

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DAINF - DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE INFORMÁTICA
DAELN - DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

LUCAS BUZETTO TSUCHIYA

**DISPOSITIVO DE CONTROLE, MONITORAMENTO E
ACIONAMENTO APLICADO A SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2020

LUCAS BUZETTO TSUCHIYA

**DISPOSITIVO DE CONTROLE, MONITORAMENTO E
ACIONAMENTO APLICADO A SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Bacharelado em Engenharia de Computação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Computação.

Orientador: Dr. Hermes Irineu Del Monego
DAELN - Departamento Acadêmico de Eletrônica

Coorientador: Dr. Bruno Sens Chang
DAELN - Departamento Acadêmico de Eletrônica

CURITIBA
2020

LUCAS BUZETTO TSUCHIYA

**DISPOSITIVO DE CONTROLE, MONITORAMENTO E ACIONAMENTO
APLICADO A SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Computação da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 25 de novembro de 2020

Hermes Irineu Del Monego

Doutorado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Kleber Kendy Horikawa Nabas

Doutorado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Maurici Luzia Charnevski Del Monego

Doutorado em Engenharia do Ambiente
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

CURITIBA

2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me proporcionado saúde, inteligência, sabedoria e perseverança para realizar este trabalho. Por me suprir em todas as minhas necessidades físicas, emocional, mental e espiritual.

Agradeço aos meus pais (Ricardo Norio e Sidneia) por todo apoio, cuidado, ensinamento e incentivo durante minha vida e na trajetória acadêmica. Ao meu pai pelas explicações e orientações que obtive para desenvolver a aplicação deste projeto. Aos meus irmãos e irmãs, Fabiana, Paulo Vitor, João Guilherme e Ester, pela amizade, parceria e apoio por parte deles, ao Thiago Simões pela ajuda e sugestões que proporcionou ao trabalho.

Agradeço aos meus orientadores Hermes e Bruno pela oportunidade de trabalhar juntos neste projeto e pelo apoio, confiança, paciência e aprendizado que tive durante o desenvolvimento do trabalho. A todos os professores e servidores da UTFPR, em especial aos professores André Kashiwabara, Sandra, Danilo Spatti, Gustavo Borba e Hugo Vieira pelos aconselhamento e apoio durante as disciplinas cursadas que foram importantes para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

Tsuchiya, Lucas B. Dispositivo de Controle, Monitoramento e Acionamento aplicado a Sistemas de Irrigação. 2020. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia de Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2020.

Este trabalho apresenta o estudo e desenvolvimento de um dispositivo eletrônico capaz de realizar o controle, monitoramento e acionamento de sistemas de irrigação. A principal funcionalidade deste projeto consiste em estimar a quantidade de água necessária em um cultivo vegetativo utilizando os conceitos de manejo de irrigação e os cálculos de evapotranspiração. O dispositivo é composto com um conjunto de sensores para coletar dados relacionados as condições do ambiente, um sistema computacional embarcado capaz processar os dados e tomar decisões no sistema de irrigação por meio de um módulo de acionamento eletrônico. Os dados coletados pelo sistema são utilizados para realizar os cálculos de evapotranspiração e monitorar as condições do ambiente de cultivo. A viabilidade do projeto foi verificada por meio de uma prova de conceito em um ambiente doméstico onde foi coletado dados e estimado a demanda hídrica de um cultivo vegetativo durante o período de 31 dias.

Palavras-chave: Sistema Embarcado. Sensores. Evapotranspiração. Manejo de Irrigação.

ABSTRACT

Tsuchiya, Lucas B. Control, monitoring and activation device in irrigation systems. 2020. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia de Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2020.

This work presents the study and development of an electronic device capable of controlling, monitoring and activating irrigation systems. The main functionality of this project is to estimate the amount of water needed in a vegetative cultivation using the concepts of irrigation management and evapotranspiration calculations. The device consists of a set of sensors to collect data related to the conditions of the environment, an embedded computer system capable of processing data and making decisions in the irrigation system through an electronic drive module. The data collected by the system are used to perform the evapotranspiration calculations and to monitor the conditions of the cultivation environment. The feasibility of the project was verified by means of a proof of concept in a domestic environment where data was collected and the water demand of a vegetative crop was estimated during the 31-day period.

Keywords: Embedded System. Sensors. Evapotranspiration. Irrigation Management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Visão Geral do projeto	12
Figura 2 – Fases de desenvolvimento de uma cultura.	16
Figura 3 – Representação saída sensor	17
Figura 4 – Arquitetura Cliente-Servidor	19
Figura 5 – Visão geral da integração dos componentes do projeto	20
Figura 6 – Conversor Analógico/Digital MCP3008	22
Figura 7 – Sensor de umidade do solo	23
Figura 8 – Módulo comparador do sensor de umidade do solo	23
Figura 9 – Sensor de detecção de chuva	24
Figura 10 – Sensor de Luminosidade LDR	25
Figura 11 – Anemômetro digital	26
Figura 12 – Sensor de temperatura e umidade relativa do ar DHT22	27
Figura 13 – Sensor de temperatura DS18B20	28
Figura 14 – Sensor de Pressão Atmosférica BMP180	29
Figura 15 – Sensor de Fluxo de Água	30
Figura 16 – Sensor de pH	31
Figura 17 – Pluviômetro digital	32
Figura 18 – Módulo GPS	33
Figura 19 – Relê de acionamento, sendo a) módulo com 4 canais e b) estrutura interna do relê.	34
Figura 20 – Raspberry Pi Model 3B	35
Figura 21 – Mapeamento das GPIO's no Raspberry Pi 3B	36
Figura 22 – Fluxograma das etapas da metodologia adotada	38
Figura 23 – Arquitetura do projeto	40
Figura 24 – Diagrama esquemático da placa de aquisição de dados	41
Figura 25 – Circuito de alimentação	42
Figura 26 – Montagem do conversor AD	43
Figura 27 – Montagem do sensor umidade do solo	44
Figura 28 – Montagem do sensor Luminosidade	45
Figura 29 – Montagem do sensor velocidade do vento	46
Figura 30 – Montagem do sensor temperatura e umidade do ar	47
Figura 31 – Montagem do sensor de Temperatura a prova d'água	48
Figura 32 – Montagem do sensor de Pressão Atmosférica	49
Figura 33 – Montagem do sensor de Fluxo de água	50
Figura 34 – Montagem do sensor de pH	50
Figura 35 – Montagem do sensor de chuva	51

Figura 36 – Montagem do sensor de Nível	52
Figura 37 – Montagem do Módulo GPS	53
Figura 38 – Montagem do Módulo Relê	54
Figura 39 – Montagem da Placa de circuito impresso	55
Figura 40 – Fluxograma do sistema de acionamento do dispositivo	58
Figura 41 – Diagrama de caso de uso sistema web	59
Figura 42 – Montagem do dispositivo em bancada	60
Figura 43 – Protótipo finalizado	61
Figura 44 – Conexões externa dos sensores no dispositivo	61
Figura 45 – Prova de conceito da utilização do dispositivo	62
Figura 46 – Tela de login	63
Figura 47 – Tela de monitoramento do dispositivo	63
Figura 48 – Tela de monitoramento do dispositivo móveis	64
Figura 49 – Apresentação do dispositivo na oficina de aplicação	67
Figura 50 – Uso do dispositivo nas oficinas laboratoriais	68

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	10
1.1 Motivação	10
1.2 Objetivos	11
1.3 Estrutura do Trabalho	12
2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1 Princípios de Irrigação	13
2.2 Evapotranspiração	14
2.3 Sensores	17
2.4 Atuador	17
2.5 Sistemas Embarcados	18
2.6 Interface de Comunicação	18
3 – MATERIAIS	20
3.1 Placa de Aquisição de Dados	21
3.1.1 Conversor Analógico/Digital	21
3.1.2 Sensor de Umidade do Solo	22
3.1.3 Sensor de Chuva	23
3.1.4 Sensor de Luminosidade	24
3.1.5 Sensor de Velocidade do Vento	25
3.1.6 Sensor de Temperatura e Umidade relativa	26
3.1.7 Sensor de Temperatura a Prova D'água	27
3.1.8 Sensor de Pressão Atmosférica	28
3.1.9 Sensor de Fluxo de Água	29
3.1.10 Sensor de pH	30
3.1.11 Medidor de chuva	31
3.1.12 Módulo GPS	32
3.1.13 Módulo relê de acionamento	33
3.2 Placa de Desenvolvimento	34
3.2.1 Raspberry Pi	34
3.2.2 Sistema Operacional Embarcado	35
3.2.3 GPIO	35
3.3 Softwares	36
3.3.1 Servidor Web Apache	36
3.3.2 Banco de Dados	36
3.3.3 Python	37

3.3.4	PHP	37
3.3.5	HTML	37
3.3.6	CSS	37
4	– MÉTODOS	38
4.1	Desenvolvimento	39
4.1.1	Placa de aquisição de dados	40
4.1.2	Circuito de alimentação	41
4.1.3	Montagem do Conversor AD	42
4.1.4	Leitura do sensor de umidade de solo	43
4.1.5	Leitura do sensor de detecção de água	44
4.1.6	Leitura do sensor de luminosidade LDR	45
4.1.7	Leitura do sensor de Velocidade do vento	46
4.1.8	Leitura do sensor de Temperatura e Umidade relativa do ar	46
4.1.9	Leitura do sensor de Temperatura a prova d'água	47
4.1.10	Leitura do sensor de Pressão Atmosférica	48
4.1.11	Leitura do sensor de Fluxo de água	49
4.1.12	Leitura do sensor de pH	50
4.1.13	Leitura do sensor de chuva	51
4.1.14	Leitura de Nível	51
4.1.15	Leitura do Módulo GPS	52
4.1.16	Controle do Módulo Relê	53
4.1.17	Construção da placa de circuito impresso	54
4.1.18	Roteiro do cálculo da evapotranspiração	55
4.1.19	Algoritmo	58
4.1.20	Software	59
5	– ANÁLISE DE RESULTADOS	60
5.1	Protótipo - Hardware	60
5.2	Protótipo - Software	62
5.3	Dados coletados	64
5.4	Disseminação do Conhecimento	66
6	– CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
	Referências	70

1 INTRODUÇÃO

A tecnologia tem potencializado os resultados do agronegócio nos últimos anos. O uso de recursos computacionais, algoritmos e processamento de grande volume de dados tem proporcionado aos produtores melhores análises de informações para estimar, otimizar e planejar a sua produção. Essa modernização e inovação no campo proporciona eficiência na gestão e promove praticidade e facilidade em atividades diárias, como acionamento de equipamentos (PAZETO, 2017). Baseado nesta demanda, surgem oportunidades para melhorias de processos e desenvolvimento de soluções no segmento do agronegócio, sendo assim necessárias pesquisa e aplicação de tecnologias na agricultura e agropecuária.

Com a preocupação de melhorar o uso dos sistemas de irrigação na agricultura de produção de alimentos, este trabalho apresenta o estudo e desenvolvimento de um dispositivo eletrônico que tem como principal finalidade melhorar o gerenciamento de recursos hídricos, por meio do controle e estimação da quantidade necessária de água em cultivos vegetativo. Além disso, o dispositivo tem a função de monitorar as condições do ambiente para indicar o período mais adequado para acionar a irrigação, visando evitar o desperdício de recursos naturais e danos ao meio ambiente. Este trabalho também foi aplicado em oficinas de automação de hortas urbanas em um projeto de extensão com alunos do ensino médio.

1.1 Motivação

O crescimento da demanda mundial por alimentos tem sido cada vez maior, atualmente, a população mundial conta com mais de 7 bilhões de habitantes e há uma estimativa que no ano de 2050 a este número chegará a 9,5 bilhões (SAATH; FACHINELLO, 2018). Essas estimativas mostram que a demanda por produção de alimentos será cada vez maior e este é o desafio para a agricultura mundial - aumentar a produtividade de alimentos para atender a população (CASARIN, 2012). Uma das estratégias de produção de alimentos é por meio da agricultura. Neste cenário, os sistemas de irrigação têm potencializado e otimizado a produção de alimentos, considerando que grande parte da população mundial necessita de alimentos produzidos nas áreas irrigada para consumo (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009).

As técnicas de irrigação aplicadas na agricultura consistem em proporcionar água para o desenvolvimento apropriado de uma planta, visando extrair o máximo de seus recursos genéticos para produção (BRAGA; CALGARO, 2010). Essas técnicas têm grande importância na agricultura e têm sido um fator determinante para a intensificação da produção de alimentos, tornando o processo mais eficiente e gerando renda e empregos

no meio rural (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009). Portanto, o uso dos sistemas de irrigação é essencial para uma agricultura competitiva e que atenda as demandas do mercado.

Com a expansão de áreas irrigadas devido aos benefícios que a irrigação fornece, é necessária uma atenção especial em relação ao desperdício de recursos hídricos e aos danos da relação solo e planta. (PAZ; TEODORO; MENDONÇA, 2000). Estudos indicam que, em média, 50% da água é desperdiçada e não utilizada pelas plantas quando a irrigação é aplicada de forma inadequada (SOUSA et al., 2011). Com isso, torna-se fundamental um gerenciamento eficiente, visando evitar um alto consumo de água em qualquer lugar, principalmente em regiões que há limitações de recursos hídricos (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009). Em geral, as aplicações de irrigação são baseadas em convivência e práticas particulares, desconsiderando uma correta análise das condições e características do cultivo e do ambiente. (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006). Para realizar o gerenciamento de um sistema de irrigação é fundamental considerar e correlacionar as características da planta e as condições do ambiente. A utilização de recursos computacionais pode ser desta forma necessária para um bom gerenciamento deste sistema.

Com essa demanda de produção de alimentos e com os avanços em vários campos da ciência, profissionais e pesquisadores tentam vincular as inovações da tecnologia com as práticas de agricultura. Quando se fala em tecnologia na irrigação, a ideia é automatizar e controlar todo o sistema, visando melhorar a distribuição dos recursos hídricos e, projetar sistemas de irrigação com uma maior eficiência. (NAGARAJAN; MINU, 2012). Com a evolução destas tecnologias é possível desenvolver soluções capazes de analisar inúmeros fatores que influenciam o uso de recursos hídricos na irrigação, visando um gerenciamento correto e evitando desperdícios e impactos no meio ambiente.

