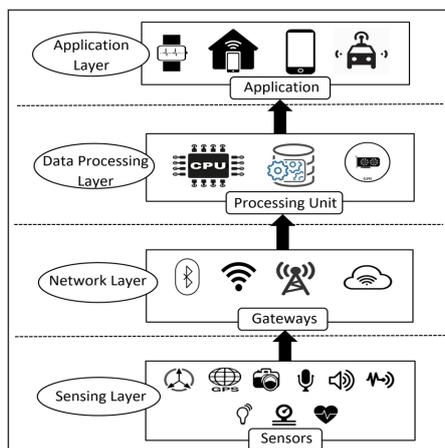


Figura 2: Diagrama de Arquitectura de Internet das Coisas

Fonte: Joan (2018).

A primeira camada é a camada física composta por sensores que podem detectar e colectar dados do ambiente. Seu trabalho inclui a colecta de parâmetros físicos ou a identificação de outros objectos inteligentes. Então, chegamos aos actuadores que podem afectar uma mudança no ambiente. Por exemplo, um sensor detectará que as temperaturas mudaram e a luz está baixa e, assim, ao anoitecer, um actuador ligará automaticamente as luzes da rua.

Em seguida, vem a camada de gateway de internet. Os dados provenientes dos sensores precisam ser preparados antes de entrar no estágio de processamento final. Basicamente, os dados que são recebidos no formato analógico precisam ser agregados e convertidos em formato digital, e essa camada faz exactamente isso com a ajuda de um gateway da Internet que o encaminha por meio de WLANs ou outras redes para processamento adicional.

Os dados colectados entram nos sistemas de computação para se executar um processamento e análise adicional dos dados. Embora as duas camadas acima estejam localizadas em um local real do dispositivo, um sistema de processamento. Normalmente, os dados da IoT são tão grandes que, se enviados directamente para o Data Center ou servidor, podem consumir uma grande quantidade de largura de banda de rede, sobrecarregando seus recursos (Stack, 2018). Assim, os sistemas realizam análises para diminuir a carga na infra-estrutura principal.

A camada de aplicação é a mais importante em termos de usuários, pois actua como uma interface que fornece os módulos necessários para controlar e monitorar vários aspectos do sistema IoT. Aplicações permitem aos usuários visualizar e analisar o status do sistema no actual estágio de acção, algumas vezes previsão de perspectivas futuristas.

2.2.2 Aplicações de IoT

Existem várias aplicações de IoT na agricultura, transporte, saúde, meio ambiente, gestão da cadeia de suprimentos, monitoramento de infra-estrutura, etc. Algumas destas estão listadas abaixo:

- a. **Agricultura:** A IoT na agricultura subverte completamente as afirmações tradicionais de que o “mundo físico” e o “mundo das TIC” estão separados (Patil, Al-Gaadi, Biradar, & Rangaswamy, 2012). Em IoT para Agricultura, fazendas, máquinas agrícolas e produtos agrícolas frescos são integrados aos chips, redes de banda larga e sistemas de acumulador de dados, formando uma “infraestrutura agrícola” completamente nova. As aplicações IOT na agricultura incluem rastreabilidade de alimentos (RFID), monitoramento de solo e plantas, agricultura de precisão, monitoramento de ambiente de estufa e sistemas de controle, monitoramento da cadeia de suprimento de alimentos, monitoramento de animais, etc;
- b. **Saúde:** A identificação de medicamentos espúrios é uma das principais aplicações na área da saúde. Outras áreas de aplicação são monitorização de saúde pessoal, telemedicina, etc;
- c. **Segurança:** Detecção de produtos falsificados, controle de acesso, materiais restritos, notas bancárias, passaportes;
- d. **Sector público:** Gestão de desastres, monitoramento florestal, apoio ao turismo, segurança interna, monitoramento da poluição Início: segurança residencial, residencial - casa (iluminação, entretenimento, energia) gestão, assistência);
- e. **Desporto:** Equipamentos desportivos, monitorização do desempenho do usuário, segurança, etc.

2.2.2.1 IoT na Agricultura

As principais vantagens do uso da IoT no aprimoramento da agricultura são as seguintes:

- a) A gestão de água pode ser feita com eficiência usando IoT sem desperdício de água usando sensores;

- b) A IoT ajuda a monitorar continuamente a terra, para que as precauções possam ser tomadas na fase inicial;
- c) Aumenta a produtividade, reduz o trabalho manual, reduz o tempo e torna a agricultura mais eficiente;
- d) A monitorização pode ser feita facilmente para observar o crescimento da cultura;
- e) A gestão do solo, como o nível de PH, o teor de humidade, etc. podem ser facilmente identificados, para que o agricultor possa semear as sementes de acordo com o nível do solo;

2.3 Principais benefícios de um sistema de irrigação e Monitoria do campo agrícola baseado em IoT;

Segundo Culte (2019), a irrigação inteligente consiste numa técnica de irrigação que utiliza informações precisas sobre as condições do solo, da cultura e da água disponível a área. Entre as informações disponibilizadas para a tomada de decisão pela irrigação inteligente por meio da Internet das Coisas, é possível observar variáveis ambientais ligadas ao clima, cultura e solo. Após receber e analisar as informações, o sistema irriga a cultura de forma automatizada, sem necessidade de autorização prévia de um humano que conseqüentemente elimina riscos de falha humana.

De acordo Culte (2019), os principais benefícios de uma irrigação automatizada baseado em Internet das Coisas são: Sustentabilidade, produtividade, Economia, melhoria da qualidade dos produtos, mão-de-obra;

a) Sustentabilidade

Falar de sustentabilidade nos tempos actuais é crucial, com o mundo cada vez mais populoso e é necessário que recursos, como a água, sejam preservados para que não prejudique as gerações vindouras, usando uma solução de Irrigação automatizada baseado em IoT, economizam na utilização de recursos como água, porque é usada de forma calculada, evitando assim o desperdício e garantindo o pleno desenvolvimento da cultura.

b) Produtividade

A Água é um dos elementos essenciais num processo agrícola, sem a água não haverá produção e se ela for utilizada de forma inadequada a produtividade é afectada desta forma a irrigação automatizada baseada em IoT é imprescindível

para o aumento da produtividade o que conseqüentemente há uma maior competitividade ou aumento do lucro.

c) Economia

Para além de desperdiçar água, a irrigação ineficiente desperdiça dinheiro porque, quanto mais água for desperdiçada, maior a quantidade dela é necessário para fazer a irrigação, e mais infraestrutura é necessária para armazenar a água, como açudes. A construção e a manutenção dos açudes são caras o que torna a irrigação automatizada essencial para minimizar os desperdícios ou despesas.

d) Melhoria da qualidade dos produtos

Conforme dito no ponto b) a água é um dos elementos mais importantes para determinar a qualidade da cultura, isto é, se a cultura receber água demais, o seu desenvolvimento é prejudicado, assim como se receber pouca água. Entretanto é importante que a irrigação ofereça à cultura a quantidade exata de água necessária.

e) Mão-de-Obra

A mão-de-obra esta cada vez mais cara e escassa, somando a isso, temos a perda de tempo em análise de humidade do solo pelos colaboradores, que poderiam usar esse precioso tempo para actividades mais importantes ou relevantes, com a irrigação automatizada baseada em IoT esse tempo poderá ser melhor aproveitado, por conta do envio das informações de forma automatizada, uma outra valência importante de frisar é que não há risco de as informações serem perdidas ou esquecidas, o que é comum quando a gestão é feita por um ser humano.

2.4 Sistema de Irrigação e Monitoria do campo agrícola baseado em IoT

A irrigação é baseada no sensoriamento da humidade do solo a cultura será irrigada se é somente se a humidade do solo for baixa. Assim, faz-se a irrigação de precisão, providenciando ao solo água em áreas específicas consoante a necessidade. O sistema providencia ao agricultor um controlo do estado da plantação através de estatísticas em tempo-real de parâmetros relativos ao solo colectados por diferentes sensores. A leitura de tais dados é feita em dispositivos terminais como computadores e telemóveis. É facultado, ainda, ao agricultor a possibilidade de ter a previsão meteorológica.

2.4.1 Composição do sistema

Cada nó será composto um sensor de humidade do solo, um sensor de presença, um sensor de humidade relativa do ar e temperatura, uma válvula solenóide, um acumulador de energia solar e um microcontrolador transceptor de dados Esp8266.

2.4.1.1 Sensor de humidade do solo

O sensor de humidade do solo usa capacitância para medir a permissividade dielétrica do meio circundante. No solo, a permissividade dielétrica é uma função do teor de água. O sensor cria uma tensão proporcional à permissividade dielétrica e, portanto, o conteúdo de água do solo. O sensor calcula a média do conteúdo de água em todo o comprimento do sensor. Há uma zona de influência de 2 cm em relação à superfície plana do sensor, mas tem pouca ou nenhuma sensibilidade nas bordas extremas. O sensor de humidade do solo é usado para medir a perda de humidade ao longo do tempo devido à evaporação e absorção da planta e monitorar o teor de humidade do solo para a irrigação. Sendo assim, se a humidade do solo for menor a um valor de corte (0%), a irrigação é feita e somente é interrompida quando atingir um valor satisfatório (80%).

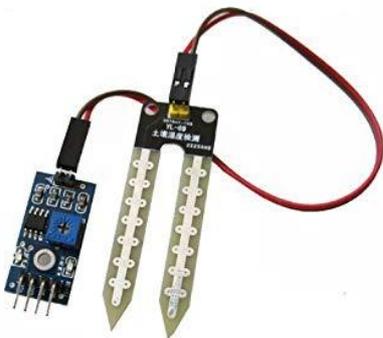


Figura 3: Sensor de humidade do solo

Fonte: www.tindie.com

2.4.1.2 Sensor de humidade relativa e temperatura do ar

Um sensor de humidade detecta, mede e reporta regularmente a humidade relativa e temperatura do ar dos ambientes imediatos em que são colocados, com raio de até 20 m. A humidade relativa, expressa em percentagem, é a relação entre a humidade real do ar e a maior quantidade de humidade que a temperatura pode suportar. Quanto

mais quente o ar, mais humidade ele pode conter, então a humidade relativa do ar muda com as flutuações de temperatura. Ele usa medições capacitivas para determinar a quantidade de humidade no ar. Este tipo de medição depende de dois condutores eléctricos com uma película de polímero não condutora que se estabelece entre eles para criar um campo eléctrico entre eles. A humidade do ar se acumula no filme e causa mudanças nos níveis de voltagem entre as duas placas. Essa alteração é então convertida em uma medição digital da humidade relativa do ar, depois de levar em conta a temperatura do ar.



Figura 4: Sensor de Humidade e Temperatura

Fonte: www.potentiallabs.com

2.4.1.3 Acumulador de energia solar

Um acumulador de energia solar é um dispositivo composto por painel solar e um sistema de armazenamento de energia. O dispositivo contém células fotovoltaicas que captam a luz do Sol e converte a respectiva energia em corrente eléctrica. Por sua vez, a energia eléctrica é armazenada para o uso fora de hora-de-pico. O acumulador de energia solar será a fonte de alimentação dos diferentes dispositivos agregados ao nó fornecendo uma tensão de 5 Volts, suficiente para pôr a trabalhar todos módulos. O uso desse dispositivo é especialmente crucial porque garante a auto-sustentabilidade do sistema providenciando ao mesmo funcionamento ininterrompível sem depender da rede eléctrica.



Figura 5:Acumulador de Energia Solar

Fonte: [www. forretas.com](http://www.forretas.com)

2.4.1.4 Sensor de presença (PIR)

O sensor infravermelho passivo (PIR) é um sensor electrónico que mede a luz infravermelha que irradia dos objectos em seu campo de detecção. Este sensor será usado para detectar pássaros e, através de um buzzer, espantá-los, para prevenir que estes danifiquem as culturas. Um sensor PIR pode detectar alterações na quantidade de radiação infravermelha que incide sobre ele, que varia de acordo com a temperatura e as características da superfície dos objectos na frente do sensor. Quando um objecto, como um pássaro, passa em frente ao sensor, aumenta da temperatura ambiente para a temperatura do corpo e depois volta novamente. O sensor converte a alteração resultante na radiação infravermelha recebida em uma alteração na tensão de saída, e isso acciona a detecção.