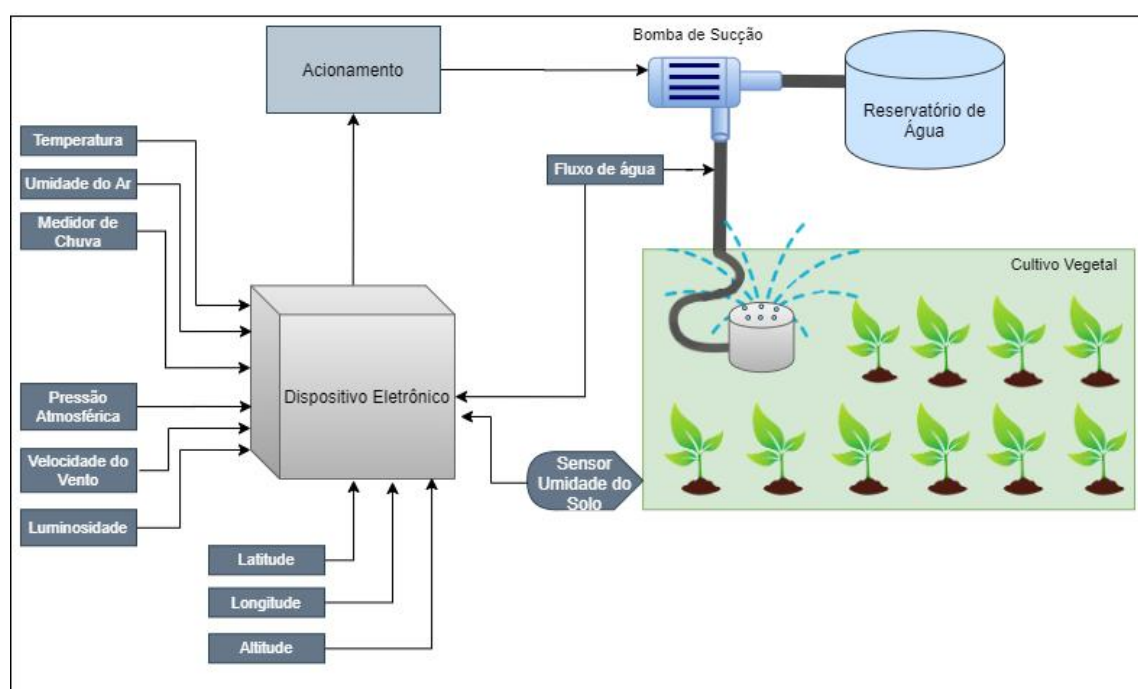
1.2 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de um dispositivo eletrônico equipado com sensores, capaz de estimar a quantidade de água necessária, para acionar e controlar o sistema de irrigação. Para isso serão utilizados os cálculos de evapotranspiração de culturas vegetativas baseados em dados que são coletados nos sensores e informações do tipo de cultura. Os objetivos principais deste trabalho são:

- Projeto e desenvolvimento do hardware para integrar sensores eletrônicos;
- Desenvolvimento do software de leitura e calibração dos sensores para aquisição de dados;
- Desenvolvimento de algoritmo de cálculo de consumo de água baseado nos conceitos de evapotranspiração;
- Desenvolvimento de página web para acesso e visualização das informações dos sensores.

A Figura 1 exemplifica a aplicação do dispositivo eletrônico para controle e monitoramento de um sistema de irrigação em cultivo vegetativo. O Dispositivo Eletrônico é responsável pela leitura de diferentes sensores (blocos com as setas direcionadas para o Dispositivo Eletrônico) e pelo processamento dos dados coletados. Esses dados são utilizados para estimar o momento que deve ser realizada a irrigação e a determinação do fluxo de água que deve ser utilizado. O acionamento é o módulo responsável pela interligação entre o dispositivo eletrônico e o sistema hidráulico (bomba de sucção e mangueiras).

Figura 1 – Visão Geral do projeto.



Fonte: Autoria própria

1.3 Estrutura do Trabalho

Este trabalho é organizado em cinco partes, separadas da seguinte forma:

- Fundamentação teórica: apresentar o estudo dos principais conceitos envolvidos no trabalho;
- Materiais: descrição dos principais sensores e módulos utilizados na montagem do projeto;
- Métodos: descrição da metodologia e dos principais procedimentos técnicos para o desenvolvimento do projeto;
- Análise de resultados: apresentação do desenvolvimento final do projeto, validação dos objetivos proposto e dos resultados obtidos;
- Conclusão: considerações finais e trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão descritos de forma geral os principais conceitos para o desenvolvimento e implementação do projeto, sendo eles os conceitos de irrigação, evapotranspiração, sensores, sistemas embarcados e softwares.

2.1 Princípios de Irrigação

A irrigação na agricultura é uma técnica que tem como principal função o fornecimento e distribuição de água para os cultivos, visando principalmente a luta contra a seca. O conceito de irrigação na atualidade do agronegócio torna-se mais amplo devido a sua eficiência de produtividade e rentabilidade nas propriedades agrícolas, atentando para os cuidados com a sustentabilidade e meio ambiente (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009). Um projeto de irrigação que visa extrair a máxima produção requer um planejamento e operação consistente, sendo necessário para isso estudos e conhecimentos das inter-relações entre solo, água, planta, atmosfera (clima) e manejo de irrigação (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006). Nesta seção serão explicados os conceitos e variáveis que envolvem os cálculos para estimar a quantidade de água necessária para um sistema de irrigação.

O solo possui uma função fundamental na agricultura de produção de alimentos, sendo considerado um grande reservatório de água para a planta, onde a variação da umidade determina a quantidade de água armazenada. O solo é formado por partículas sólidas, líquidas e gasosas, onde o volume de sólidos é praticamente fixo e os gases e líquidos fragmentam os espaços permeáveis do solo (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006). No planejamento da irrigação, os cálculos da umidade do solo tornam-se necessários para determinação da quantidade de água fornecida para a cultura. A definição de umidade do solo consiste na razão entre a massa de água e a massa de solo seco. Para determinar a umidade do solo, existem diversas metodologias e equipamentos, tendo como principal diferença entre eles a forma de medição, preço, tempo de resposta e operacionalidade no campo. (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009). Utilizou-se neste trabalho para estimar a variação de água no solo um sensor eletrônico de umidade do solo.

As informações meteorológicas têm função de grande importância na agricultura, possibilitando um planejamento de atividades para o cultivo e auxílio no uso dos sistemas de irrigação. Este planejamento envolve os cálculos de evapotranspiração, quantidade de precipitação pluviométrica (chuva), assim como o melhor horário para irrigar. Os principais dados climáticos utilizados são normalmente temperatura do ambiente, umidade relativa, velocidade do vento, precipitação pluviométrica e radiação solar. Existem diversos tipos de sensores que podem ser utilizados para esta finalidade (MANTOVANI; BERNARDO;

PALARETTI, 2009). Para medir os principais dados meteorológicos deste trabalho foram utilizados os sensores de temperatura do ambiente, umidade relativa, velocidade do vento, pluviômetro e pressão atmosférica.

Definir a quantidade de água necessária na irrigação é um dos principais fatores para um correto dimensionamento, planejamento e gestão de um sistema de irrigação. Por isso é importante a avaliação da quantidade e qualidade dos recursos hídricos disponíveis. O excesso de água na irrigação pode causar danos e perda de nutrientes no solo, além de aumentar o custo da irrigação. Por outro lado, quando a quantidade de água é subestimada podem ocorrer problemas no desenvolvimento do cultivo, causando baixo rendimento nas produções (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006). Uma das estratégias para calcular a quantidade de água necessária é por meio dos conceitos de evapotranspiração, que basicamente determina o quanto de água uma planta necessita, considerando seus fatores genéticos e as possíveis perdas devido as condições do ambiente.

2.2 Evapotranspiração

A evapotranspiração é o conceito fundamental para determinar o consumo de água que uma planta necessita e, conseqüentemente, o quanto ela precisa ser irrigada. A evapotranspiração consiste na soma dos fenômenos de evaporação e transpiração em uma superfície vegetal (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009). O nível de evaporação da água que ocorre no solo é aproximadamente o mesmo que ocorre em um recipiente livre com as mesmas condições atmosféricas. O processo de transpiração consiste no movimento da água, que ocorre entre solo e a planta até chegar na atmosfera, por meio de estômatos, na forma de vapor (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006). A condição climática é o principal fator que determina a quantidade de água evapotranspirada.

Esses conceitos possibilitam definir o cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o Evapotranspiração de referência) e da cultura (ET_{pc} Evapotranspiração potencial da cultura). A ET_o indica qual é a demanda hídrica da região baseado nas condições climáticas do local. Já a ET_{pc} está relacionada a cultura que está sendo irrigada. Cada cultura possui o seu coeficiente de cultura (K_c Coeficiente de cultura). O valor do K_c está relacionado as fases de desenvolvimentos da cultura. O valor de K_c pode ser obtido em tabelas ou gráficos que são construídos com base em resultados de pesquisas. (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009). Para determinar o cálculo da ET_o , será aplicada a equação de Penman-Monteith (FAO).

$$ET_o = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (Rn - G) + \gamma \frac{900}{T_2 + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (1)$$

O quadro 1 apresenta a descrição e unidade de medida das variáveis da equação de Penman-Monteith.

Com a definição de cálculo da evapotranspiração de referência, é possível determinar a evapotranspiração potencial da cultura. Aplicando o método padrão de FAO temos

Quadro 1 – Quadro com a descrição das variáveis da equação de Penman-Monteith

Variável	Significado	Unidade de medida
ET_o	Evapotranspiração de referência	milímetros/dia
R_n	Radiação líquida na superfície da cultura.	$(MJm^2)/dia$
G	densidade do fluxo de calor do solo	$(MJ/m^2)/dia$
T_2	temperatura do ar a 2 m de altura	$^{\circ}C$
u_2	velocidade do vento a 2 metros de altura	m/s
e_s	pressão de vapor de saturação	kPa
e_a	pressão atual de vapor	kPa
$e_s - e_a$	Deficit de pressão de vapor de saturação	kPa
Δ	Curva de pressão de vapor de satura x temperatura	kPa/ $^{\circ}C$
γ	Constante psicrométrica	kPa/ $^{\circ}C$

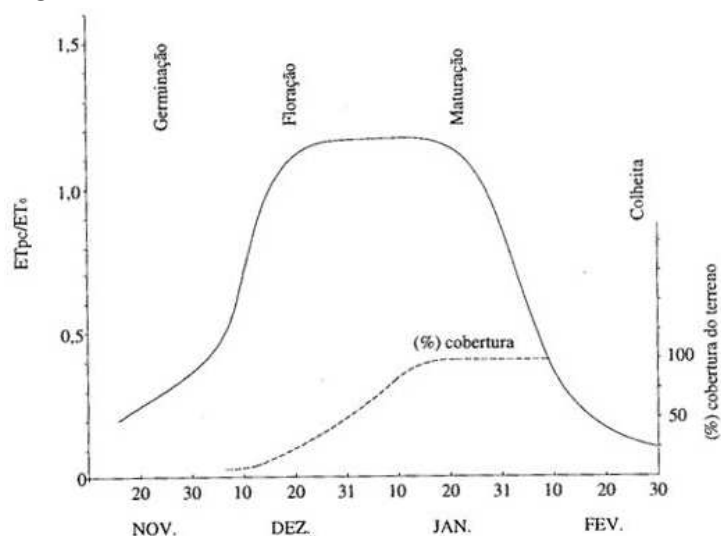
Fonte: Mantovani 2006

a relação entre ET_c e ET_{pc} , e multiplicando o valor de ET_c pelo valor de K_c (coeficiente de cultura) temos a definição de cálculo para ET_{pc} , equação (2).

$$ET_{pc} = ET_o \cdot K_c \quad (2)$$

A definição do coeficiente de cultura (K_c) consiste em relacionar as fases de desenvolvimento com o ciclo vegetativo considerando as condições climáticas (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006). O método de FAO classifica o ciclo das culturas em 4 fases: na fase 1 ocorre o processo de germinação até 15% do seu crescimento vegetativo; já na fase 2 a cultura atinge de 70% a 80% do seu desenvolvimento. Na fase 3 ocorre o início do processo de maturação ou estágio de produção e, finalmente, na fase 4 acontece o término da maturação ou estágio da colheita (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009). A figura 2 apresenta a correlação entre a evapotranspiração e o ciclo da cultura em determinados períodos e a porcentagem de cobertura da planta na superfície do terreno. Pode-se identificar que na fase da germinação e colheita, a evapotranspiração é menor em relação às fases de floração e maturação.

Figura 2 – Fases de desenvolvimento de uma cultura.



Fonte: (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006)

A tabela 1 apresenta a descrição dos estágios de desenvolvimento e os respectivos valores de referência de K_c .

Tabela 1 – Coeficiente de cultura K_c em funo do seu estágio de desenvolvimento

Estágio de desenvolvimento	Caracterização do estágio	K_c
Inicial (1)	Da germinação até a cultura cobrir 10% da superfície do terreno, ou 10 a 15% do seu desenvolvimento vegetativo	0,2 a 1,0
Secundário ou de desenvolvimento vegetativo (2)	Do final do primeiro estágio até a cultura cobrir de 70% a 80% da superfície do terreno ou atingir de 70% a 80% do seu desenvolvimento vegetativo.	Varia linearmente entre os valores do primeiro e terceiro estágio.
Intermediário ou de produção (3)	Do final do segundo estágio até o início da maturação. Também denominado estágio de produção.	0,9 a 1,25
Final ou de maturação (4)	Do início da maturação até a colheita ou final da maturação.	Varia linearmente entre os valores do primeiro e terceiro estágio e 0,3 a 1,0

Fonte: (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006)

Aplicando a equação (2) e utilizando os valores de K_c obtido na literatura científica, pode-se estimar a demanda hídrica em qualquer região de acordo com a cultura que está sendo irrigada (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009). A unidade de medida das equação de evapotranspiração de referência e da cultura é dada por mm/dia. Esta unidade descreve o consumo de água na irrigação, ou seja, 1,0 mm é igual a 10.000 L/ha

(CONCEIÇÃO, 2005). Esta medida é a mesma que descreve a unidade de pluviosidade, ou seja, a unidade de medida de precipitação de chuva. Para exemplificar, em um cultivo com necessidades hídricas de de 300mm durante seu ciclo inicial, esta medida, corresponderia a um volume de $3000 \text{ m}^3/\text{ha}$ de água.

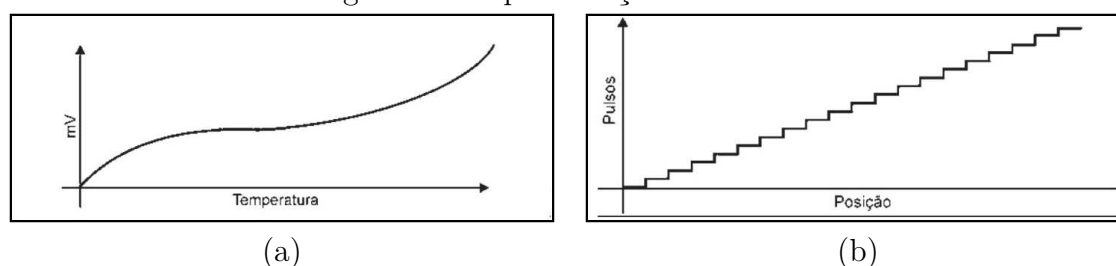
2.3 Sensores

As condições e características do ambiente são descritas por meio de grandezas físicas; então, para que seja possível medir estas grandezas, faz-se necessário o uso de dispositivos que realizam a leitura destas grandezas e transformam em dados que um sistema computacional ou um controlador possa compreender. Para esta finalidade, pode-se utilizar sensores eletrônicos.

Sensores são dispositivos sensíveis à variação de energia física no ambiente, que pode ser térmica, cinética ou luminosa, possibilitando relacionar grandezas mensuráveis, como temperatura, aceleração e luminosidade com grandezas elétricas como tensão, corrente e resistência. A grandeza física detectada pelo sensor é transformada em um sinal elétrico de tensão ou corrente por meio de um transdutor, permitindo a interpretação por um controlador (THOMAZINI; ALBURQUERQUE, 2011).

Os sensores eletrônicos podem assumir uma saída analógica ou digital. O sensor com saída analógica assume valores variados dentro da sua faixa de operação ao longo do tempo. A figura 3 (a) ilustra o comportamento do sinal analógico em função da grandeza física temperatura. Já os sensores com saída digital assumem valores discretos ao longo do tempo. A figura 3 (b) ilustra o comportamento do sinal digital em função da variação da posição de um objeto. (THOMAZINI; ALBURQUERQUE, 2011).

Figura 3 – Representação saída sensor



Fonte: (THOMAZINI; ALBURQUERQUE, 2011)

2.4 Atuador

O uso de um dispositivo eletrônico que possa agir sobre um sistema ou ambiente faz-se necessário quando um projeto tem por objetivo o controle e acionamento. Para esta finalidade podem-se utilizar os atuadores. Atuadores são dispositivos que monitoram e agem sobre sistema controlados por meio de um controlador que emite sinais de ação

(liga ou desliga) (WENDLING, 2010). Os atuadores geralmente trabalham com potência elétrica elevada para acionar diversos tipos de equipamentos. Os relês de acionamento eletromecânicos são dispositivos bastante utilizados como atuadores.

2.5 Sistemas Embarcados

Para que a aquisição de dados por meio dos sensores possa ser realizada e o atuador possa ser controlado, faz-se necessário o uso de um dispositivo com capacidade de leitura e processamento de dados, possibilitando a análise de informações para monitoramento e tomada de decisões baseada em regras programadas. Para esta finalidade pode-se utilizar os sistemas embarcados.

Um sistema embarcado é um conjunto integrados de componentes eletrônicos com capacidade de processamento de informações e interação com o mundo externo por meio das suas interfaces de entrada e saída de sinais. Este dispositivo é composto por duas partes: o *hardware* e o *software* embarcado. O *hardware* é a parte física, formado por circuitos eletrônicos que têm como principal componente a unidade central de processamento. O *software* embarcado, denominado *firmware*, é a parte lógica, formada por um conjunto de instruções e regras que controlam e descrevem as funcionalidades do sistema embarcado (SCHNEIDER; ANDRADE, 2010). Esse modelo de dispositivo computacional oferece diversos recursos digitais no desenvolvimento de automação, controle e monitoramento de sistemas e ambientes.

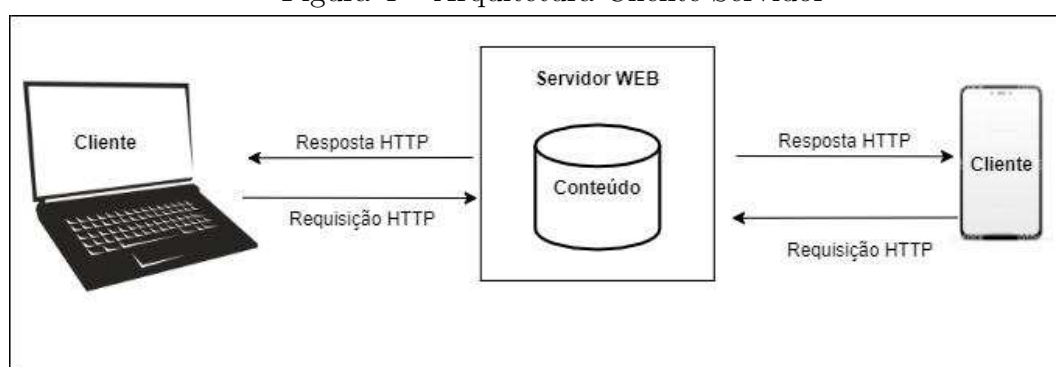
O uso de sistemas embarcados facilita o desenvolvimento de aplicações e permite integrar sensores e controlar atuadores no mesmo dispositivo, centralizando todo o processamento e análise de informações. Para a realização deste projeto foi utilizado a plataforma e *hardware* Raspberry Pi, pois possui os recursos necessário para o desenvolvimento das funcionalidades do projeto e o seu custo foi considerado viável para o orçamento do projeto (RASPERRY, 2020).

2.6 Interface de Comunicação

O uso de uma interface de comunicação permite que os dados que estão sendo processados e analisados por um sistema computacional possam ser visualizados de forma interativa pelo utilizador (pessoa ou organização). Para esta finalidade, pode-se utilizar recursos de software como os servidores web, que fornecem serviços e meios de comunicação e interação do usuário com o sistema, por meio de navegadores web. Os servidores web utilizam o protocolo de comunicação HTTP Protocolo de Transferência de Hipertexto (do inglês *hypertext transfer protocol*) (*hypertext transfer protocol*) para estabelecer a base da comunicação e transferência do conteúdo na web. Este conteúdo normalmente são as páginas HTMLLinguagem de Marcação de HiperTexto (do inglês HyperText Markup Language), imagens e vídeos (ZAMBENEDETTI; CARISSIMI; ROCHOL, 2006). Um

servidor web se baseia na arquitetura cliente servidor. Nesta arquitetura, o servidor web atende as requisições do cliente, estabelecendo assim uma conexão entre si e transferindo os recursos e conteúdos do servidor para o cliente, que normalmente utiliza um navegador web para realizar estas solicitações (ZAMBENEDETTI; CARISSIMI; ROCHOL, 2006). Com modelo de arquitetura e protocolo de comunicação, torna-se possível hospedar um conteúdo de páginas web em um servidor para que outros usuários possam ter acesso e visualização. A figura 4 apresenta o funcionamento da arquitetura cliente-servidor, onde o cliente faz uma requisição HTTP para o servidor e este responde ao cliente sua solicitação conforme sua disponibilidade.

Figura 4 – Arquitetura Cliente-Servidor



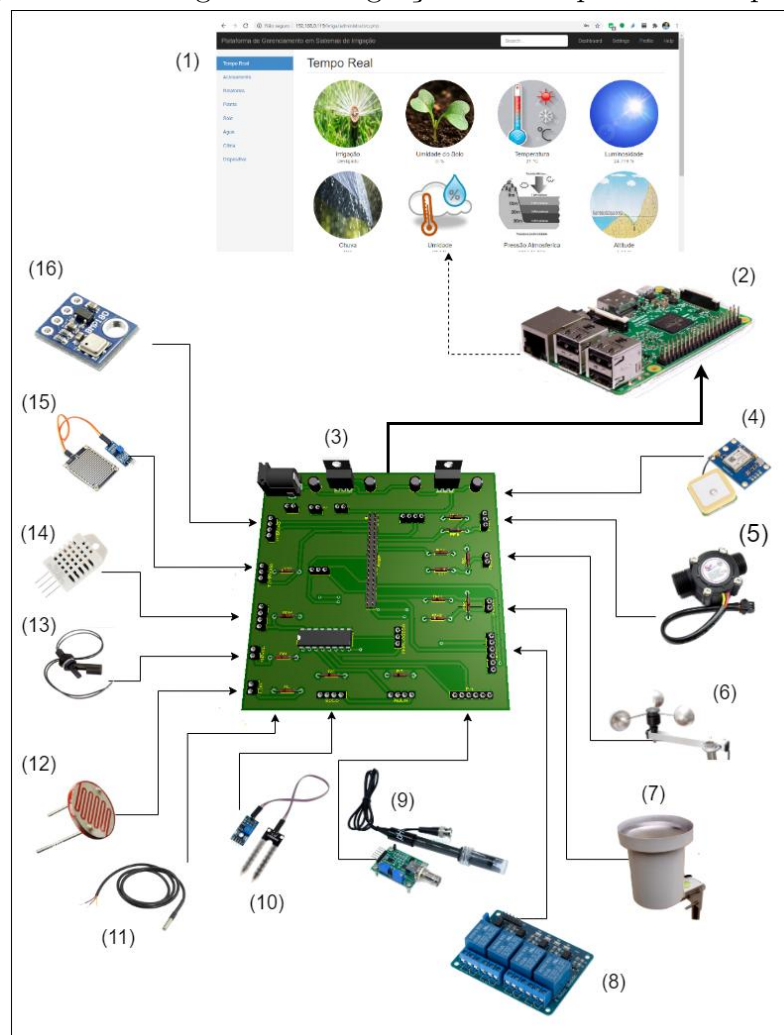
Fonte: Autoria Própria

Baseado nestes conceitos, é possível disponibilizar as informações da leitura dos sensores, proporcionando para o usuário a visualização e monitoramento das condições do sistema e do ambiente utilizando um navegador web de seu smartphone ou computador.

3 MATERIAIS

Este capítulo apresenta e descreve as características e funcionalidades básicas dos principais materiais utilizados para a montagem da placa de aquisição de dados, implementação do sistema embarcado e os componentes de softwares. A figura 5 apresenta uma visão geral da integração dos principais componentes eletrônicos e da visualização digital de dados.

Figura 5 – Visão geral da integração dos componentes do projeto



Fonte: Autoria Própria

Todos os sensores e atuadores (4 - 16) são conectados ao hardware desenvolvido (3). Para controle desse hardware é utilizado o sistema embarcado (2). Com este sistema, é possível realizar a leitura dos sensores e apresentar de forma online as informações em página web.

A tabela 2 apresenta a relação dos materiais descritos na figura 5 e sua principal

função. Estes materiais foram utilizados para atender as funcionalidades de controle, monitoramento e acionamento em sistemas de irrigação proposto neste trabalho. A interface web, item (1) da figura 5, foi desenvolvida utilizando a linguagem de programação PHP integrado com banco de dados, HTML e CSS.

Tabela 2 – Materiais utilizados no desenvolvimento do projeto com suas respectivas funções

Componente	Principal função
Interface web (1)	Apresentar a leitura dos sensores
Raspberry Pi (2)	Processamento de informação
Placa de aquisição de dados (3)	Interligar módulos e sensores
Módulo GPS (4)	Monitorar posicionamento global
Sensor de fluxo (5)	Controlar fluxo de água
Anemômetro digital (6)	Medir a velocidade do vento
Pluviômetro digital (7)	Medir quantidade pluviométrica (Chuva)
Relê de acionamento (8)	Acionar equipamentos elétricos
Módulo pH (9)	Monitorar pH da água
Sensor de umidade do solo (10)	Monitorar umidade do solo
Sensor de temperatura a prova d'água (11)	Monitorar temperatura da água
Sensor LDR (12)	Monitorar luminosidade do ambiente
Sensor de nível (13)	Monitorar nível da água
Sensor DHT22 (14)	Monitorar temperatura e umidade relativa do ar
Sensor de chuva (15)	Monitorar presença de chuva
Sensor de pressão (16)	Monitorar pressão atmosférica

Fonte: Autoria própria

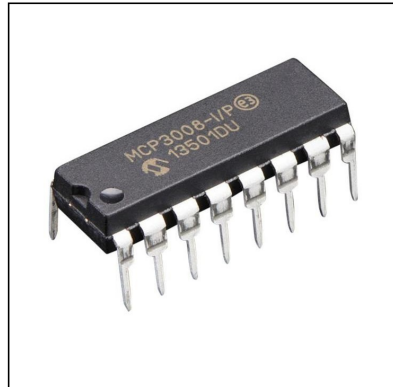
3.1 Placa de Aquisição de Dados

Para realizar a aquisição de dados das condições do ambiente desenvolveu-se uma placa de aquisição de dados. Esta placa é responsável pela integração dos sensores de leitura de dados e módulos de controle e acionamento no projeto. Nesta seção serão descritos os principais sensores e módulos eletrônicos presentes nesta placa.

3.1.1 Conversor Analógico/Digital

O conversor analógico/digital (AD) é responsável por transformar um sinal analógico contínuo em um sinal amostrado discreto. Esta funcionalidade é utilizada para integrar sensores com saída analógica. Neste trabalho foi utilizado o Microchip MCP3008 (figura 6), sendo possível integrar nele até 8 sensores analógicos. Na tabela 3 são apresentadas as especificações do conversor AD MCP3008.

Figura 6 – Conversor Analógico/Digital MCP3008



Fonte: (COREELETRONICS, 2020)

Tabela 3 – Especificações técnica Conversor AD MCP3008

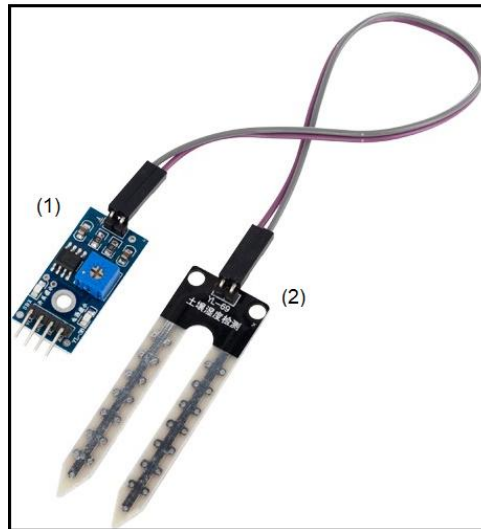
Microchip MCP3008	
Tensão de Alimentação	2.7V - 5.5V
Resolução	10 Bits
Taxa de Amostragem máxima	200 ksps até 5V e 75 ksps até 2,7V
Comunicação	Serial Peripheral Interface (SPI)
Canais	8
Pinos	16

Fonte: (MICROCHIP, 2007)

3.1.2 Sensor de Umidade do Solo

O sensor de umidade do solo (Tensiômetro) é utilizado para mediar a variação de água no solo. Seu funcionamento técnico consiste em medir a resistência do fluxo de eletricidade no solo. Quando o solo está seco, a resistividade é maior. Já quando há variação de água na superfície, a sonda do sensor permite a passagem de corrente elétrica, produzindo assim uma diferença de potencial (tensão) que é medido pelo módulo do sensor, ou seja, quanto maior for a umidade, menor será a tensão medida (MURTA, 2019a). Com isso é possível estimar o quanto o solo está seco. A figura 7 (1) apresenta o módulo do sensor, integrado na placa de aquisição, e a figura 7 (2) apresenta a sonda do sensor, que é inserida na superfície do solo.