Figura 6: Sensor de Presença

Fonte: es.aliexpress.com

2.4.1.5 Buzzer

Buzzer é um dispositivo de sinalização em áudio. O seu uso típico é, dentre outros, o de alarme de sinalização. No sistema de agricultura inteligente ele pode ser usado como um recurso para espantar pássaros. A audição de pássaros é similar à dos humanos, sendo a sua faixa de frequência mais sensível entre 1 e 4kHz, variando ligeiramente de uma espécie para outra (Beason, 2004). O Buzzer é capaz de emitir altas frequências em potências de até 80 dBs, suficientes para espantar as aves.



Figura 7: Buzzer

Fonte: www.potentiallabs.com

2.4.1.6 Esp8266

O Esp8266 é dispositivo microcontrolador que interliga e faz a gestão ao nível do nó. Ele funciona como transceptor de dados que envia as leituras dos diferentes sensores que compõem o nó para o controlador central, que permitirá as leituras por parte do agricultor.

O Esp8266 é responsável por enviar e receber dados e comandos do próprio processo



de produção, isto é, enviar humidade relativa, temperatura e humidade do solo, e receber comando para accionar a válvula se assim for necessário, accionar o buzzer para espantar pássaros caso seja detectado a presença deles. Toda comunicação é feita usando o protocolo MQTT.

Figura 8: Microcontrolador ESP8266 NodeMCU

Fonte: Joan (2018)

2.4.1.7 APIs de Node-RED

O Node-RED – plataforma de desenvolvimento de sistemas de IoT - é capaz de fornecer ao programador interface de programação de aplicações (API) que podem ser úteis ao usuário final, dependendo do tipo de finalidade. Estas aplicações são desenvolvidas por terceiros (programadores independentes) e são integrados na plataforma. No sistema de agricultura inteligente foram usados APIs que fornecem previsão meteorológica ao usuário.

2.4.1.8 Raspberry Pi

O Raspberry Pi é um pequeno computador de bolso usado para fazer pequenas operações de computação e rede. É o principal elemento no campo da internet das coisas. Ele fornece acesso à internet e, portanto, a conexão do sistema de automação com o dispositivo de controle de localização remota torna-se possível (Heath, 2019).



Figura 9:Raspberry Pi 3B+

Fonte: Heath (2019)

2.4.1.8.1. Componentes principais do Raspberry Pi (Modelo 3B+)

- **ARM CPU / GPU** - Este é um sistema Broadcom BCM2835 em um chip (SoC) que é composto de uma unidade de processamento central (CPU) ARM e uma unidade de processamento gráfico (GPU) Videocore 4. A CPU lida com todos os cálculos que fazem um computador funcionar (pegando dados, fazendo cálculos e produzindo resultados), e a GPU lida com a saída gráfica;
- **GPIO** - Estes são pontos de conexão de entrada / saída de uso geral expostos que permitirão aos amadores do hardware real a oportunidade de mexer;
- **RCA** - Um conector RCA permite a conexão de TVs analógicas e outros dispositivos de saída similares;
- **Saída de áudio** - Este é um conector padrão de 3,55 milímetros para conexão de dispositivos de saída de áudio, como fones de ouvido ou alto-falantes.
- **USB** - Esta é uma porta de conexão comum para dispositivos periféricos de todos os tipos (incluindo o mouse e o teclado). O modelo A tem um e o modelo B tem dois. Pode usar-se um hub USB para expandir o número de portas ou conectar seu mouse ao teclado se ele tiver sua própria porta USB;
- **HDMI** - Esse conector permite conectar uma televisão de alta definição ou outro dispositivo compatível usando um cabo HDMI.
- **Alimentação** - Este é um conector de alimentação Micro USB de 5v no qual pode conectar-se uma fonte de alimentação compatível.
- **Entrada de cartão SD** - Este é um slot de cartão SD de tamanho normal. Um cartão SD com um sistema operacional instalado é necessário para inicializar o dispositivo. Eles estão disponíveis para compra dos fabricantes, mas também pode baixar-se um sistema operacional e salvá-lo no cartão, se tiver uma máquina com Linux e os recursos necessários.
- **Ethernet** - Esse conector permite o acesso à rede com fio e só está disponível nos Modelos B.

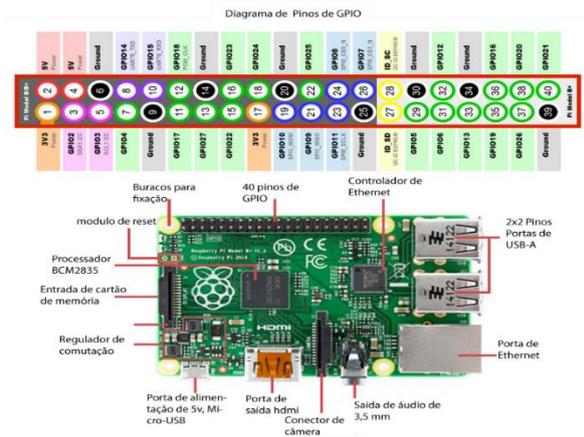


Figura 10: Diagrama de pinos e partes constituintes de Raspberry Pi 3B+

Fonte: Heath (2019)

CAPÍTULO 3: CASO DE ESTUDO

3.1 Localização

Sistema de irrigação e monitoria do campo agrícola será concebido para a instalação nos campos agrícolas da Associação de regantes de Massaca no distrito de Boane, na margem esquerda do rio Umbeluzi. O Distrito de Boane está localizado no extremo Sul da Província de Maputo entre a latitude 26° 02' 36" Sul e Longitude 32° 19' 36" Este, sendo limitado a Norte pelo Distrito de Moamba, a Sul e Este pelo Distrito da Namaacha, e a Oeste pela Cidade da Matola e pelo Distrito de Matutuine. Dista cerca de 22 km da Capital Provincial (Cidade da Matola) e 30 km da Cidade Capital do País (Maputo). A principal dificuldade relatada pela Associação foi: custo de implementação de sistemas de irrigação elevados (intervalo de 5 mil à 13 mil dólares) que cria consequentemente necessidade de mão-de-obra para aplicação de sistemas de irrigação tradicional.

3.2 Implementação e Custo de investimento dos sistemas de Irrigação gota-a-gota

O sistema de irrigação por gota-a-gota implementado pelos agricultores da associação é composto por um reservatório de 10-15 Litros ou um tambor de combustível de 200-300 litros é colocado a uma altura elevada(1-2m) acima do campo e conectado a pequenos tubos e gotejadores(figura1) para irrigar uma horta com uma área de 50 m²

para o caso de reservatório em balde ou 250-500 m² no caso da irrigação por gota-a-gota com um reservatório maior.



Figura 11: Instalação de linhas

Fonte: Associação Regantes da Massaca, 2021

Apesar de ser tecnologia eficiente, o sistema de irrigação por gota-a-gota para estes agricultores de pequena escala não é bem-sucedido em alguns casos visto que os agricultores não são devidamente familiarizados com os aspectos operacionais da tecnologia. As dificuldades incluem a necessidade de enchimento frequente do balde ou reservatório; acesso á fonte de água; falta do conhecimento da frequência da aplicação da água e a falta regular dos sistemas de filtros(figura2), todos estes constrangimentos causam um desempenho desencorajador e fracasso dos sistemas de gota-a-gota.



Figura 12: Filtro

Fonte: Associação Regantes da Massaca, 2021

Segundo (Miquitaio,2021) o custo do sistema de gota-a-gota oscila entre 8 000USD-10 000USD/ha e o custo de energia é estimado em 500USD-700USD/ha.

O investimento para a compra de um balde ou de sistemas de irrigação por gota-a-gota é o mais razoável. Apesar dos preços de uma unidade de sistema de balde (USD 50) e de uma unidade de gotejamento familiar (300 USD) parecem modestos, o investimento por hectare é ainda avultado (10 000 USD – 12 000/ha) e para o custo de mão-de-obra para o enchimento dos baldes e os tanques de água também são relativamente avultados e avaliados em 500USD – 700USD/ha.

3.2.1 Constrangimentos e limitações nos do sistema de irrigação gota-a-gota implementado

Constrangimentos encontrados relativos as tecnologias de irrigação são:

Mão-de-obra necessária para encher o reservatório, Entupimento dos gotejadores, Limpeza dos filtros, alto custo de investimento, acesso ao credito agrário, falta de familiarização com o sistema de irrigação por gota-a-gota (o solo permanece seco);

O sistema de Irrigação e Monitoria de campo agrícola será implementado a cerca de 35 metros da margem Este do rio Umbeluzi nas coordenadas 26° 1'46.52" de latitude Sul e 32°16'36.43" de longitude Este, com uma área de cerca de 1,04 há e perímetro de 414 metros.



Figura 13:Área de implementação do sistema de agricultura inteligente

Fonte: Google Earth(2022)

3.3 Fontes de Abastecimento de Água

Para a implementação de um sistema de irrigação e Monitoria é necessário ter a disposição água em quantidade suficiente e com qualidade adequada para o fim em vista.

As disponibilidades hídricas a empregar na irrigação podem ser conseguidas por meio do aproveitamento de águas superficiais ou de águas subterrâneas. Os regadios colectivos particulares incluem-se nos chamados regadios tradicionais e são sistemas hidráulicos que aproveitam água de rios.

O Distrito de Boane é rico em recursos hídricos, sendo grande parte dos quais pertencentes as bacias hidrográficas dos rios Umbelúzi, Tembe e Matola. Destes o mais importante é o rio Umbelúzi que nasce na Swazilândia e após 70km de percurso desemboca no estuário de Espírito Santo onde igualmente têm a sua foz os rios Tembe e Matola. O rio Umbelúzi é a fonte de abastecimento de água potável para os Distritos de Boane, Matola e cidade de Maputo.

3.4 Clima e Hidrografia

De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, o distrito de Boane apresenta um clima do tipo Cfa, ou seja, é um clima subtropical-húmido caracterizado por alternância entre as condições secas, induzidas pela alta pressão subcontinental e as incursões de ventos húmidos do oceano.

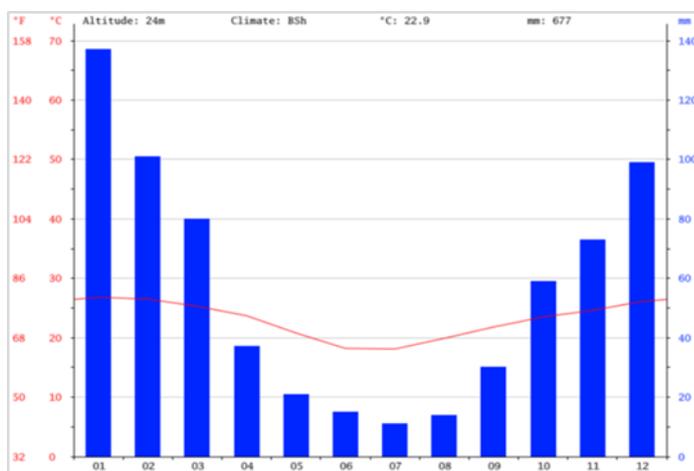


Figura 14: Temperatura e precipitação médias em Boane

Fonte: www.climate-data.org

Vagas de frio podem trazer tempestades violentas e chuvas torrenciais de curta duração. O mês mais quente do ano é janeiro com uma temperatura média de 26.8 °C. Com uma temperatura média de 18.1 °C, julho é o mês com a mais baixa temperatura ao longo do ano. A temperatura média anual é de 23.7 °C verificando-se que os meses mais frios são os de Junho e Julho e os mais quentes Janeiro e Fevereiro. A amplitude térmica anual é de 8.8°C.

A humidade relativa média anual é de 80.5%, variando de um valor máximo de 86% em Julho a um valor mínimo de 73.5% em Novembro. Por ano, a pluviosidade é de um cumulativo de 752mm, em média. Sendo o cumulativo do período seco de 43,6 mm e 563,6 mm para o húmido. O período húmido estende-se de Novembro a Março e o período seco de Abril a Outubro.

3.5 Relevo e Solo

Para escolher o tipo de cultura que melhor se enquadra à região, é necessário saber qual é o tipo de solo. O Distrito de Boane apresenta três grandes grupos de solos que são:

- 1) solos fluviais de alta fertilidade que abundam principalmente ao longo das margens dos rios Tembe e Umbeluzi, concretamente nos bairros de Belo Horizonte, Campoane, 25 de Setembro e Jossias Tongogara;
- 2) Solos arenosos de fertilidade muito baixa e baixa retenção de água, ocupam grande parte do Distrito e,
- 3) Solos argilosos vermelhos ocupam uma proporção espacial intermédia entre os dois tipos de solos anteriormente apresentados, em específico nos bairros Mavoco, Rádio Marconi, Filipe Samuel Magaia, Massaca e Mahanhane. A região dos solos fluviais é a mais propícia para a implementação de um sistema de irrigação devido a fertilidade do próprio solo e relativa proximidade à fonte de abastecimento de água (rios). Para este tipo de solo, foi recomendada pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) através do Boletim de Solos 69, o plantio de cereais.

3. 6 Agricultura

Com cerca de 43.200ha de terras aráveis com aptidão para o cultivo de cereais, hortícolas, leguminosas, tubérculos e fruteiras; 74.5% representa a área de produção sequeira e 11,6%, irrigável. Existência de terra arável para massificação da produção hortícolas (repolho, tomate e batata reno). O vale do rio Umbeluzi possui solos com potencial agrícola e pecuário, que são explorados por agricultores do sector privado e familiar.

Existe no Distrito uma diferença notável entre as zonas em relação a segurança alimentar. A zona sul, mais estável é coberta pela rede de rios, beneficia de regadios e baixas húmidas é apta para hortícolas, bananas e citrinos.

CAPÍTULO 4: PROPOSTA DE SOLUÇÃO

Com base nos constrangimentos identificados no local de estudo, o autor julgou necessário propor uma solução que contribua no rol de acções necessárias com vista à construir um sistema de irrigação e monitoria do campo agrícola de custos relativamente acessível, o que torna a sua expansão e implementação sustentável, o que conseqüentemente irá aumentar os níveis e qualidade de produção agrícola. A solução do problema passa por muitas acções sendo uma delas o monitoria em tempo real da necessidade hídrica da plantação.

4.1 Descrição da proposta de solução

O sistema de irrigação e monitoria de campo agrícola foi desenvolvido tendo em conta as potencialidades agrícolas do Distrito de Boane. Como referido no Capítulo III, em sua região arável, entre outras culturas a sua potencialidade reside nas hortícolas. Conforme a revisão da literatura no Capítulo II, o sistema foi dimensionado com o objecto de estudo as hortícolas crucíferas (couve-flor, couve, brócolos, repolho, entre outros). Para a execução da irrigação e monitoria propriamente dita, é usado um sistema baseado em células e nós. Cada nó representa e é responsável por uma área específica da plantação – uma célula – que é estimada em 200 m². Uma bomba de água comum faz o transporte de água do rio aos nós da plantação. A irrigação é baseada no sensoriamento da humidade do solo – a célula será irrigada se e somente se a humidade do solo for baixa. Assim, faz-se a irrigação de precisão, providenciando ao solo água em áreas específicas consoante a necessidade. O sistema providencia ao agricultor um controlo do estado da plantação através de estatísticas em tempo-real de parâmetros relativos ao solo colectados por diferentes sensores. A leitura de tais dados é feita em dispositivos terminais como computadores, tablets e telemóveis. É facultado, ainda, ao agricultor a possibilidade de ter a previsão meteorológica.

4.2 Dimensionamento

4.2.1 Da plantação

O Sistema de irrigação e monitoria de campo agrícola será desenhado para poder ser empregue em plantações de pequeno e médio porte. Com isto, quer-se dizer que para o sistema ser totalmente funcional, sem recursos adicionais, o raio a partir do ponto de acesso (roteador) até ao nó mais distante da plantação não pode ser superior a 90

metros. Com este raio podemos projectar uma plantação de 1 hectare (10 000 m²). Esta estimativa (90m) é baseada no padrão de comunicação utilizado no sistema – O IEEE 802.11, ou seja, Wi-Fi. A especificidade da rede Wi-Fi que dita o valor máximo de 90 metros é o alcance.

O alcance do sinal da rede Wi-Fi depende primária, mas não exclusivamente, do tipo de ponto de acesso usado. Factores que determinam o alcance máximo do sinal incluem o protocolo específico executado, a potência do dispositivo de transmissão e a natureza das obstruções físicas e/ou da interferência de rádio na área circundante. Em regra geral, os roteadores domésticos Wi-Fi operando na tradicional faixa de 2,4 GHz alcançam até 46 metros em ambientes internos e 92 m em ambientes externos. Finalmente, a distância em que alguém pode se conectar a um ponto de acesso varia de acordo com a orientação da antena. Além disso, alguns pontos de acesso utilizam antenas direccionais que permitem maior alcance em áreas que a antena está apontando, mas com alcance mais curto em outras áreas (Mitchell, 2019).



Figura 15: Dimensões da plantação

Fonte: Google Earth (2022)

O Esp8266, transceptor de dados que será usado, funciona com recurso a rede Wi-Fi para enviar dados e receber comandos, portanto, o nó mais distante tem que estar dentro dos 90 metros. O alcance pode ser aumentado se for incorporado no meio da plantação um roteador em funções similares a de uma 'repetidora'.

4.2.2 Da célula

Uma célula e a área de cobertura de um nó. O seu dimensionamento foi feito duma maneira mais deliberativa, pois o cálculo da quantidade de água para a irrigação é independente das dimensões da célula. Como referência, foram usados alcances máximos de alguns sensores que é para a maior cobertura dos mesmos em cada célula. O DHT11 tem um alcance máximo de 20 metros de raio e o Sensor de presença utiliza os raios infravermelhos para o seu funcionamento, que podem alcançar 10 metros (ou mais, dependendo da potência em aplicações mais robustas). Esta estimativa foi usada como referência para a determinação de área de cobertura de cada nó. Sendo o raio de cada nó de 10 metros, a área de cobertura de cada nó pode ser calculada recorrendo ao teorema de Pitágoras, como demonstrado a seguir.

Assumindo que $C1 = C2$ e que o diâmetro (hipotenusa) é de 20m, temos:

$$h^2 = C^2 + C^2 \leftrightarrow h^2 = 2 \cdot C^2$$

$$A = C^2 = \frac{h^2}{2} = \frac{20^2}{2} = 200 \text{ m}^2$$

Sendo assim, numa plantação de 1 hectare podem ser instalados 42 nós de irrigação efectiva.

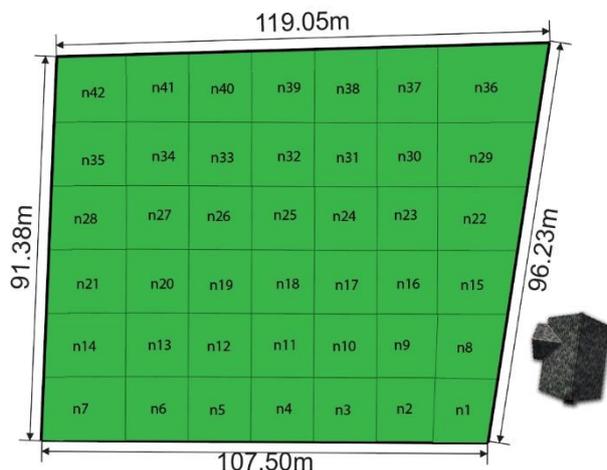


Figura 16: Disposiçaõ dos nós no sistema da plantaçaõ agrícola

Fonte: O autor (2021)

4.2.3 Da Quantidade de Água Necessária

Para uma programação efectiva do sistema, o cálculo da quantidade de água necessária para a irrigação é de carácter indispensável. Com tais dados podemos saber e programar quando a bomba de água deve estar em funcionamento e quando ela deve parar. Uma irrigação constante baseada em períodos de tempo é altamente ineficiente do ponto de vista da necessidade de água para cada cultura e do ponto de vista dos custos em energia. Portanto, a irrigação tem que ser feita baseada na necessidade de água de cada cultura, sendo neste caso em particular, o repolho.

A água para irrigação pode ser fornecida através da irrigação, da chuva ou da combinação dos dois factores. Em alguns casos, parte da necessidade de água é suprida pela água subterrânea através do aumento capilar. Para o propósito deste trabalho, no entanto, a contribuição do aumento capilar não é levada em consideração.

A FAO estima que o período de desenvolvimento do repolho em condições normais de clima tropical varia de 120 a 140 dias dependendo do local e época. Durante este período a necessidade hídrica varia de 350 a 500 mm como demonstra a tabela abaixo.

Cultura	Necessidades hídricas de culturas (mm / período total de crescimento)
Tomate	400-800
Repolho	350-500
Feijão	300-500
Batata	500-700
Cebola	350-550

Tabela 1: Valores Aproximados Das Necessidades Hídricas Sazonais

Fonte: FAO (2020)

A necessidade de água para cada cultura varia consoante a sua fase de desenvolvimento, mas com as crucíferas, a necessidade de água das culturas permanece a mesma durante as diferentes fases. As colheitas são colhidas frescas e, portanto, precisam de água até o último momento (FAO, 1986).

Sendo assim, podemos estimar a média diária de necessidade hídrica para esta cultura efectuando uma média aritmética.

$$N \text{ [mm/dia]} = \frac{N_t \text{ [mm]}}{t \text{ [dia]}}$$

No caso do repolho teremos:

$$N \left[\frac{\text{mm}}{\text{dia}} \right] = \frac{500 \text{ mm}}{120 \text{ dias}} = 4.2 \text{ mm/dia}$$

Para este cálculo foram levadas em conta as condições extremas do crescimento do repolho, isto é, num cenário onde temos um menor período de desenvolvimento (120 dias) e maior necessidade de água (500 mm). Em quaisquer outras condições dentro dos parâmetros descritos pela FAO o valor diário de água requerida será efectivamente menor. Como mostra o cálculo da equação a seguir, são necessários 4.2 mm de água para irrigação.

No entanto, o volume de água necessário para irrigar diariamente 1 ha de repolho pode ser dado por: $V = 0.0042 \text{ m} \times 10\,000 \text{ m}^2 = 42 \text{ m}^3$

De referir que o volume, similarmente à Necessidade diária, é um dimensionamento baseado em condições extremas e de baixa probabilidade, na ausência de chuvas em todo período, solo completamente seco e período de desenvolvimento maior que o estimado.

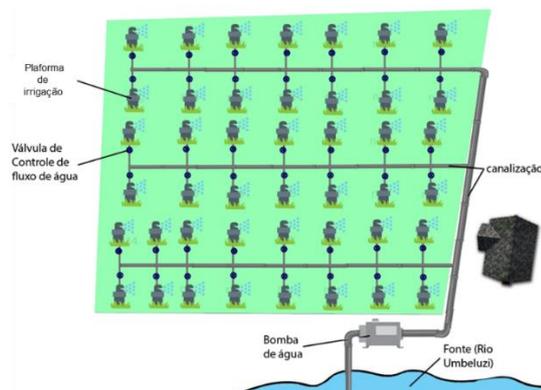


Figura 17: Disposição da canalização do sistema de irrigação

Fonte: O autor (2021)

Capítulo 5 - Desenvolvimento do protótipo

Neste capítulo são apresentados os métodos desenvolvidos para o desenvolvimento do protótipo em forma de tutorial, desde as etapas da montagem do circuito eléctrico, configuração do ESP NodeMCU 8266, preparação da Node-red até a manipulação dos dados; para garantir que o protótipo vem resolver o problema certo, usou-se princípios de modelo de desenvolvimento em Cascata de forma a garantir a qualidade do producto final.