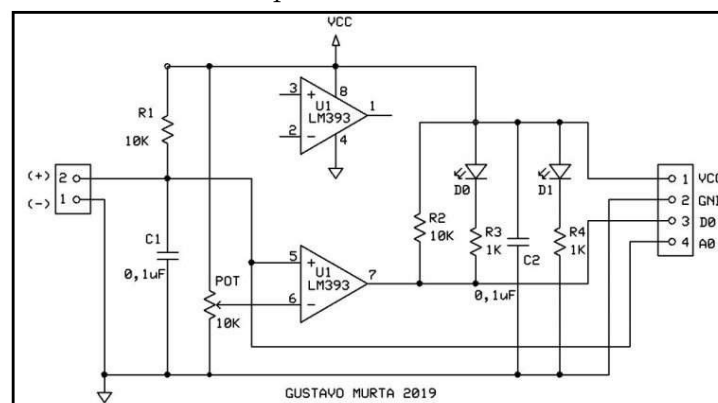
Figura 7 – Sensor de umidade do solo



Fonte: Adaptada de (FILIFELOP, 2020a)

A figura 8 apresenta o diagrama do módulo do sensor umidade do solo. Neste circuito comparador, os amplificadores LM393 são utilizados para comparar os valores de tensão de entrada e o potenciômetro (Pot) tem a função de ajustar a sensibilidade do sensor. A saída (A0) é utilizada para obter as medidas de tensão do sensor (MURTA, 2019a). Neste módulo, foi utilizada a saída analógica para obter uma faixa de valores intermediários de variação de umidade.

Figura 8 – Módulo comparador do sensor de umidade do solo



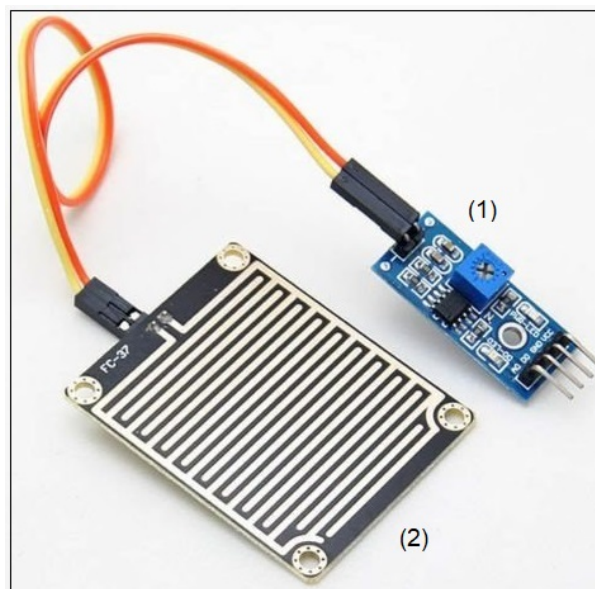
Fonte: (MURTA, 2019a)

3.1.3 Sensor de Chuva

O sensor de chuva utiliza o mesmo módulo comparador do higrômetro, a diferença está na sonda utilizada. Neste caso, a superfície da sonda possui uma matriz linhas para detectar as gotas de água. Neste sensor foi utilizada a saída digital (D0) visando obter

dois tipos de valores: (molhado ou seco) para detectar presença de chuva no ambiente. A figura 9 apresenta o sensor de chuva.

Figura 9 – Sensor de detecção de chuva

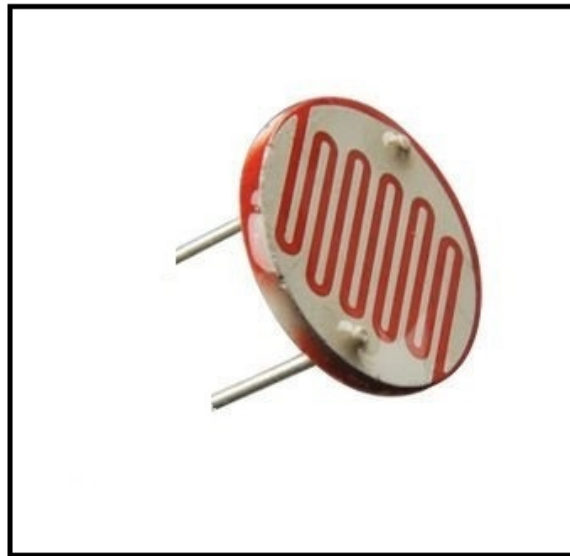


Fonte: (AUTOCORE, 2020)

3.1.4 Sensor de Luminosidade

Para medir a intensidade luminosa do ambiente, foi utilizado um sensor LDR (*Light Dependent Resistor*) (figura 10). O princípio técnico deste sensor consiste em sua resistência variar conforme a incidência de luz, produzindo assim uma diferença de potencial (tensão) entre os dois terminais do sensor. Este dispositivo também é chamado de fotoresistor devido à sua sensibilidade com a intensidade luminosa (SANTIAGO; VARELLA; VALE, 2015). Sua saída pode ser obtida realizando leituras em um dos terminais. A tabela 4 apresenta as especificações técnicas deste componente.

Figura 10 – Sensor de Luminosidade LDR



Fonte: (MUNDOPROJETADO, 2020)

Tabela 4 – Especificações técnicas sensor LDR

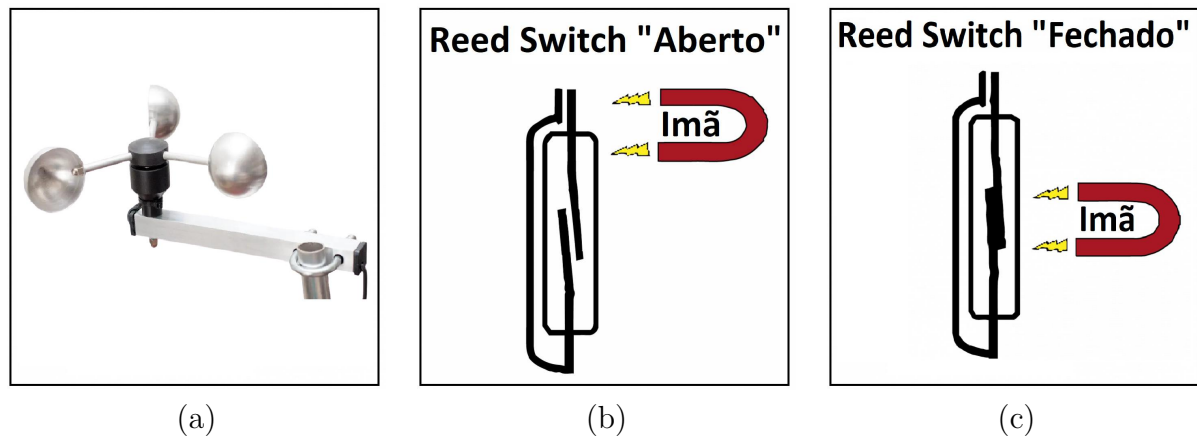
Sensor LDR	
Diâmetro	10mm
Alimentação Máxima	200V
Potência Máxima	560mW
Resistência	5 - 10 k Ω Ohm
Resistência no escuro	1M Ω

Fonte: (PHOTORESISTOR, 2016)

3.1.5 Sensor de Velocidade do Vento

O anemômetro digital é um sensor utilizado em estações meteorológicas para medir a velocidade do vento. Seu circuito eletrônico interno é constituído por um interruptor magnético (*Reed-Switches*) que é acionado por meio do efeito do campo magnético produzido por um ímã fixo no eixo do sensor. Este princípio de funcionamento consiste no movimento do ímã (giro) próximo do reed switch, produzindo assim pulsos elétricos por meio de um circuito polarizado do tipo *pull-up* (FINHOLDT et al., 2011). A figura 11 (a) apresenta o anemômetro digital utilizado neste projeto para monitorar a velocidade do vento. As figuras 11 (b) e (c) apresentam o comportamento do *reed switches* de acordo com a movimentação do ímã. Quando o ímã está distante, a chave se mantém "aberta"; já quando o ímã se aproxima, o efeito do campo magnético faz com que a chave se mantêm "fechada".

Figura 11 – Anemômetro digital



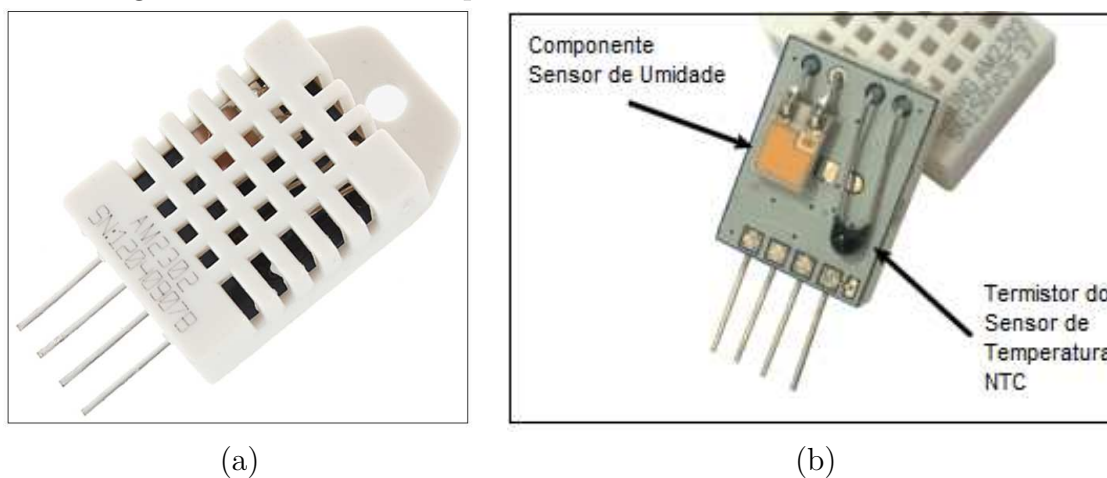
Fonte: (a) (WRFCOMERCIAL, 2020a); (b) Adaptado de (ELETRONICS, 2019); (c) Adaptado de (ELETRONICS, 2019)

Este sensor possui 3 conchas conectadas ao seu eixo, que giram de acordo com as rajadas de ventos do ambiente; ou seja, quanto mais forte for vento, mais voltas ele dará e maior será sua velocidade. Uma volta em torno do eixo (revolução) é equivalente a 360° . Cada volta do sensor produz um pulso elétrico, sendo possível contar os pulsos em um intervalo de tempo e estimar a velocidade do vento (FINHOLDT et al., 2011).

3.1.6 Sensor de Temperatura e Umidade relativa

Para obter os valores de temperatura e umidade relativa do ar foi utilizando o sensor DHT22 (figura 12 (a)). Este dispositivo é constituído por três partes: o sensor capacitivo útil para medir variação de umidade, um termistor NTC (*Negative Temperature Coefficient*), em que o aumento da temperatura causa diminuição da resistência, e o microcontrolador de 8 bits para converter os sinais analógicos em digitais tendo como saída o pino digital (AOSONG, 2016). A figura 12 (b) apresenta o circuito interno do sensor, mostrando o componente que mede a umidade do ar e o componente que mede a temperatura. A tabela 5 apresenta as especificações técnicas do sensor.

Figura 12 – Sensor de temperatura e umidade relativa do ar DHT22



Fonte: (a) (FILIPEFLOP, 2020b) (b) Adaptada de (MURTA, 2019b)

Tabela 5 – Especificações técnicas sensor AM2302 DHT22

AM2302 DHT22	
Alimentação	3.3V a 5VVolts
Consumo de Corrente	0,5mA
Tempo de resposta	Aproximadamente 5 segundos
Faixa de temperatura	-40 a 80
Precisão na Temperatura	+/- 1% °C
Faixa de umidade relativa	0 a 100%
Precisão na umidade	+/- 2%

Fonte: (AOSONG, 2016)

3.1.7 Sensor de Temperatura a Prova D'água

Para monitorar a temperatura da água foi utilizado o sensor DS18B20. O modelo utilizado é capaz de medir temperatura em locais úmidos e submersos em superfície líquida. Este sensor fornece de 9 a 12 bits para medições de temperatura e comunica por meio de um barramento de um fio (1-Wire) (MAXIMINTEGRATED, 2016). A figura 13 apresenta o sensor DS18B20 revestido por uma sonda de aço inox e o cabo coberto por um material resistivo flexível.

Figura 13 – Sensor de temperatura DS18B20



Fonte: (MAXIMINTEGRATED, 2016)

Este sensor pode ser integrado em diversos tipos de controladores, e pode ser lido por meio de portas analógicas ou digitais por meio do protocolo *One-Wire*. A tabela 6 apresenta as especificações técnicas do sensor.

Tabela 6 – Especificações técnicas sensor DS18B20

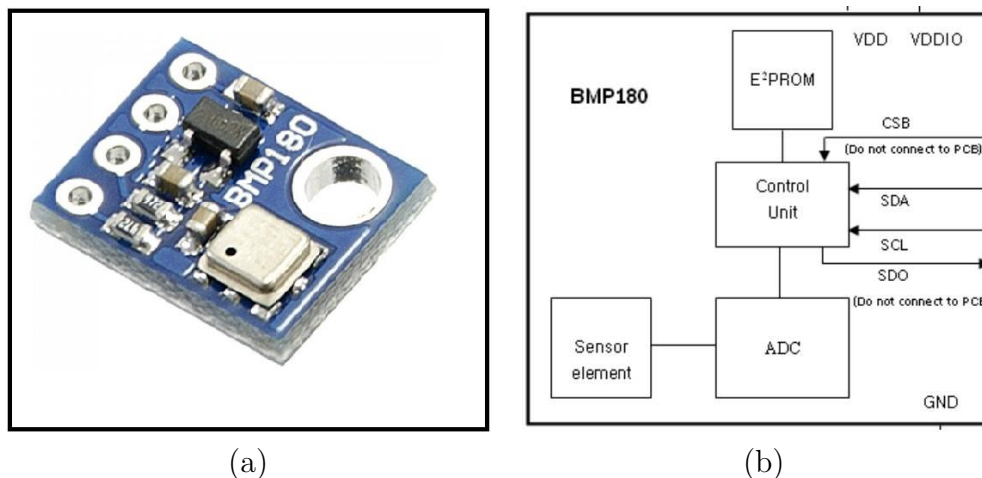
DS18B20	
Alimentação	3.3 V a 5
Consumo de Corrente	0,5 mA
Tempo de atualização	Aproximadamente 750 ms
Faixa de temperatura	-55 a 125 °C
Precisão na Temperatura	+/- 0.5 % °C
Resolução	9 a 12 bits
Diâmetro da sonda	6 mm

Fonte: (AOSONG, 2016)

3.1.8 Sensor de Pressão Atmosférica

O sensor de pressão atmosférica permite estimar a pressão exercida pela atmosfera sobre a superfície. Para esta finalidade, foi utilizado um o sensor digital de pressão BMP180 (figura 14 (a)), fabricado pela Bosch. Sua estrutura eletrônica consiste em um sensor piezo-resistivo, um conversor analógico-digital, uma unidade de controle e uma memória do tipo EEPROM. Sua interface de comunicação é feita por meio do protocolo I2C (*Inter Integrated Circuit*) (BMP180, 2013).

Figura 14 – Sensor de Pressão Atmosférica BMP180



Fonte: (a) (ELETROGATE, 2020) (b) (BMP180, 2013)

O BMP180 é baseado em elementos piezo-resistivos (BMP180, 2013). Este dispositivo é capaz de detectar variação de resistência elétrica conforme a deformação e contração da pressão aplicada (BOJORGE, 2013). A figura 14 (b) apresenta o circuito do módulo do sensor, que basicamente mede os valores físicos de pressão e converte estes em sinais digitais por meio do conversor analógico-digital. Posteriormente, esses dados são lidos e processados pela unidade de controle e transmitido por meio do protocolo I2C.

Tabela 7 – Especificações técnicas sensor digital de pressão BMP180

Sensor digital de pressão BMP180	
Alimentação	1.8 à 3.6 V
Consumo de corrente	0.5 uA
Dimensões	13 x 10 mm
Comunicação	I2C
Faixa de Leitura de Pressão	300 à 1100 hPa

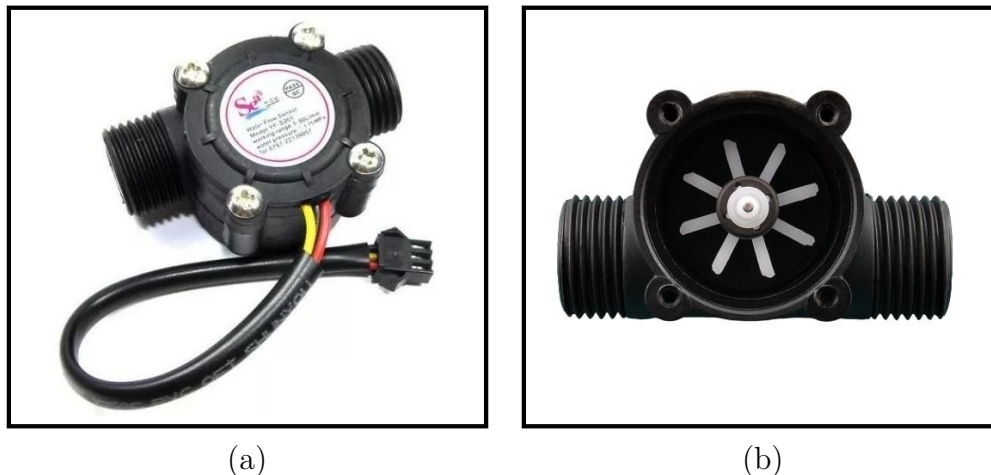
Fonte: (BMP180, 2013)

3.1.9 Sensor de Fluxo de Água

O sensor de fluxo de água permite medir e detectar a vazão de um líquido em uma tubulação ou mangueira. Para esta finalidade, foi utilizado o sensor de fluxo YS-201. A estrutura interna deste componente é constituída por uma hélice conectada a um eixo, um sensor de efeito hall magnético e um ímã. Quando ocorre passagem de água, a hélice gira, movimentando o ímã em torno do sensor de efeito hall. Este movimento causa uma diferença de potencial detectada pelo sensor, produzindo assim pulsos elétricos toda vez que o ímã passa pelo sensor. Por meio da contagem de pulsos, é possível calcular a vazão

do fluxo de água (GARCIA et al., 2017). A figura 15 apresenta a parte externa e interna do sensor de fluxo de água utilizado neste projeto.

Figura 15 – Sensor de Fluxo de Água



Fonte: (a) (ARDUOELETRO, 2020) (b) (YF-201, 2013)

A tabela 8 apresenta as principais características técnicas deste sensor.

Tabela 8 – Especificações técnicas sensor de fluxo de água YF-201

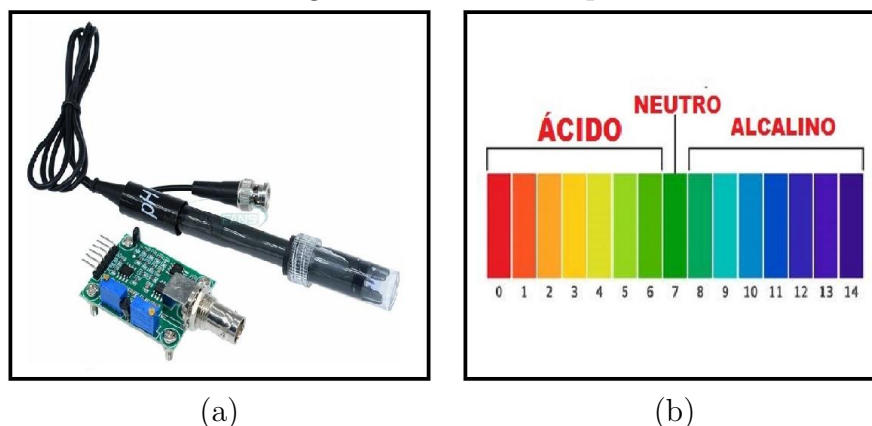
Sensor de fluxo de água YF-S201	
Alimentação	5V-24 V
Extensão de erro	+/- 5%
Faixa de fluxo	1 - 30 L/minuto
Pulsos por litro	450
Faixa de Leitura de Pressão	Frequência (Hz) = 7,5 * Fluxo (L/min)

Fonte: (YF-201, 2013)

3.1.10 Sensor de pH

O Sensor de potencial hidrogeniônico (pH potencial hidrogeniônico) permite monitorar o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma solução líquida. Neste trabalho foi utilizado o sensor PH-4502C, que é composto por um módulo eletrônico que realiza as medidas por meio de um eletrodo. Os valores do pH variam de 0 a 14, sendo que valores mais próximos de 0 correspondem a um pH ácido, os valores próximos de 7 correspondem a um pH neutro e valores próximos de 14 correspondem a um pH alcalino (CABALLERO, 2017). A figura 16 (a) apresenta o módulo eletrônico e a sonda do sensor para realizar as medidas de pH. A figura 16 (b) apresenta a escala do pH que varia de 0 a 14 e indica a acidez e basicidade de uma solução.

Figura 16 – Sensor de pH



Fonte: (a) (AZARMAZEM, 2020) (b) (SHOPTB, 2020)

As leituras do sensor são realizadas por meio do circuito eletrônico, que mede a diferença de potencial que ocorre entre o eletrodo de referência e um eletrodo de vidro, que é sensível ao íon de hidrogênio. Esses dois eletrodos formam a sonda. Os sinais analógicos são amplificados e condicionados para que um controlador possa realizar as leituras (CABALLERO, 2017). A tabela 9 apresenta as especificações técnicas do sensor.

Tabela 9 – Especificações técnicas sensor PH-4502C

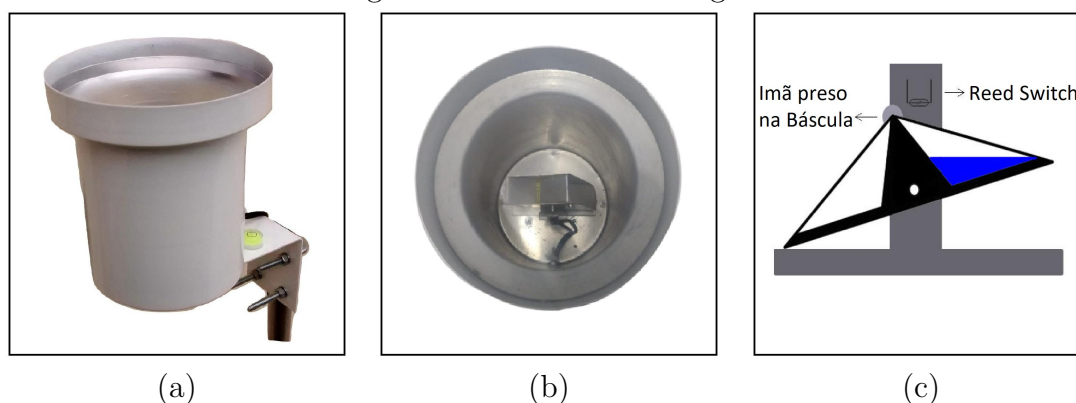
Sensor PH-4502C	
Alimentação	5 V
Corrente	5-10 mA
Saída	Analógica
Temperatura de operação	0 - 60 °C
Tempo de resposta	5 segundos
Faixa de medições	0,00 - 14,00 pH

Fonte: (ARDUINOPH, 2020)

3.1.11 Medidor de chuva

O pluviômetro digital é um instrumento utilizado em estações meteorológicas para medir a quantidade de chuva que ocorreu em determinado local. A figura 17 (a) apresenta a parte externa do pluviômetro utilizado. A figura 17 (b) apresenta a estrutura interna do pluviômetro que é composto por uma balsa, um ímã e um interruptor magnético *Reed-Switches*. Seu funcionamento técnico consiste no movimento da balsa, sempre que identifica uma quantidade de água. Quando a balsa muda de posição, o *Reed-Switches* detecta a movimentação por meio da ação do campo magnético gerado pelo ímã (que está fixo na balsa) e ocorre o contato elétrico, possibilitando a passagem de corrente que gera pulsos elétricos (STRAUB, 2016). A figura 17 (c) apresenta um esquema gráfico que ilustra a posição dos elementos internos e como ocorre o movimento da balsa.

Figura 17 – Pluviômetro digital



Fonte: (a) (WRFCOMERCIAL, 2020b); (b) Autoria própria; (c) (STRAUB, 2016)

No pluviômetro utilizando neste trabalho, cada movimento da bscula equivale a 0,25 mm. Os pulsos gerado podem ser medidos por meio de um controlador, possibilitando medir o quanto de chuva ocorreu em determinado período. A tabela 10 apresenta as especificações do pluviômetro.

Tabela 10 – Especificações técnicas do pluviômetro digital

Pluviômetro digital	
Alimentação	5 V
Saída	Digital
Deslocamento por pulso	0,25 mm
Dimenses (Altura x Diâmetro)	160x117 mm

Fonte: (USINAINFO, 2020)

3.1.12 Módulo GPS

O módulo *Global Positioning System* (GPS) fornece dados do posicionamento de um objeto sendo eles data, hora, velocidade de deslocamento, altitude, latitude e longitude. O funcionamento do GPS se baseia em um conjunto de vinte quatro satélites orbitando em torno da Terra, com uma altura de aproximadamente 20.200 km acima do nível do mar, tornando-se possíveis os receptores ter conhecimento da sua localização em qualquer lugar da Terra (ALVES, 2006). O módulo GY-GPS6MV2 permite encontrar satélites, possibilitando identificar a localização em tempo real. A figura figura 18 apresenta o módulo e a antena do módulo GPS utilizado neste projeto.

Figura 18 – Módulo GPS



Fonte: (HUINFINITO, 2020)

O módulo GPS pode ser integrado em diversos tipos de controladores para obter os dados de posicionamento global. A tabela 11 apresenta as especificações técnicas do módulo.

Tabela 11 – Especificações técnicas Módulo GPS GY-GPS6MV2

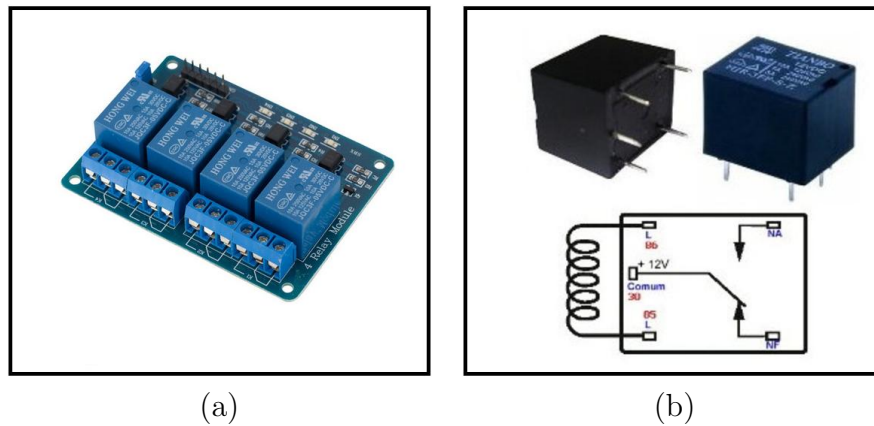
Módulo GPS GY-GPS6MV2	
Alimentação	3.3V
Precisão altura	+/- 5 metros
Precisão horizontal	+/- 2.5 metros
Comunicação	Serial RS-232
Tamanho da antena	(CxLxA): 25x25x8mm

Fonte: (UBLOX, 2011)

3.1.13 Módulo relê de acionamento

Relês são dispositivos que atuam como interruptores (chaves) eletromagnéticos que têm por finalidade acionar cargas de alta tensão por meio de um circuito eletrônico de baixa tensão (PATSKO, 2006). A estrutura interna de um relê é formada por um eletroímã em forma de bobina, uma armadura metálica, uma mola e um conjunto de contatos elétricos. Quando o circuito é acionado, a corrente elétrica passa pela bobina e produz um campo magnético e a armadura é atraída pela força eletromagnética, alterando a posição dos contatos, abertura ou fechamento. O controle da posição dos contatos permite a atuação do dispositivo (CUNHA, 2009). A figura 19 (a) apresenta o módulo relê de quatro canais utilizado no projeto. A figura 19 (b) apresenta a estrutura interna do relê e o circuito elétrico, composto pela bobina, contatos elétricos e a armadura metálica.