5.1 Análise e definição de requisitos

5.1.2 Requisitos Funcionais

O sistema deve responder aos seguintes requisitos:

Ref	Descrição	Critério de Aceitação	Prioridade
RF1	O Sistema deve visualização qualquer dado recolhido pelos sensores	Processar todos os dados através do código fonte do Node-RED	Importante
RF2	O Sistema deve permitir o acesso apenas pela porta 1880 do servidor local.	O usuário deve aceder ao sistema	Essencial
RF3	O Sistema deve permitir que troca de dados entre o servidor e o controlador deve acontecer exclusivamente via rede Wi-Fi de 2.4 GHz.	O usuário deve aceder ao sistema	Essencial
RF4	O sistema deve realizar medições da temperatura, humidade do ar e humidade do solo em tempo real	Conseguir fazer a medição temperatura, humidade do ar e humidade do solo em tempo real	Essencial
RF5	O Sistema deve automatizar o acionamento dos actuadores	Irrigar a cultura automaticamente quando o valor da	Essencial

		humidade do solo for baixa.	
RF6	O sistema deve espantar aves	Emitir um som sobre que uma ave se aproximar da cultura	Desejável

Tabela 2: Requisitos Funcionais

Fonte: autor (2021)

5.1.3 Requisitos não Funcionais

Olhando para o modelo proposto, de acordo com a descrição do problema do presente trabalho, foram encontrados os seguintes requisitos não funcionais do sistema, tendo em conta o novo paradigma:

Ref	Descrição	Requisito
RnF1	O usuário poderá visualizar o estado da plantação a partir de qualquer terminal que esteja conectado à mesma rede.	Confiabilidade
RnF2	O sensor de humidade do solo deverá estar submerso a 15 cm em relação a superfície para uma leitura eficaz da humidade do solo, pois a humidade é medida em relação ao posicionamento da raiz (órgão da planta responsável por absorver a água).	Escalabilidade
RnF3	A página de visualização estará disponível apenas a quem tem credenciais de acesso.	Segurança
RnF4	O Sistema deve ser responsivo na interfaces gráficas	Usabilidade
RnF5	O tempo de processamento de uma operação não deve exceder dez segundos	Eficiência
RnF6	O tempo de resposta para as operações de inserção de dados no painel de visualização deve ser ao tempo real	Eficiência

RnF7	O Sistema deve ser compatível com sistemas operacionais Windows, Linux, iOS, Android	Compatibilidade
-------------	--	-----------------

Tabela 3: Requisitos não funcionais

Fonte: autor (2021)

5.2 Projeto de sistema e software

5.2.1 Requisitos de Software

RF1- O Sistema deve permitir a visualização de qualquer dado recolhido pelos sensores; **RF2**- O Sistema deve permitir o acesso apenas pela porta 1880 do servidor local; **RF4**- O sistema deve realizar medições da temperatura, humidade do ar e humidade do solo em tempo real; **RF5** - O Sistema deve automatizar o acionamento dos actuadores;

RF6 - O sistema deve espantar aves; **RnF1** - O usuário poderá visualizar o estado da plantação a partir de qualquer terminal que esteja conectado à mesma rede; **RnF3** - A página de visualização estará disponível apenas a quem tem credenciais de acesso; **RnF4** - O Sistema deve ser responsivo na interface gráfica; **RnF5** - O tempo de processamento de uma operação não deve exceder dez segundos; **RnF6** - O tempo de resposta para as operações de inserção de dados no painel de visualização deve ser em tempo real;

5.2.2 Requisitos de Hardware

RF3 - O Sistema deve permitir que a troca de dados entre o servidor e o controlador deve acontecer exclusivamente via rede Wi-Fi de 2.4 GHz; **RnF2** - O sensor de humidade do solo deverá estar submerso a 15 cm em relação à superfície para uma leitura eficaz da humidade do solo, pois a humidade é medida em relação ao posicionamento da raiz (órgão da planta responsável por absorver a água); **RnF7** - O Sistema deve ser compatível com sistemas operacionais Windows, Linux, iOS, Android

5.2.1 Arquitectura

O modelo de solução proposto está dividido em três camadas nomeadamente, camada física e percepção, camada de rede e camada de aplicação, onde a forma de interação

entre elas é da base para cima, isto é, tudo começa da camada física e percepção e culmina na camada de aplicação.



Figura 18:Arquitectura do modelo de solução

Fonte: Autor (2022)

5.2.1.1 Camada Física e Percepção

A primeira camada está dividida em duas partes tendo a como a primeira parte física que trata da transmissão de bits normais por um canal de comunicação (Tanenbaum A. S., 2011) e a segunda a percepção que é responsável por captar as grandezas físicas do ambiente e converte-las para um formato digital que possa ser facilmente transportado pela camada de rede (Serafim, 2014). Nesta camada é usado o sensor e atuadores descrito em II.4.1.1 à II.4.1.5, Raspberry Pi, e um microcontrolador ESP 8266.

5.2.1.2 Camada de Rede

A camada de rede tem como função a transmissão dos dados obtidos pelos dispositivos da camada de percepção para a camada de aplicação (Serafim, 2014), nesta camada a transmissão de dados é feita usando o protocolo MQTT;

5.2.1.2.1 Mosquitto

O Mosquitto é um broker de mensagens de código aberto que implementa protocolo MQTT. O Mosquitto é leve e adequado para uso em todos os dispositivos, desde computadores de baixa potência, como o Raspberry Pi, até servidores completos. Ele é o broker mais comumente usado e suas funções estão sendo expandidas para usos mais robustos em automação industrial.

5.2.1.2.2 MQTT

MQTT, acrónimo de Message Queuing Telemetry Transport, é um protocolo de mensagens leve que fornece aos clientes de rede com recursos limitados uma maneira simples de distribuir informações de telemetria. O protocolo, que usa um padrão de comunicação de publicação / assinatura, é usado para comunicação entre máquinas (M2M) e desempenha um papel importante na Internet das coisas (IoT), pois os dispositivos de IoT geram dados em quantidade reduzida.

5.2.1.2.2.1 Padrão de mensagens de publicação/assinatura

O padrão de publicação/assinatura (também conhecido como pub/sub) fornece uma alternativa à arquitectura cliente-servidor tradicional. No modelo cliente-servidor, um cliente se comunica directamente com um terminal. O modelo pub/sub desacopla o cliente que envia uma mensagem (o publicador) do cliente ou clientes que recebem as mensagens (os assinantes).

Quando um dispositivo (um cliente) deseja enviar dados para o intermediário, chamamos essa operação de “publicar”.

Quando um dispositivo (um cliente) deseja receber dados do intermediário, chamamos essa operação de "inscrever-se".

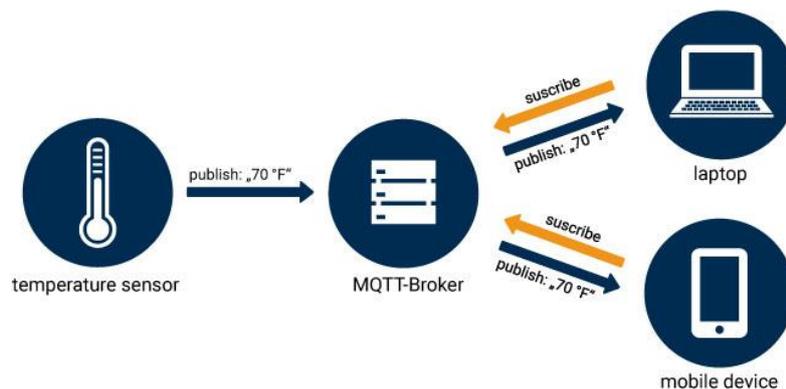


Figura 19: Representação esquemática do MQTT

Fonte: Autor (2021)

Os publicadores e assinantes nunca entram em contacto directamente. Na verdade, eles nem sequer sabem que o outro existe. A conexão entre eles é tratada por um terceiro componente - o broker.

Cada cliente se conecta ao broker fornecendo seu próprio identificador exclusivo (ID do cliente) e a função do broker é gerir conexões de clientes e transferir mensagens entre elas. Além disso, o broker é responsável por gerir qualquer persistência de mensagens (geralmente em um acumulador de dados) para que possa enviá-las a todos os clientes que foram temporariamente desconectados, mas retornaram on-line; esse recurso é chamado de "reter mensagem" e é importante em redes não confiáveis com conexões frágeis. Quando um cliente não precisa enviar nenhuma mensagem ou não recebe mensagens por um longo tempo, ele deve enviar periodicamente uma mensagem "keep-alive" para o broker para manter a conexão activa, caso contrário o broker fecha a conexão após um tempo limite. Toda a arquitectura é baseada em TCP / IP, de modo que cada mensagem trocada entre os clientes é empacotada dentro de um pacote TCP.

5.2.1.2.2.2 Componentes do MQTT

- **Cliente MQTT:** um aplicativo cliente que está conectado à Internet e implementa o MQTT sobre TCP / IP para enviar ou receber mensagens;
- **Tópico MQTT:** um identificador de mensagem usado para marcar, classificar mensagens em um conceito hierárquico;
- **Publicador:** Cliente MQTT que envia dados pela rede;
- **Assinante:** Cliente MQTT que assina determinado tópico na rede MQTT;
- **MQTT Broker:** São principalmente servidores de aplicativos que controlam os clientes MQTT com sua conectividade, autenticação, entrega de mensagens, armazenamento de mensagens;
- **Mensagem:** Mensagem real, dados que estão sendo publicados ou assinados.

Waher (2015) sugere que o MQTT seja a melhor opção para redes sem fio que experimentam vários níveis de latência devido a restrições ocasionais de largura de banda ou conexões não confiáveis. Se a conexão de um cliente assinante a um broker for interrompida, o broker enviará mensagens para o assinante quando ele estiver on-line novamente. Se a conexão do cliente publicador para o broker for desconectada

sem aviso prévio, o broker poderá fechar a conexão e enviar aos assinantes uma mensagem em cache com instruções do editor.

5.2.1.2.3 Node-RED

O Node-RED é uma ferramenta de programação de código, que usa o método “baseado em fluxo”. Essa abordagem descreve o comportamento do aplicativo por meio de uma série de nós, cada um com sua própria função pré-programada. De acordo com essa função, o nó processa os dados recebidos e os envia para o próximo nó na linha. Isso cria um fluxo de dados entre os nós - no caso do Node-RED, esse fluxo é representado pela conexão com a Internet, através do protocolo TCP/IP ou mesmo o MQTT a operar sobre ele.

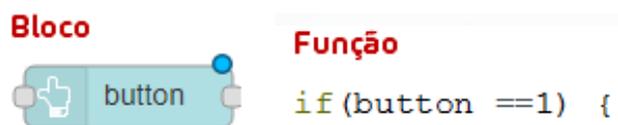


Figura 20: Correlação entre Node-RED e linguagem C

Fonte: B. do Curto (2018)

Essa abordagem representa uma maneira intuitiva para desenvolver aplicativos colocando o conjunto correcto de nós sem a necessidade de escrever código personalizado. No caso do Node-RED, a interface de programação é acessível através de um navegador da web ou softwares de programação como o VSCode. Ao programador recai somente a tarefa de interconectar cada nó e configurar suas funções - depois disso, pode controlar as entradas e saídas de seu controlador conforme necessário.

Originalmente desenvolvido como um projecto de código aberto na IBM no final de 2013, para atender a necessidade de conectar rapidamente hardware e dispositivos a serviços da Web e outros softwares ele evoluiu rapidamente para ser uma ferramenta de programação em IoT de uso geral (Lea, 2016). Embora o Node-RED tenha sido originalmente projectado para funcionar com a Internet das Coisas, ou seja, dispositivos que interagem e controlam o mundo real, à medida que evoluiu, tornou-se útil para uma variedade de aplicações.

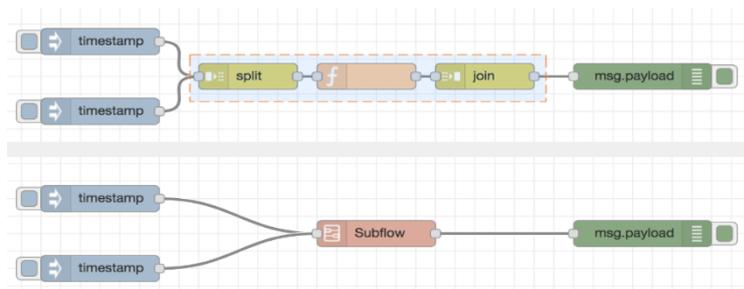


Figura 21: Exemplo de um programa em fluxo feito em Node RED

Fonte: Node RED (2019)

5.2.1.3 Camada de Aplicação

A camada de aplicação tem como função o armazenamento, processamento, análise dos dados e tomada de decisão enviados pela camada de rede (Serafim, 2014). Nesta camada para o armazenamento é usada a nuvem onde depois os dados são processados node-Red.

5.2.2 Modelo de funcionamento

O modelo de funcionamento da solução apresenta a estrutura de rede que será aplicada no sistema, o fluxo de trabalho ou de processos do sistema, funções ou estágios, onde são definidas as interações entre as diferentes partes do sistema através de relações de entradas, saídas e direcções de fluxo de informação e por fim a composição da plataforma física.

5.2.2.1 Estrutura da rede

A estrutura da rede patente no sistema apresenta uma topologia em estrela. Uma rede em estrela consiste em um nó de gateway no qual todos os outros nós (os nós dos sensores) na rede estão vinculados. Esse gateway central actua como um ponto de conexão comum para todos os outros nós da rede, tanto os de sensores como os de controle (o Raspberry Pi). Todos os nós periféricos podem assim se comunicar com todos os outros transmitindo e recebendo apenas do gateway. Um exemplo dessa topologia é o router de rede WiFi doméstica. O gateway também permite o link para o mundo exterior.

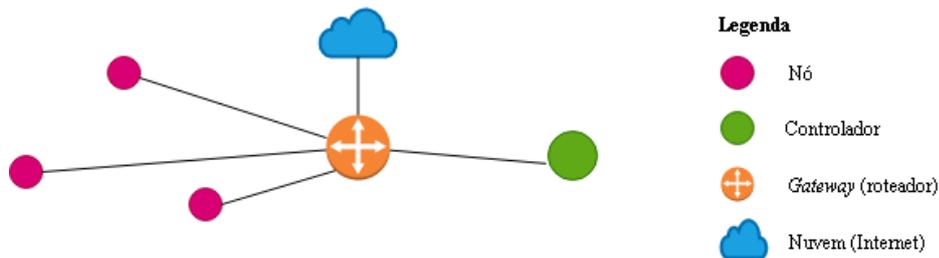


Figura 22: Topologia da rede, em estrela

Fonte: O autor (2021)

5.2.2.2 Fluxograma

Um fluxograma é um tipo de diagrama que representa um fluxo de trabalho ou processo. O fluxograma também pode ser definido como uma representação diagramática de um algoritmo, uma abordagem passo a passo para resolver uma tarefa. São utilizados para documentar, estudar, planejar, melhorar e comunicar processos complexos por meio de diagramas claros e fáceis de entender. A Figura 23 ilustra o fluxograma do sistema.

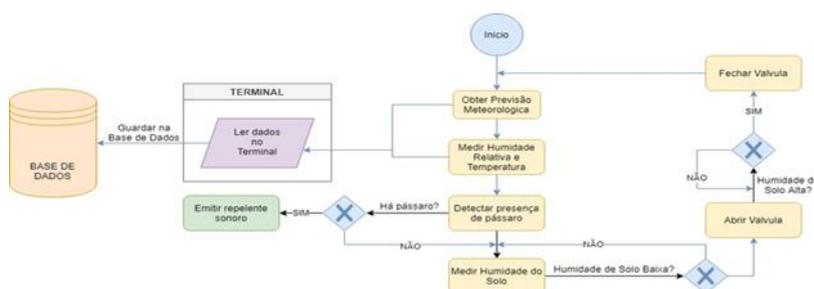


Figura 23: Fluxograma do Sistema

Fonte: O autor (2021)

5.2.2.3 Diagrama de Blocos

Um diagrama de blocos é a representação gráfica de um sistema complexo em blocos de funções ou estágios, onde são definidas as interações entre as diferentes partes do sistema através de relações de entradas, saídas e direcções de fluxo de informação. O sistema, é composto por 3 sensores conectados ao controlador, cuja função é de transmitir ao controlador as leituras obtidas. Estas informações são, por conseguinte, transferidas ao broker Mosquitto, que envia ao Node-RED para o processamento de informação. Tanto o Mosquitto quanto o Node-RED estão instalados no computador Raspberry Pi. O Node-RED faz o processamento de informação e retorna ao broker em rotas definidas em forma de tópicos. A informação processada é reencaminhada para

os actuadores conectados ao controlador e o Terminal para a visualização por parte do usuário.

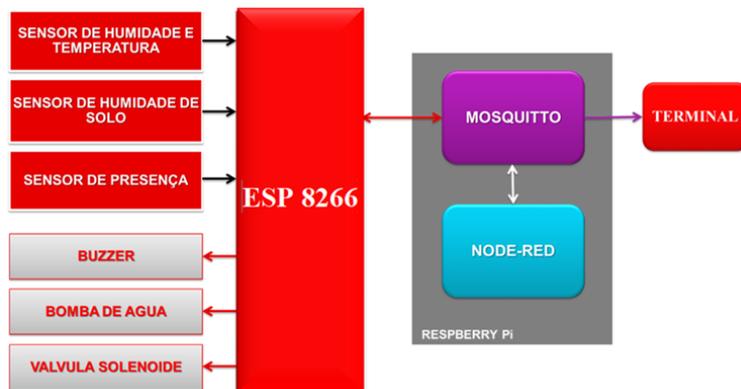


Figura 24: Diagrama de Blocos do Sistema

Fonte: O autor (2021)

5.2.2.4 Plataforma Física

No protótipo usa-se o conceito-base do projecto e cria-se um modelo minimalista do que o sistema faz em ambientes idêntico ao do seu uso final. Sendo assim, para a criação de um protótipo do sistema de irrigação e monitoria do campo agrícola, vai usar conceito-base que é monitoria e irrigação de áreas (células) específicas da plantação através de nós que controlam tais células. Um nó que serve de modelo representante dos demais que serão instalados ao longo da plantação. Uma estrutura física como demonstra a Figura 1 do anexo 2. Vai usar-se uma placa de montagem para facilitar no diagnóstico de problemas, troca de problemas e mais. O que não é possível numa placa de circuito impresso.

5.2.2.4.1 Parte superior

O nó, em toda sua extensão, terá de apresentar uma configuração vertical que é para dar um maior relevo ao sistema e permitir que os sensores façam leituras eficazes. Contudo, na parte superior do nó, a plataforma de suporte é instalada numa posição horizontal. Esta configuração é assim feita para assentar o acumulador de energia solar, pois para o seu funcionamento correcto, a célula solar do acumulador de energia tem de estar em exposição directa do sol. A energia solar convertida em eléctrica e armazenada, é posteriormente transportada para a parte inferior da plataforma, onde encontra-se o circuito eléctrico, através de um cabo de alimentação USB-A, como

ilustrado na Figura 2 do anexo 2, ainda na parte superior do nó, está instalado o sensor de presença PIR. Diferentemente de outros, o sensor de presença encontra-se instalado na configuração horizontal, na parte superior da plataforma para poder detectar com maior eficácia as possíveis aves que sobrevoam a célula. Tal como no acumulador de energia solar, os cabos de alimentação e de dados dão à parte inferior da plataforma onde está o circuito eléctrico.

A parte superior apresenta a disposição horizontal que é para também oferecer uma mínima base de proteção da placa de circuito e seus componentes contra a exposição directa dos raios solares, como ilustrado na Figura 3 do anexo 2. Alguns componentes não têm máxima resistência contra altas temperaturas e ao longo do tempo podem ser prejudiciais ao circuito e fazer com que este funcione de maneira defeituosa.

5.2.2.4.2 Parte inferior

Na parte inferior encontra-se a base do nó, que suporta a plataforma e contém a terra representante da célula. Um recipiente com água foi posicionado próximo do local em representação do Rio Umbeluzi que se encontra nas proximidades da plantação. Na Figura 4 do anexo 2, ilustra-se uma bomba de água dentro do recipiente que será responsável por fornecer a força motriz para canalizar, através de um tubo, a água para a terra. Tanto o sensor de humidade solo quanto a bomba de água possuem fios que se derivam da placa de montagem, onde as conexões são devidamente feitas.

5.2.2.4.3 Parte Intermediária

Na Figura 5 do anexo 2, ilustra-se parte intermediária da plataforma está instalada a placa de montagem, com alimentação proveniente do acumulador de energia solar. Sobre ela estão conectados, DHT11, relay, Conversor do sensor de humidade de solo, Buzzer e o ESP8266, cujas descrições foram feitas em III.4.

5.2.2.4.4 Interface do Usuário

A interface do usuário (IU), é o espaço em que ocorrem interações entre humanos e máquinas. O objetivo dessa interação é permitir a operação e o controle eficazes da máquina a partir do lado humano, enquanto a máquina fornece informações simultaneamente que auxiliam no processo de tomada de decisão dos operadores.

No sistema de Agricultura Inteligente, a IU é concebida com recurso a Node-RED, que lê os dados recebidos e processa consoante as necessidades e critérios pré-

estabelecidos pelo programador. A IU está repartida em três categorias, nomeadamente, “Condições do Terreno”, “O tempo hoje”, “O tempo amanhã”.

Em Condições do Terreno encontram-se dados relativos a plantação que são obtidos em tempo real. É possível saber qual é a humidade do solo e monitorar o ciclo de irrigação, a temperatura e a humidade local, como ilustrado na Figura 6 do anexo 2

5.3 Implementação e teste de unidade

Para iniciarmos o processo de implementação ou codificação da solução o autor precisou de instalar as seguintes ferramentas: Mosquitto, Node-red, Arduino IDE,

5.3.1 Instalação do Mosquitto Broker no Windows

Primeiro será necessário acessar ao link <https://mosquitto.org/download/> para descarregar o app do mosquitto, apos o download seguir os passos para a instalação: Clicar duas vezes no Setup de instalação >> Selecionar o serviço de verificação de componentes para instalar como um serviço, isto para que o mosquitto inicie automaticamente quando o sistema operacional for iniciado >> Escolheu um local onde deveria ser instalado o mosquitto >> Por fim clicou no botão concluir ;

NB: para iniciar o broker manualmente, será necessário acessar o prompt de comando e apontar ao diretório de instalação do mosquitto e digitou o comando mosquitto

5.3.2 Instalação do Node-Red localmente

Em primeiro lugar será necessário acessar ao link <https://nodejs.org/en/download/> e descarregar a aplicação de Node.js acordo com a versão do Windows, apos o download seguir clicando nos botões **NEXT** até chegar ao final da instalação e para garantir que a instalação foi executada com sucesso seguir ao prompt de comando digitar o comando **node -v** .