Figura 19 – Relê de acionamento, sendo a) módulo com 4 canais e b) estrutura interna do relê.



Fonte: (a) (FILIPEFLOP, 2019) (b) (LUNICOM, 2019)

Este dispositivo possui saídas digitais, permitindo que um controlador possa realizar acionamentos elétricos para atuar em uma bomba de sucção. A tabela 12 apresenta as especificações técnicas do módulo.

Tabela 12 – Especificações técnicas do módulo SRD-05VDC-SL-C

Módulo Relê SRD-05VDC-SL-C	
Alimentação	5 V
Corrente	15-20 mA
Saída	Digital
Tensão de carga controlada	até 220 V AC
Tempo de resposta	5 - 10 ms
Quantidade de Canais	4

Fonte: (SONGLE, 2019)

3.2 Placa de Desenvolvimento

Para integrar a placa de aquisição de dados e desenvolver as funcionalidades do projeto, foi utilizado a plataforma Raspberry Pi. Este dispositivo possibilita a integração de módulos, sensores e diversos periféricos, além possuir um sistema operacional para gerenciar todos os seus recursos.

3.2.1 Raspberry Pi

O Raspberry é uma plataforma (*hardware e software*) que possui capacidade e recursos computacionais para processamento de dados e diversas aplicações. Este dispositivo pode ser utilizado para desenvolvimento de diversos projetos relacionados a sistemas embarcados e sistemas digitais (RASPBERRY, 2020). A figura 20 apresenta a placa de

desenvolvimento Raspberry Pi 3B. As principais especificações técnicas do Raspberry Pi utilizado neste trabalho são listadas na tabela 13.

Figura 20 – Raspberry Pi Model 3B.



Fonte: (RASPBERRY, 2020)

Tabela 13 – Especificações técnicas do Raspberry Pi 3 Model B

Raspberry Pi 3 Model B	
Processador	Broadcom BCM2837 64bit ARMv8 Cortex-A53 Quad-Core 1.2 GHz
Memória ram:	1 GB
Conectividade:	Wifi 802.11n integrado, Conector Ethernet e Bluetooth 4.1 BLE integrado
Periféricos:	4 portas USB 2.0, GPIO de 40 pinos e Slot para cartão SD
Dimensões	85 x 56 x 17 mm

Fonte: (RASPBERRY, 2020)

3.2.2 Sistema Operacional Embarcado

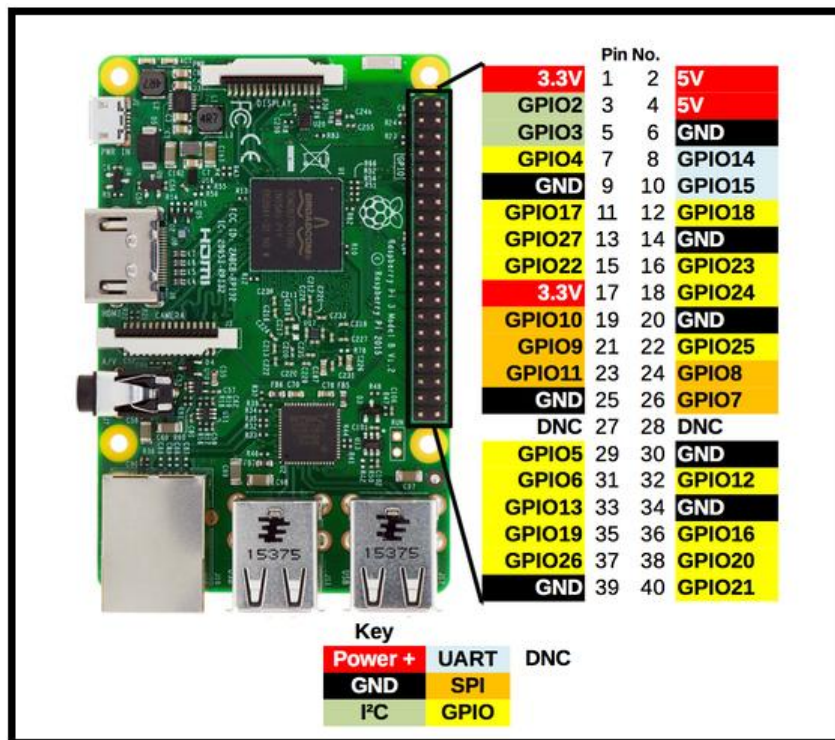
O Raspberry Pi possui um sistema operacional embarcado que é responsável por controlar e gerenciar todos os recursos da plataforma e os periféricos interligados nele (LIMA et al., 2015). Neste projeto foi utilizado o sistema operacional Raspbian, que é uma derivação do Linux Debian.

3.2.3 GPIO

As *General Purpose Input/Output* (GPIO's) são periféricos de entrada e saída para uso geral do Raspberry Pi que utilizam pinos digitais programados para receber e enviar dados para outros dispositivos. Os pinos de entrada podem ser lidos como alto (3,3 V) e baixo (0 V). Já os pinos de saída podem ser definidos como alto (3,3 V) e baixo (0 V) (RASPBERRY, 2020). As GPIO's do Raspberry possuem recursos de modulação por

largura de pulso (PWM), *Serial Peripheral Interface* (SPI), *Inter Integrated Circuit* (I2C) e serial RS232. A figura 21 apresenta o mapeamento dos pinos GPIO's do Raspberry Pi.

Figura 21 – Mapeamento das GPIO's no Raspberry Pi 3B



Fonte: (BUCKET, 2018)

3.3 Softwares

3.3.1 Servidor Web Apache

O Apache é um *software* responsável por gerenciar e fornecer serviços HTTP de forma segura e eficiente, atendendo os padrões atuais. Este *software* de código aberto de propriedade da Apache Software Foundation (ASF) pode ser utilizado em sistemas operacionais Unix e Windows. O Apache foi o servidor web utilizado neste trabalho, pois, atende as especificações técnicas do projeto e fornecia os recursos de comunicação necessários para executar as funcionalidades proposta.

3.3.2 Banco de Dados

Banco de dados é uma conjunto de dados relacionados que podem ser armazenados em um computador por meio de *softwares* e aplicativos (ELMASRI; NAVATHE, 2006). Para realizar o gerenciamento do banco de dados deste projeto, foi utilizado o MySQL, que é uma ferramenta de software capaz de gerenciar e administrar um banco

de dados por meio da linguagem de consulta estruturada SQL (*Structured Query Language*).

3.3.3 Python

Python é uma linguagem de programação orientada a objetos utilizada para desenvolvimento de sistemas computacionais, que também pode ser utilizada como linguagem script, permitindo criar funcionalidades e automatizar tarefas em diversas plataformas e programas (BORGES, 2006). O Python pode ser utilizada para criação de rotinas para leitura e escrita nos pinos do GPIO's da Raspberry.

3.3.4 PHP

O *Hypertext Preprocessor* (PHP) é uma linguagem de programação de uso geral, especialmente em desenvolvimento para sistemas web e integração com banco de dados. Os scripts escritos em php são executados do lado do servidor e permitem ser incorporados na Linguagem de Marcação de HiperTexto (HTML) (CONVERSE; PARK, 2006). O linguagem PHP permite implementar as funcionalidades e comportamento de um sistema web.

3.3.5 HTML

O HTML é uma linguagem de marcação que descreve a estrutura básica de uma página web, que tem como principal característica a possibilidade de interligar a outros documentos dentro do mesmo site ou conteúdos externo por meio de links (SILVA, 2006). O HTML permite a construção de uma página web possibilitando inserir imagens, links externos, botões, caixas de texto e outros componentes que compõe um sistema web.

3.3.6 CSS

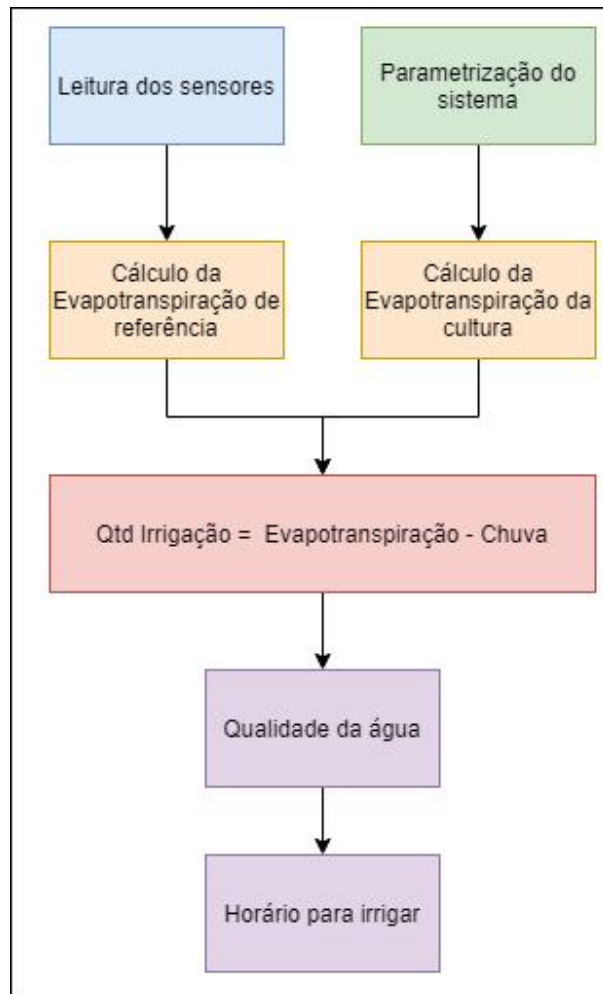
O *Cascading Style Sheets* (CSS) é uma linguagem de estilo utilizada para descrever a apresentação e o formato de uma página escrita em HTML (SILVA, 2006). O CSS permite customizar componentes de uma página web.

Neste capítulo foram apresentadas as características técnicas e o funcionamento dos sensores, módulos e componentes de software utilizados neste projeto. No capítulo 4 será explicado como componentes de hardware foram montados e como foram desenvolvidas as funcionalidades do software de aquisição e armazenamento de dados, assim como a interface web utilizando as tecnologias de software descritas neste capítulo.

4 MÉTODOS

Este capítulo apresenta a metodologia do procedimento experimental realizado no desenvolvimento do trabalho. A figura 22 apresenta a visão geral da metodologia utilizada para a leitura e análise de dados para estimar a quantidade de água necessária e quando o sistema de irrigação será acionado.

Figura 22 – Fluxograma das etapas da metodologia adotada



Fonte: Autoria própria

Os dados dos sensores são lidos a cada 1 hora durante o período de 24 horas. Com isso são obtidas um total de 24 leituras por dia para cada sensor. O valor obtido da média destas leituras é utilizado para calcular a evapotranspiração de referência. Além dos valores dos sensores, é necessário realizar uma parametrização do sistema. A parametrização consiste em inserir o valor do coeficiente de cultura da planta, que são baseados nas características de cada espécie, para o cálculo da evapotranspiração de cultura. O valor calculado para a evapotranspiração de cultura, subtraído da quantidade de chuva do

mesmo período, é o total de água (em mm/dia) necessária para aplicar na irrigação. A tabela 14 apresenta a relação das variáveis utilizadas no projeto, suas respectivas unidades de medida e o componente utilizado para coletar a respectiva informação.

Tabela 14 – Variáveis utilizadas no controle e monitoramento do sistema

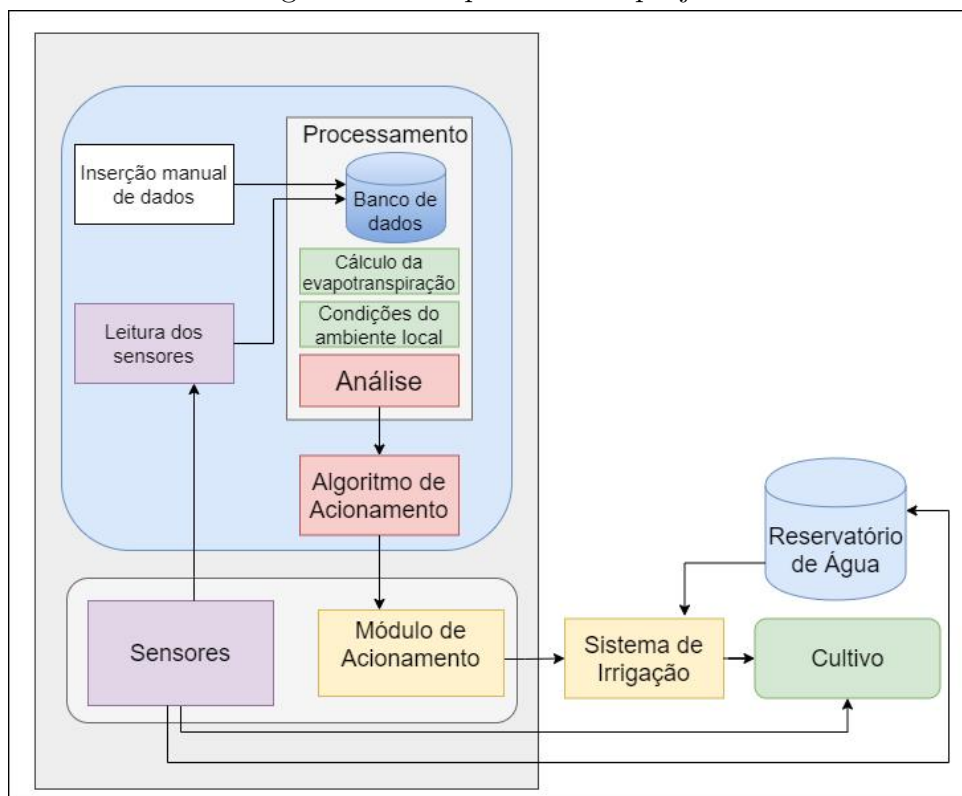
Grandeza	Unidade de medida	Componente utilizado
Temperatura do ambiente	°C	Sensor DHT22
Umidade relativa do ar	% (Porcentagem)	Sensor DHT22
Pressão atmosférica	Pa	Sensor BMP180
Altitude	m	Módulo GPS
Latitude	graus (°)	Módulo GPS
Velocidade do vento	m/s	Anemômetro
Quantidade de chuva	mm	Pluviômetro
Luminosidade	% (Porcentagem)	Sensor LDR
Acidez e basicidade	pH	Sensor pH
Umidade do solo	% (Porcentagem)	Sensor de umidade do solo
Fluxo de água	L/m	Sensor de fluxo
Coeficiente de cultura	-	Inserção manual

Fonte: Autoria própria

4.1 Desenvolvimento

A solução projetada para atender a metodologia proposta, é composta por quatro partes: aquisição de dados, armazenamento de dados, cálculo da evapotranspiração e algoritmo de acionamento. A aquisição de dados consiste em realizar a leitura dos sensores e prepará-los para serem utilizados. O armazenamento de dados consiste em estruturar e organizar os dados coletados, preparando eles para serem analisados. O cálculo da evapotranspiração consiste em aplicar as equações a partir dos dados lidos por meio dos sensores e dados inseridos manualmente para estimar a quantidade de água que deve ser irrigada. Por fim, o algoritmo de acionamento analisa as condições do ambiente externo e determina quando o sistema de irrigação será acionado. A figura 23 apresenta o diagrama de blocos da solução projetada.