5.3.3 Instalação do Arduino IDE

Em primeiro lugar será necessário acessar ao link <https://support.arduino.cc/hc/en-us/categories/360002212660-Software-and-Downloads> e descarregar a aplicação de Arduino IDE acordo com a versão do Windows, apos o download seguir clicando nos botões **NEXT** até chegar ao final da instalação.

5.3.4 Programação do ESP8266

A Programação do ESP8266 é feita em Linguagem C e é compilada por um software que permite executar o código que foi criado, O Software que será utilizado é o Arduino IDE que oferece um ambiente de desenvolvimento integrado e Propício para projectos IoT.

Para iniciar a programação do ESP8266 será necessário descarregar e instalar a biblioteca do ESP8266, como ilustra a imagem abaixo:

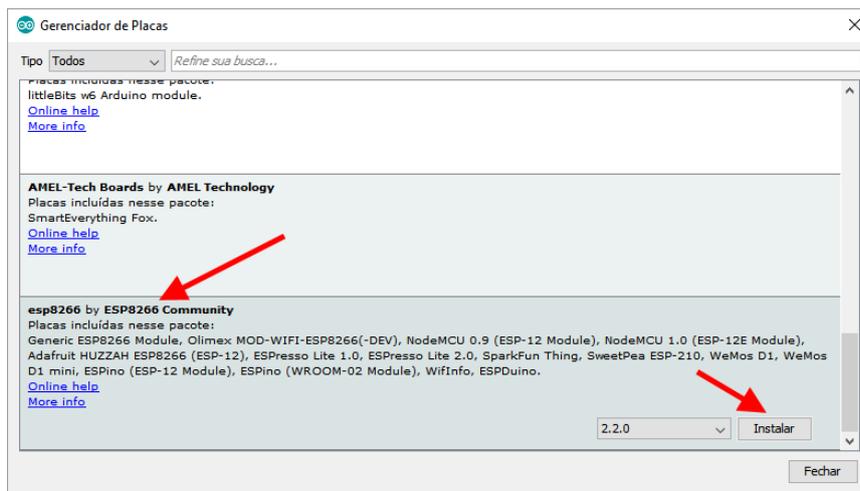


Figura 25: Instalação da biblioteca do ESP8266

Fonte: O autor (2021)

Apos terminar o descarregamento da biblioteca, segue-se o processo da sua instalação que é feita no gerenciador de placas, feito isso já esta pronto o ambiente para a programação do ESP8266.

5.3.4.1 Importação das bibliotecas

Para aceder ao ESP8266, Client MQTT e DHT serão importadas as suas respectivas bibliotecas conforme ilustra as linhas de código abaixo:

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
#include "DHT.h"
```

5.3.4.1 Conexão com a rede wi-fi

A conexão com a rede será apresentada nas duas (2) linhas conforme o código abaixo:

```
const char* ssid = "Vodafone R219t";
const char* password = "435lo5iO";
```

5.3.4.2 Conexão e comunicação com o servidor MQTT

A conexão ao servidor MQTT é ilustrada nas quatro linhas conforme o código abaixo:

```
const char* mqtt_server = "192.168.0.176";
const int mqtt_port = 1883;
WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);
```

5.3.4.3 Função que conecta o ESP8266 ao wi-fi

```
void setup_wifi() {
  delay(10);
  Serial.println();
  Serial.print("Connecting to ");
  Serial.println(ssid);
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print("."); }
  randomSeed(micros());
  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi connected");
  Serial.println("IP address: ");
  Serial.println(WiFi.localIP()); }
```

5.3.4.4 Função Callback()

É a função responsável em receber as mensagens MQTT e esta retorna se realmente os dados foram recebidos por meio dos sensores e actuadores

```
void callback(char* topic, byte* payload, unsigned int length) {
  Serial.print("Message arrived [");
  Serial.print(topic);
  Serial.print("]: ");
  char message[length];
  for (int i=0; i< length; i++){
    message[i] = (char)payload[i]; }
  Serial.println(message); }
```

5.3.4.5 Função que reconecta o ESP8266 ao wi-fi

Esta função será responsável manter o ESP8266 conectado a Internet sempre este não tiver conexão;