Figura 23 – Arquitetura do projeto

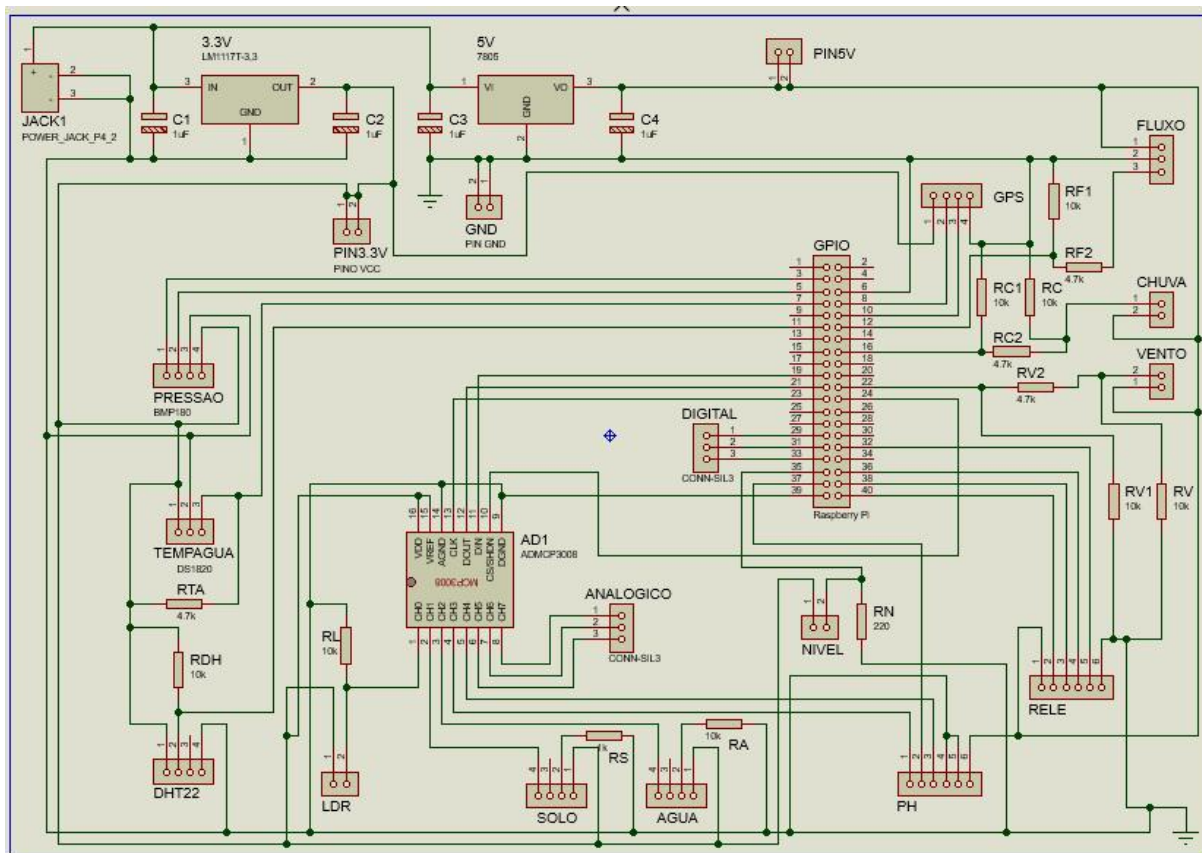


Fonte: Autoria própria

4.1.1 Placa de aquisição de dados

Para incorporar os sensores e módulos foi projetada uma placa de aquisição de dados capaz de prover energia para todos os componentes e integrar eles com a plataforma Raspberry Pi. Com isso foi desenhado um diagrama esquemático contendo os componentes utilizados e as ligações de todo o circuito eletrônico. A figura 24 apresenta o diagrama esquemático da placa de aquisição de dados.

Figura 24 – Diagrama esquemático da placa de aquisição de dados

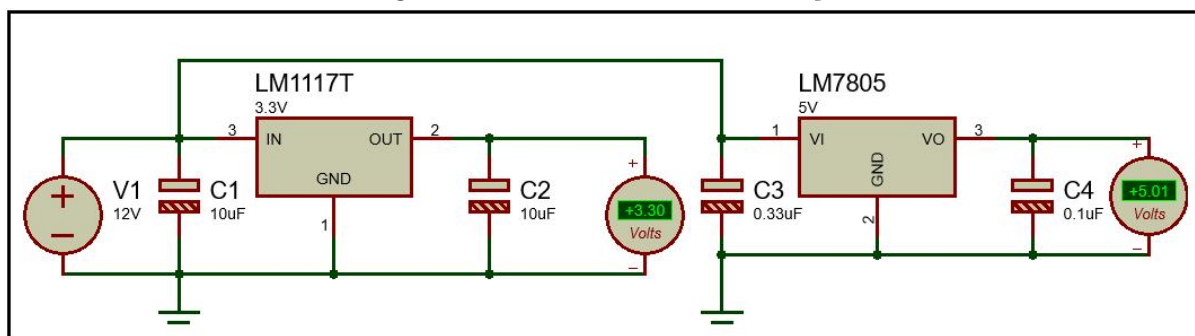


Fonte: Autoria própria

4.1.2 Circuito de alimentação

O circuito de alimentação da placa foi construído baseado nas especificações dos sensores e módulos utilizados. A fonte que alimenta a placa fornece 12 V de tensão com 1A de corrente. Os componentes utilizados operam entre 3,3 e 5V de tensão e; para atender esta especificação, foram utilizados dois reguladores de tensão. Os reguladores de tensão recebem uma tensão de entrada variada e mantém a tensão de saída constante dentro dos limites do componente utilizado (SCHNEIDER; ANDRADE, 2010). Neste projeto foram utilizados os reguladores de tensão LM7805 para manter a tensão constante em 5 V e o LM1117T para manter a tensão constante em 3,3 V. A figura 25 apresenta o diagrama esquemático do circuito de alimentação com dois voltímetros simulados para mediar as tensões de saída dos reguladores de tensão.

Figura 25 – Circuito de alimentação



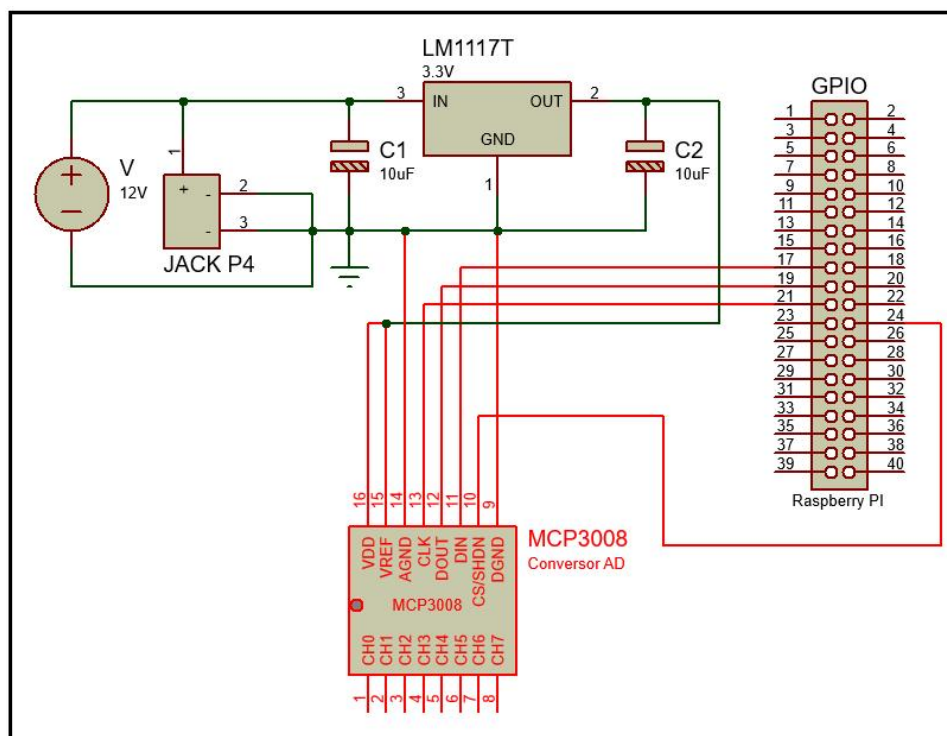
Fonte: Autoria própria

No circuito da figura 25, V1 representa a fonte de tensão de entrada de 12 V. Na configuração projetada para os reguladores de tensão são utilizados os capacitores $C1 = 10\mu\text{F}$ na entrada e, $C2 = 10\mu\text{F}$ na saída do LM1117T e, $C3 = 0,33\mu\text{F}$ na entrada e $C4 = 0,1\mu\text{F}$ na saída do LM7805. Esta configuração é indicada nos *datasheets* dos reguladores de tensão para que estes capacitores atuem como filtros no circuito, eliminando ruídos e obtendo uma maior estabilidade nas tensões de saída.

4.1.3 Montagem do Conversor AD

Para realizar a leitura de sensores analógicos com o conversor MCP3008 foi montado um circuito interligado com a rede de alimentação e a estrutura para realizar a comunicação com o Raspberry Pi. A figura 26 apresenta as conexões do conversor com as GPIOs do Raspberry e rede de alimentação. O componente “MCP3008” da figura contém 16 pinos, sendo que os pinos de 1 a 8 são os canais de leitura de sinais analógicos. O pino VDD trata-se da alimentação do conversor; já o pino VRFE é a tensão de referência de leitura. Neste projeto foi utilizado 3,3 V como referência, devido às especificações dos componentes utilizados. Os pinos AGND e DGND são o aterramento do conversor. O pinos CLK, Dout e Din são interligados com os pinos 23, 21 e 19 (GPIO 11, 9 e 10) do Raspberry Pi e têm como função realizar a interface de comunicação SPI. Por fim, o pino CS/SHDN é interligado ao pino 26 (GPIO 7) do Raspberry Pi e tem a função de indicar a comunicação com o conversor.

Figura 26 – Montagem do conversor AD



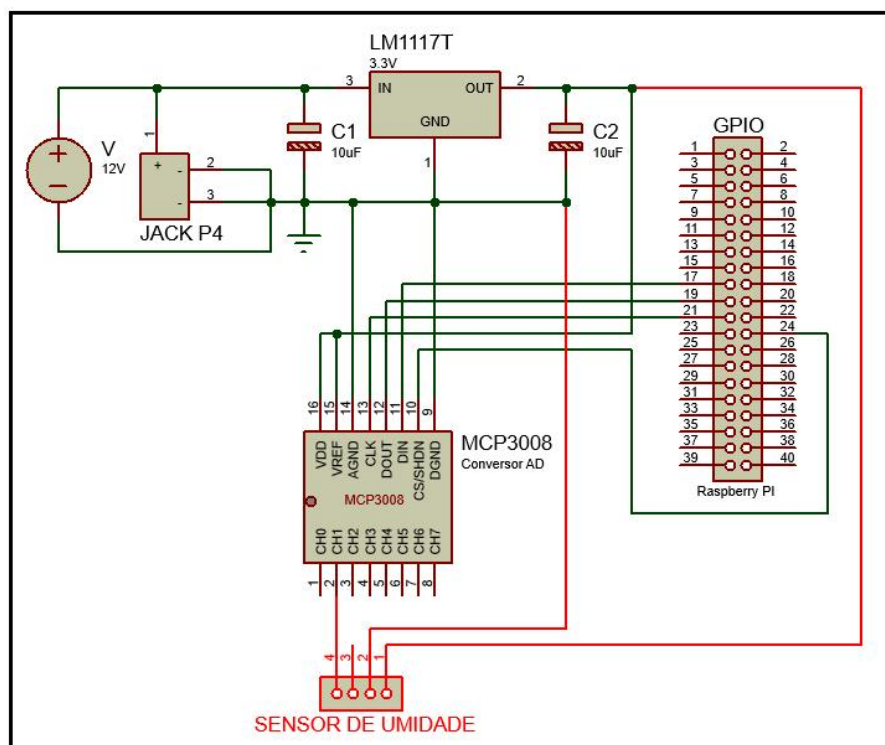
Fonte: Autoria própria

Para utilizar os recursos de hardware do conversor AD na plataforma Raspberry Pi foi utilizada a biblioteca Adafruit Python MCP3008, possibilitando a configuração do protocolo de comunicação SPI e a leitura dos canais analógicos.

4.1.4 Leitura do sensor de umidade de solo

Para medir a variação de água na terra, o sensor de umidade do solo foi interligado com a rede de alimentação e integrado ao conversor AD. A figura 27 apresenta a montagem do sensor no circuito da placa de aquisição de dados. O componente "Sensor de Umidade" da figura possui quatro pinos: A0 (4), D0 (3), GND (2) e VCC (1). O pino A0 trata das leituras do sensor por meio de um sinal analógico. O pino D0 trata das leituras do sensor por meio de um sinal digital. O pino GND trata do aterramento do sensor (ponto comum de todo o circuito). O pino VCC trata da alimentação do sensor. O sensor é conectado no canal 1 do conversor AD.