```
void reconnect() {  
  while (!client.connected()) {  
    Serial.print("Attempting MQTT connection...");  
    String clientId = "ESP8266Client-";  
    clientId += String(random(0xffff), HEX);  
    if (client.connect(clientId.c_str())) {  
      Serial.println("Connected!");  
    } else {  
      Serial.print("failed, rc=");  
      Serial.print(client.state());  
      Serial.println(" try again in 5 seconds");  
      // Wait 5 seconds before retrying  
      delay(5000); } } }
```

5.4 Integração e teste de sistema

5.4.1 Resultados Obtidos

Durante o teste do protótipo, verificou-se os componentes a longo prazo iriam garantir a existência dos três pilares do modelo clássico de segurança de informação nomeadamente a Confidencialidade, integridade e disponibilidade. O sensor de humidade do solo usado no protótipo é analógico e de carga resistiva, o que significa que ao longo prazo, o contacto entre a água e a parte elétrica pode resultar em oxidação e tornar a medição do sensor de humidade do solo menos eficaz. O sensor de humidade relativa do Ar e temperatura, apresentou inicialmente valores hipotéticos de temperatura que variavam entre 120°C e -1°C, depois de alguns minutos os valores estabilizara-se em valores reais de ambiente em torno de 24C e 60% de temperatura e humidade relativa do ar, respectivamente.

Componente	Quantidade	Preço Unitário (MT)	Preço Total (MT)
------------	------------	---------------------	------------------

Raspberry Pi 3B+	1	2300	2300
ESP8266	84	140	11760
Sensor de humidade e Temperatura	42	60	2520
Sensor de humidade do solo	42	30	1260
Sensor de Presença	42	30	1260
Relay	42	40	1680
Bomba de Agua	1	6000	6000
Válvula Solenoide	42	200	8400
Acumulador de Energia Solar	42	700	29400
Tubagem	700m	250	161000
Base de madeira	42	1500	63000
Roteadores	1	1500	1500
Total			290,080.00 MT

Para além do êxito funcional, o sistema tinha de ser de custo relativamente baixo em relação aos sistemas vigentes em Moçambique conforme exposto no ponto I.2, com isso foi levantada a seguinte questão **pode o sistema de irrigação e monitoria de campo agrícola com base em Internet of Things (IoT) ser menos dispendioso em relação ao sistema de Irrigação Vigente na Associação Regantes da Massaca - Distrito de Boane?** Como forma de obter uma resposta foi escolhido uma área de 1 hectare de extensão para estabelecer um panorama comparativo entre os sistemas, entretanto, após a colaboração da Associação dos Agricultores, foi possível obter o seguinte orçamento para a implementação do sistema de irrigação e monitoria de campo agrícola com base em Internet of Things (IoT):

Tabela 4: Orçamento do sistema

Fonte: O autor (2021)

Com o orçamento obtido na tabela acima, conseguimos responder positivamente que sistema de irrigação e monitoria de campo agrícola com base em Internet of Things (IoT) é menos dispendioso que os sistemas de irrigação vigentes em Moçambique, mesmo aplicando um valor de tolerância de 10% do valor total, referente a oscilações de preços e custos ocultos, obtém-se um custo total de 319,088.00MT onde também pode-se concluir que o sistema de irrigação e monitoria de campo agrícola com base em Internet of Things (IoT) é menos dispendioso por uma margem mínima de 2% e

com uma margem máxima de 62%, para essa comparação não levou-se em consideração os encargos relativos a manutenção dos sistemas por falta de dados que indiquem a performance dos sistemas bem como o ciclo de vida dos mesmos. A implementação do sistema de irrigação e monitoria de campo agrícola com base em Internet of Things (IoT) proposto é recomendada pelo autor, visto que este é menos dispendioso e possui funcionalidades que podem potencializar uma boa produção agrícola.

5.5 Operação e manutenção

5.5.1 Plano Instalação do Sistema de irrigação e monitoria de campo agrícola com base em Internet of Things (IoT)

Para a instalação do sistema no local do estudo serão necessários 4 meses conforme discriminado na tabela abaixo:

AnoMESESSEMANASETAPAS....	2022				2023															
	Novembro				Dezembro				Janeiro				Fevereiro				Março			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	
Início do Projecto	█																			
Dimensionamento hidráulico		█	█																	
Elaboração de planta			█	█																
Aquisição do Material				█	█	█														
Montagem do sistema hidráulico					█	█	█													
Montagem do sistema Elétrico							█	█												
Teste do Sistema									█	█										
Detecção e prevenção de falhas											█	█								
Teste finais e training													█	█						
Entregua do Sistema																			█	

Tabela 5 : Calendarização do Plano de Implementação do Sistema

Fonte: O autor (2022)

5.5.2 Plano Manutenção Preventiva do Sistema de irrigação e monitoria de campo agrícola com base em Internet of Things (IoT)

Itens de Inspeção	Recursos	Frequência (Meses)
-------------------	----------	--------------------

	Material Necessario	Mão de Obra	
Sensor de Humidade do Solo	Multímetro, Chave Inglesa, Chaves Combinadas	No Minimo 2 Engenheiros agrónomos ou Mecânico	C1: de imediato; C2: 2; C3:12
Sensor de Humidade Relativa do Ar			
Sensor de Presença			
Tubulações			
Conexões			
Ponto de Abastecimento			
Válvulas			
Bomba			
CRITICIDADE	O QUE FAZER		
C1: Equipamento Avariado	Substituir		
C2: Temperatura(acima de 80º) e Ruído(acima 75Db)	Desligar o sistema de imediato imediatamente e alinhá-lo, pois possivelmente esta ocorrendo sobrecarga em algum ponto		
C3: Equipamento e seu Local de Instalação Sujo	Limpeza no equipamento e do local onde o mesmo está instalado		

A Manutenção preventiva do sistema será feita em períodos sucessivos de 12 meses para assegurar o bom funcionamento do sistema;

Tabela 6: Planos de Manutenção Preventiva

Fonte: O autor (2022)

CAPÍTULO 6: CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como principal objectivo desenvolver um sistema de irrigação e monitoria do campo agrícola para exploração agrícola seja eficaz, sustentável e principalmente que seja de custo relativamente baixo, que justifique a passagem de um

sistema convencional para um sistema automatizado, mudando assim, o paradigma de produção agrícola em Moçambique. Foram agregados aos conhecimentos obtidos durante o curso de Engenharia Informática, saberes das áreas de geografia e agronomia para mesclarem-se e produzir um sistema de aplicação útil e eficaz.

6.1 Recomendações

Para trabalhos futuros algumas modificações podem ser feitas para refinar o sistema. O sistema de irrigação e monitorização inteligente da agricultura faz o uso da rede Wi-Fi para circular a informação na rede. Este método é eficaz e seguro, porém possui limitações a nível do alcance. Muitas plantações possuem áreas bem superiores a 1 hectare e a rede Wi-Fi não cobre longas distâncias. Para aplicações e trabalhos futuros recomenda-se o uso da tecnologia LoRaWAN (rede de área ampla e longo alcance). Esta tecnologia pode possibilitar estabelecer uma rede entre nós e controladores de mais de 10 km em zonas rurais, com baixo consumo de energia. Recomenda-se também a aprimoração do sistema, adicionando sensor de pH, um sistema integrado de aproveitamento de águas pluviais e sensor de fluxo de água para casos haja necessidade de medir o consumo diário, semanal ou mensal de água utilizada pela plantação, para atribuir uma maior robustez ao sistema.

No que diz respeito a IoT e ao MQTT, alguns aspectos merecem especial atenção. Por ser um recurso conectado à internet, há a necessidade de aplicar medidas de segurança das informações. Uma dessas medidas é o uso de WebSockets, que facilitam a transmissão de mensagens de diferentes dispositivos.

Este trabalho viabilizou o uso de painéis e interfaces gráficas para a facilitação de leitura de informações úteis por parte do usuário. Com isto, abre-se a possibilidade de adicionar mais conteúdos, como por exemplo, visualização de notícias relativas a agricultura moçambicana, quantidade de água utilizada em um determinado período, aproximando mais o agricultor da sua actividade e simultaneamente do mundo digital.

Referências / Bibliografia

Aleksandrova, M. (2018). IoT in Agriculture: 5 Technology Use Cases for Smart Farming. Obtido em 1 de Setembro de 2021, de Eastern Peck:

<https://easternpeak.com/blog/iot-in-agriculture-5-technology-use-cases-for-smart-farming-and-4-challenges-to-consider/>

AGROSMART, (2016). 4 dicas importantes após implantar um sistema de irrigação. Obtido de em 14 de Janeiro de 2022 AGROSMART: <https://agrosmart.com.br/blog/4-dicas-apos-ter-um-sistema-de-irrigacao/>

B. do Curto. (20 de Novembro de 2018). Tutorial Node-RED para Esp8266. Obtido em 14 de Janeiro de 2022, de Curto Circuito: <https://www.curtocircuito.com.br/blog/Esp8266:-node-red-editor-de-fluxo-on-line/>

Beason, R. C. (Setembro de 2004). What Can Birds Hear? Em U. o. Lincoln, USDA National Wildlife Research Center - Staff Publications (pp. 92-96). Nebraska: U.S. Department of Agriculture: Animal and Plant Health Inspection Service. Obtido em 14 de Janeiro de 2022, disponível em https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://en.wikipedia.org/&httpsredir=1&article=1076&context=icwdm_usdanwrc

Boane, G. d. (Janeiro de 2016). Plano Estratégico de Desenvolvimento do Distrito de Boane. Maputo. Obtido em 30 de Julho de 2021, de <http://www.pmaputo.go5.mz/por/content/download/6448/46486/version/1/file/PEDD+2015-2024+%2801-11-17%29+vf.pdf>

CARVALHO, Professor Daniel Fonseca de. ENGENHARIA DE ÁGUA E SOLO. 2010. 66 f. Dissertação - Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural Do Rio De Janeiro, Seropédica-RJ, 2010.

CRUZ, (2019). IMPORTÂNCIA DO MANEJO DA IRRIGAÇÃO. Obtido de conhecer: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2020D/importancia.pdf>

FAO. (2020). Crop Water Needs. Em FAO, Irrigation Water Needs (Vol. III). Brouwer, C.; Heibloem, M. Obtido em 18 de Agosto de 2021, de <http://www.fao.org/3/s2022e/s2022e02.htm#2.4%20determination%20of%20crop%20water%20needs>

FAO. (1986). FAO Soils Bulletin 69. Obtido em 27 de Julho de 2021, de <http://www.fao.org/3/T1696E/T1696e00.htm>

Fernando Braz Tangerino Hernandez, (2020). NOÇÕES DA ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE IRRIGAÇÃO. Obtido em 27 de Julho de 2021 de unesp: <https://www2.feis.unesp.br/irrigacao/projeto.htm>

Heath, N. (24 de Junho de 2019). Raspberry Pi: A Cheat Sheet. Obtido em 08 de Setembro de 2021, de techrepublic.com: techrepublic.com/article/raspberry-pi-the-smart-persons-guide

IEEE. (2015). Towards a Definition of the Internet of Things. Obtido em 08 de Setembro de 2021, de IEEE Internet of Things: <https://iot.ieee.org/definition.html>

INE. (2011). Censo Agro-Pecuário 2009-2010. Maputo. Obtido em 6 de Outubro de 2021, de <http://www.ine.go5.mz/operacoes-estatisticas/censos/censo-agro-pecuario/cap-2009-2010/censo-agro-2013-pecuario-2009-2013-2010-resultados-definitivos-2.pdf/>

IoT Analytics. (08 de Agosto de 2018). State of the IoT 2018: Number of IoT devices now at 7B – Market accelerating. (K. L. Lueth, Ed.) Obtido em 21 de Janeiro de 2022, de [iot-analytics.com: https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-update-q1-q2-2018-number-of-iot-devices-now-7b/](https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-update-q1-q2-2018-number-of-iot-devices-now-7b/)

Jacto,(2018). Crédito agrícola. Obtido em 08 de Fevereiro de 2022 de [jacto: https://blog.jacto.com.br](https://blog.jacto.com.br)

Joan, N. (24 de Outubro de 2018). IoT Architecture Diagram. Obtido em 08 de Fevereiro de 2022, de <https://www.comnewssp.com/11-shocking-facts-about-iot-architecture-diagram-iot-architecture-diagram/13311/>

Lea, R. (01 de Janeiro de 2016). Node-RED: Lecture 1 – A brief introduction to Node-RED. Obtido em 05 de Março de 2022, de <http://noderedguide.com: http://noderedguide.com/nr-lecture-1/>

- MADER. (2011). Plano Estratégico de Desenvolvimento do Sector Agrário 2011-2020. Obtido em 22 de Março de 2021, de <https://www.open.ac.uk/technology/mozambique/sites/www.open.ac.uk.technology.mozambique/files/pics/d130876.pdf>
- INIR. (2021). Estratégia de Irrigação. Obtido em 17 de Maio de 2022, de <http://www.inir.go5.mz>
- Culte, (2019). Saiba como IOT e Irrigação inteligente podem auxiliar a agricultura familiar. Obtido em 05 de Março de 2022 de Medium: <https://medium.com/culte/saiba-como-iot-e-irriga%C3%A7%C3%A3o-inteligente-podem-auxiliar-a-agricultura-familiar-a851303dd79e>
- Mitchell, B. (29 de Abril de 2019). The Range of a Typical Wi-Fi Network. Obtido em 12 de Junho de 2021, de lifewire: <https://www.lifewire.com/range-of-typical-wifi-network-816564>
- Node RED. (2019). node-red-contrib-alexa-local . Obtido em 08 de Fevereiro de 2022, de <https://flows.nodered.org/node/node-red-contrib-alexa-local>
- Patil, 5., Al-Gaadi, K., Biradar, D., & Rangaswamy, M. (2012). Internet of Things (IoT) and Cloud Computing For Agriculture: An Overview. *Agro-Informatics and Precision Agriculture*, pp. 293-296. Obtido em 02 de Março de 2021, de <http://insait.in/AIPA2012/articles/054.pdf>
- Stack, T. (05 de Fevereiro de 2018). Internet of Things (IoT) Data Continues to Explode Exponentially. Who Is Using That Data and How? Obtido em 04 de Agosto de 2021, de Cisco.com: <https://blogs.cisco.com/datacenter/internet-of-things-iot-data-continues-to-explode-exponentially-who-is-using-that-data-and-how>
- Waher, P. (29 de Dezembro de 2015). MQTT (MQ Telemetry Transport). Obtido em 05 de Agosto de 2021, de IoT Agenda: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/MQTT-MQ-Telemetry-Transport>

ANEXO 1: GUIÃO DA ENTREVISTA

Entrevista ao presidente da Associação Regantes da Massaca - Distrito de Boane

1. Como é feita a construção dos Sistemas de Irrigação Utilizado pelos agricultores da associação?

R: O sistema de irrigação por gota-a-gota implementado pelos agricultores da associação é composto por um reservatório de 10-15 Litros ou um tambor de combustível de 200-300 litros é colocado a uma altura elevada(1-2m) acima do campo e conectado a pequenos tubos e gotejadores(figura1) para irrigar uma horta com uma área de 50 m² para o caso de reservatório em balde ou 250-500 m² no caso da irrigação por gota-a-gota com um reservatório maior.

2. Qual é o sistema mais utilizado pelos agricultores da associação?

R: Irrigação por gota-a-gota e Regador

2. Qual são os principais constrangimentos na implementação do sistema de irrigação que mais é usado pelos agricultores?

R: Os principais constrangimentos que temos estão intrinsecamente a Mão-de-obra necessária para encher o reservatório, Entupimento dos gotejadores, Limpeza dos filtros, alto custo de investimento, acesso ao crédito agrícola, falta de familiarização com o sistema de irrigação por gota-a-gota (o solo permanece seco);

3. A associação tem algum apoio do governo na redução dos constrangimentos?

R: Sim, Governo Moçambicano vem estabelecendo políticas para a transformação através do projecto Sustenta. O Projecto ou programa Sustenta é um processo de busca de soluções para incrementar os níveis de produção e produtividade agrícola.

4. O custo do sistema que é mais utilizado na associação esta em unidades satisfatórias para aquilo que é o panorama económico da associação/agricultores?

R: para aquilo que é o panorama socioeconômica e da associação gastar uma media de 13mil dólares americanos nesses sistemas, torna-se um desafio para nos desenvolver uma agricultura 100% sustentável.

5. Que melhoria gostariam de ver nos sistemas de irrigação vigentes?

R: fazer o uso das tecnologias para auxiliarem na tomada de decisão se é necessário a irrigação ou não, isso pode garantir maior eficiência do sistema, aliando a optimização dos recursos hídricos que conseqüentemente irá aumentar a produtividade.

ANEXO 2: PLATAFORMA FÍSICA



Figura 1: Protótipo do nó do sistema; Fonte: O autor (2021)

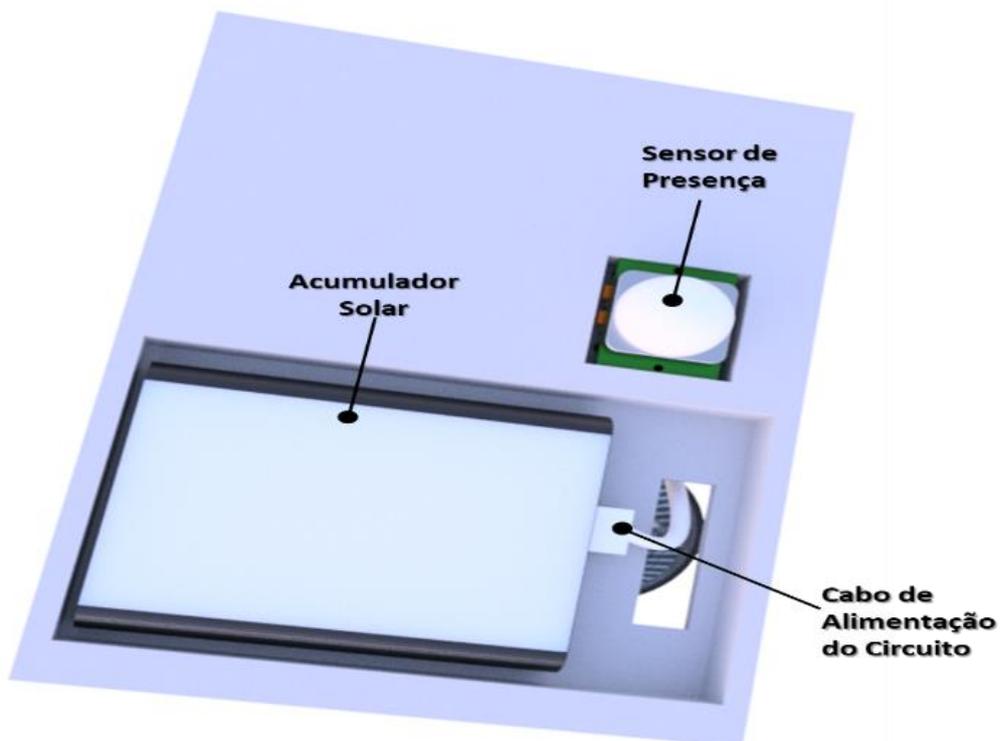


Figura 2: Parte superior da plataforma; Fonte: O autor (2021)

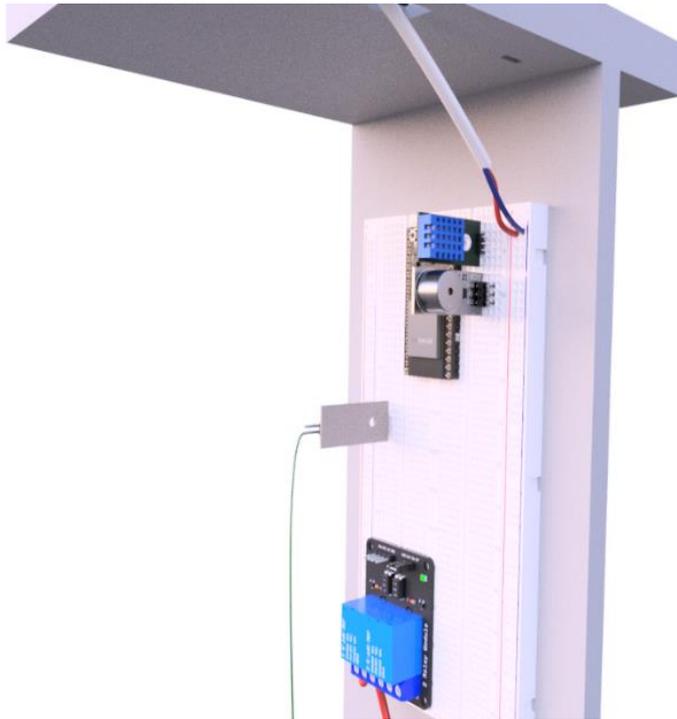


Figura 3: Conexão da alimentação à placa da montagem; Fonte: O autor (2021)

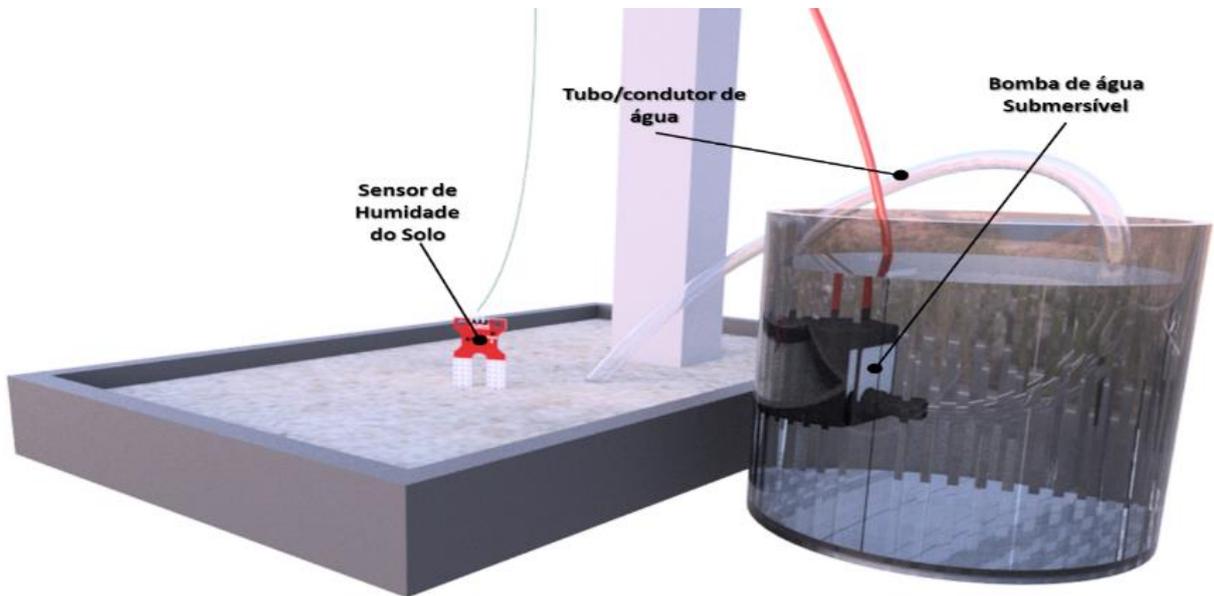


Figura 4: Parte inferior da plataforma; Fonte: O autor (2021)

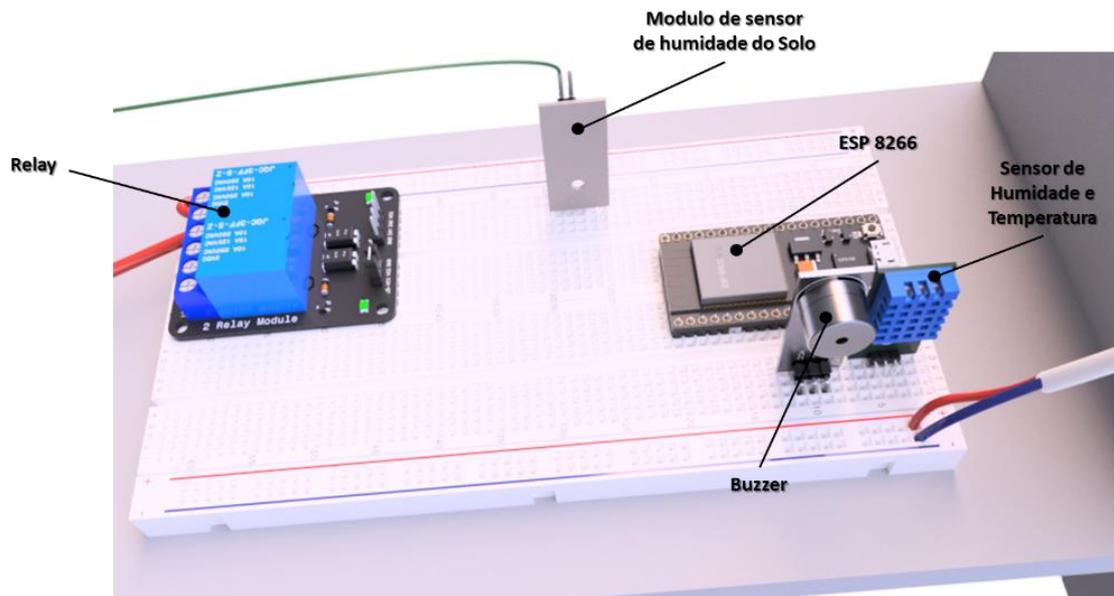


Figura 5: Parte intermediária da plataforma; Fonte: O autor (2021)

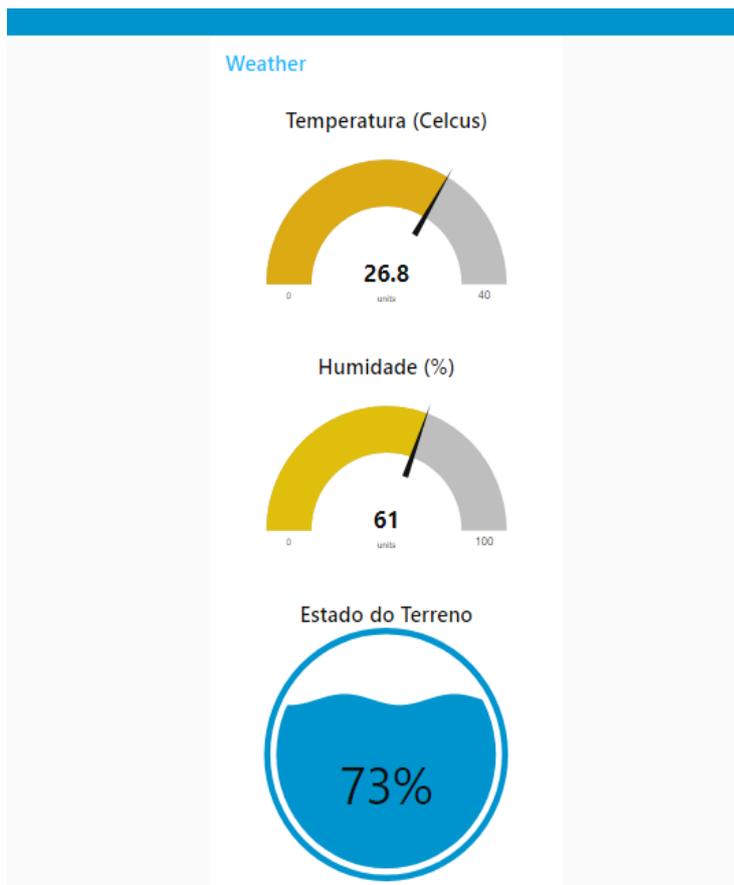


Figura 6: Interface do Usuário do Sistema; Fonte: O autor (2021)

ANEXO 3: CÓDIGO DO PROGRAMA

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
#include "DHT.h"
#define relay 5
#define Balarm 14
#define PIRsensor 4
#define SensorPin A0
#define DHTTYPE DHT11 // Modelo DHT 22, AM2302, AM2321
#define DHTPIN 12 // Pino D12
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

const char* ssid = "Vodafone R219t";
const char* password = "435Io5iO";
const char* mqtt_server = "192.168.0.176";
const int mqtt_port = 1883;

WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);
void setup_wifi() {
    delay(10);
    // Conectando a uma rede WiFi
    Serial.println();
    Serial.print("Connecting to ");
    Serial.println(ssid);
    WiFi.begin(ssid, password);
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(500);
        Serial.print("."); }
    randomSeed(micros());
    Serial.println("");
    Serial.println("WiFi connected");
    Serial.println("IP address: ");
    Serial.println(WiFi.localIP()); }
```

```

// Confirmação de envio de dados, por meio dos atuadores;
void callback(char* topic, byte* payload, unsigned int length) {
    Serial.print("Message arrived [");
    Serial.print(topic);
    Serial.print("]: ");
    char message[length];
    for (int i=0; i< length; i++){
        message[i] = (char)payload[i]; }
    Serial.println(message); }

//Sempre que não tiver conexão, voltar a conexão a Internet
void reconnect() {
    while (!client.connected()) {
        Serial.print("Attempting MQTT connection...");
        // Criar um ID de cliente aleatório
        String clientId = "ESP8266Client-";
        clientId += String(random(0xffff), HEX);
        // Tente conectar
        if (client.connect(clientId.c_str())) {
            Serial.println("Connected!");
        } else {
            Serial.print("failed, rc=");
            Serial.print(client.state());
            Serial.println(" try again in 5 seconds");
            //Aguarde 5 segundos antes de tentar novamente
            delay(5000); } } }

//Configuração inicial do Microcontrolador ESP8266
void setup() {
    Serial.begin(115200);
    dht.begin();
    setup_wifi();
    client.setServer(mqtt_server, mqtt_port);
    client.setCallback(callback);
    pinMode (relay, OUTPUT);

```

```

    pinMode(PIRsensor, INPUT); // PIR sensor as input
    pinMode(Balarm, OUTPUT); // Buzzer alarm as output
    digitalWrite (Balarm, LOW); // Initially buzzer off }

//Função Principal,
void loop() {
    if (!client.connected()) {
        reconnect();    }
    client.loop();
    delay(500);
    float h = dht.readHumidity();
    // Ler a temperatura como Celsius (padrão)
    float t = dht.readTemperature();
    client.publish("Temp",String(t).c_str());
    client.publish("Hum",String(h).c_str());
    float sensorValue = analogRead(SensorPin);
    sensorValue = map(sensorValue, 1023, 300, 0, 100);
    Serial.println(sensorValue);
    delay(500);
    client.publish("Solo",String(sensorValue).c_str());
    if (sensorValue >= 80) { digitalWrite (relay, LOW); }
    if (sensorValue <= 5) { digitalWrite (relay, HIGH);}
    int state = digitalRead(PIRsensor); // Verifique continuamente o estado de PIR sensor
    delay(500); // Verifique o estado do PIR a cada meio segundo
    if(state == HIGH){ digitalWrite (Balarm, HIGH); //Se a intrusão for detectada, toque o
buzzer
    delay(6000); // toque o Buzzer por 15 segundos
    Serial.println("Motion detected!");
    } else {
        digitalWrite (Balarm, LOW);
        Serial.println("Motion absent!"); }
}

```