Figura 27 – Montagem do sensor umidade do solo



Fonte: Autoria própria

Baseado nas características e funcionalidades relacionadas ao sensor de umidade do solo descritas no capítulo de materiais, foi desenvolvido um script na linguagem Python para realizar as leituras no canal do conversor AD armazenar no banco de dados. As leituras no canal do conversor AD variam de 0 a 1, sendo 0 sensor sem contato com umidade e 1 sensor completamente úmido. A equação 3 descreve a umidade detectada pelo sensor em porcentagem. Este sensor detecta a presença de água no local onde ele esta inserido, ou seja, 0% indica que o sensor não detectou água na superfície que ele esta inserido e 100% indica que o sensor detectou água em toda superfície que ele esta inserido.

$$umidadeSolo = (1 - leituraSensor)100 \quad (3)$$

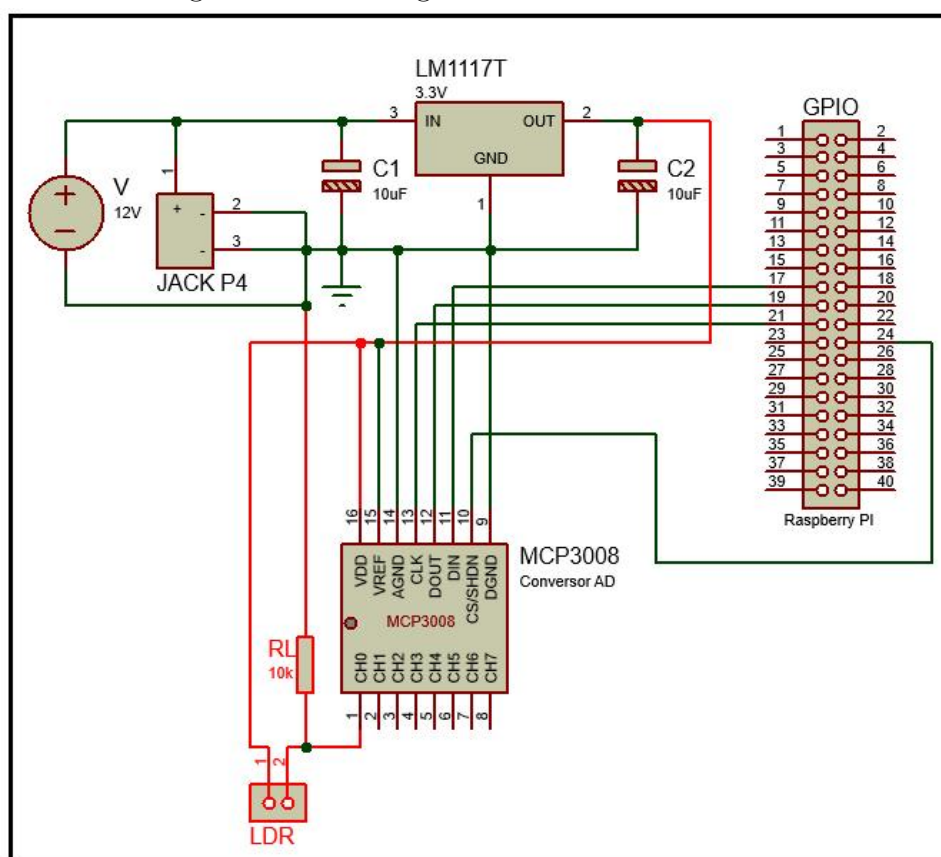
4.1.5 Leitura do sensor de detecção de água

A montagem do sensor de detecção de água foi a mesma utilizada para o sensor de umidade do solo, (figura 27), utilizando o canal 2 do conversor AD. A leitura deste sensor consiste em ler o canal 2 do conversor AD e verificar se os valores lidos são maiores que 0. As leituras variam entre 0 e 1, onde 0 indica que o que a sonda do sensor não identificou presença de água e 1 indica que o sensor detector água na sua superfície.

4.1.6 Leitura do sensor de luminosidade LDR

Para medir a variação de luminosidade o sensor LDR foi interligado a rede de alimentação e integrado ao conversor. A figura 28 apresenta as conexões do sensor, o componente ‘LDR’ possui dois terminais: o terminal ‘1’ foi interligado na rede de alimentação de 3,3 V (Vcc). Já o terminal ‘2’ foi interligado ao canal 1 do conversor, com um resistor de 10k Ω para possibilitar a medição da variação de tensão do sensor. O resistor é interligado no aterramento do circuito. A figura 28 apresenta a montagem do sensor no circuito.

Figura 28 – Montagem do sensor Luminosidade



Fonte: Autoria própria

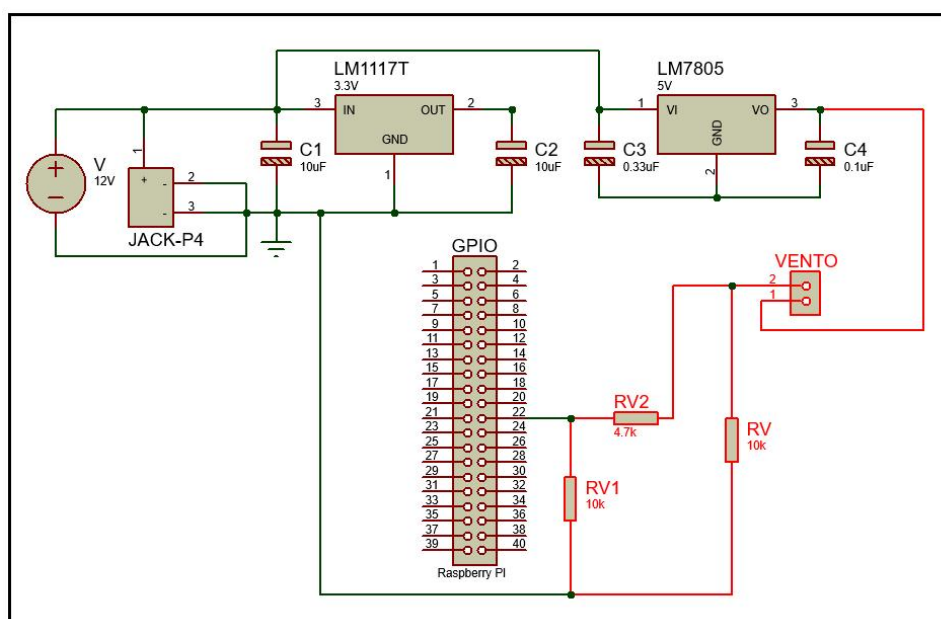
Para realizar as leituras do LDR foi implementado um script em Python que realiza leituras no canal 0 do conversor e realiza a conversão em porcentagem. A equação 4 descreve a conversão dos valores lidos em porcentagem de luminosidade.

$$luminosidade = (1 - leituraSensor)100 \quad (4)$$

4.1.7 Leitura do sensor de Velocidade do vento

Para medir a velocidade do vento com o anemômetro digital foi montado um circuito para alimentação e ligação com a GPIO do Raspberry Pi. A figura 29 apresenta as ligações do circuito do anemômetro. Para a montagem do sensor, foi utilizada um resistor *pull down* de 10kΩ e um divisor de tensão com dois resistores RV1 = 10k Ω e RV2 = 4,7k Ω para ajustar a tensão de saída de 5 V para 3,3 V.

Figura 29 – Montagem do sensor velocidade do vento



Fonte: Autoria própria

Para realizar as medições da velocidade do vento foi implementado um script na linguagem Python que efetua a contagem de pulsos na GPIO que o sensor está ligado e calcula o número de rotações do anemômetro durante um período. Cada pulso do sensor corresponde a uma rotação e; para calcular a circunferência utiliza-se o raio do anemômetro. A equação 5 descreve como a velocidade do vento é calculada.

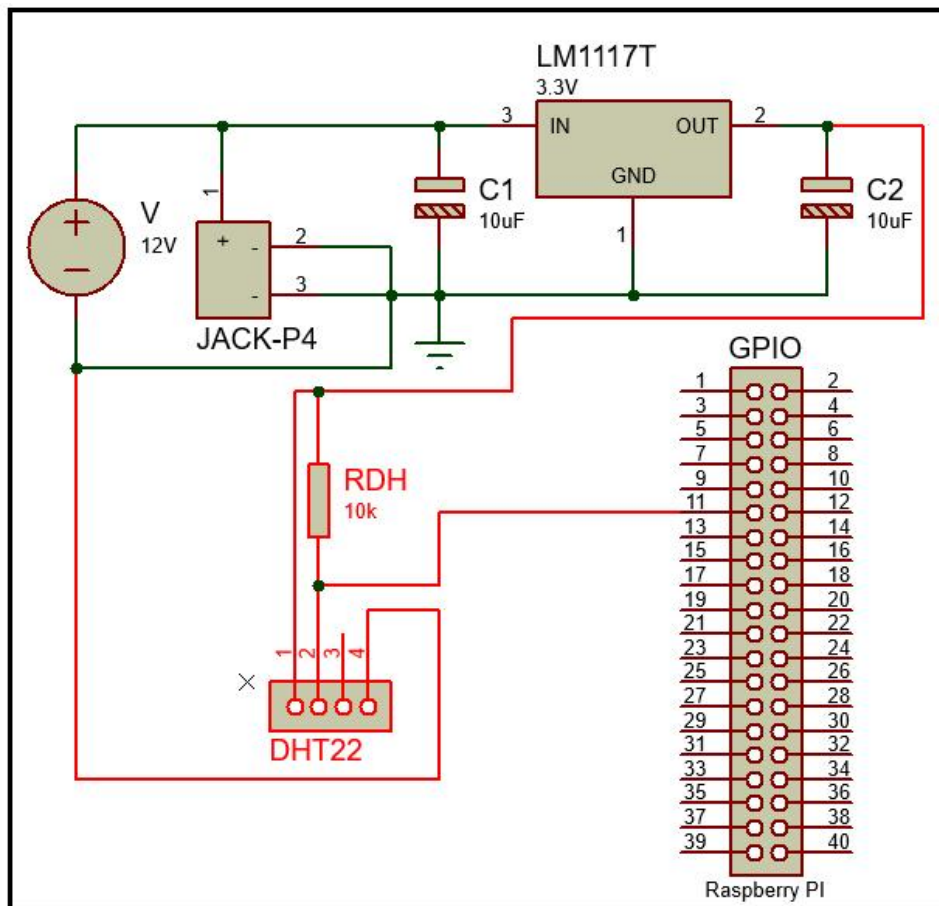
$$Velocidade = \frac{(pulsos)(2\pi Raio)}{Tempo} \quad (5)$$

4.1.8 Leitura do sensor de Temperatura e Umidade relativa do ar

Para mediar a temperatura e umidade relativa do ar com o sensor DHT22 foi montado um circuito para a alimentação e integração com o Raspberry Pi. A figura 30 apresenta a montagem do circuito, o componente "DHT22" é ligado ao pino 13 (GPIO 27) da Raspberry Pi junto com um resistor de *pull up* RDH de 10k Ω. O pino 1 (Vcc) trata-se da alimentação do sensor de 3,3 V; já o pino 2 (Data) realiza as leituras do sensor e o

pino 4 (Gnd) é o aterramento do sensor. Para realizar as medições do sensor foi utilizada a biblioteca Adafruit Python DHT.

Figura 30 – Montagem do sensor temperatura e umidade do ar

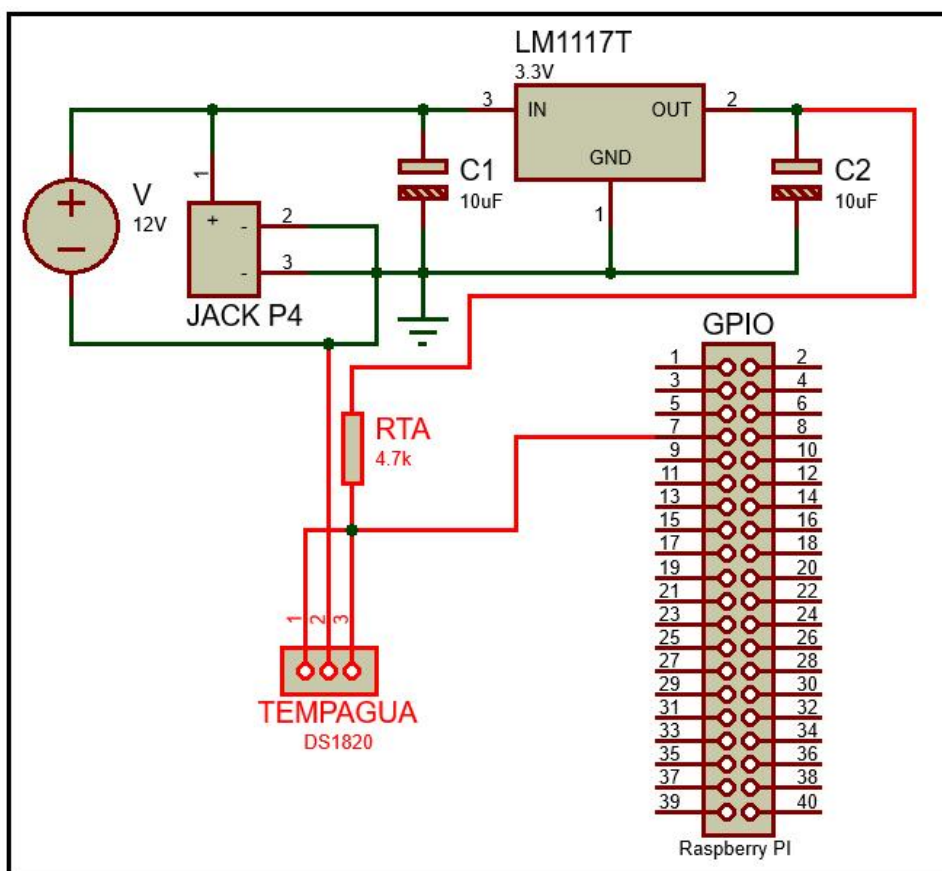


Fonte: Autoria própria

4.1.9 Leitura do sensor de Temperatura a prova d'água

Para medir a temperatura da água com sensor DS18B20 foi montado um circuito para alimentação e integração com o Raspberry Pi. A figura 31 apresenta a montagem do circuito interligado com o pino 9 (GPIO 27) do Raspberry Pi e o resistor de *pull up* RTA de 4.7k Ω . O sensor possui três pinos: o pino 1 trata da leitura do sensor, o pino 2 aterramento e por fim o pino 3 é a alimentação do sensor. Para realizar as leituras de temperaturas do sensor são configuradas a interface de comunicação *One Wire* do Raspberry Pi e; além disso, foi implementado um script de leitura na linguagem Python.

Figura 31 – Montagem do sensor de Temperatura a prova d'água

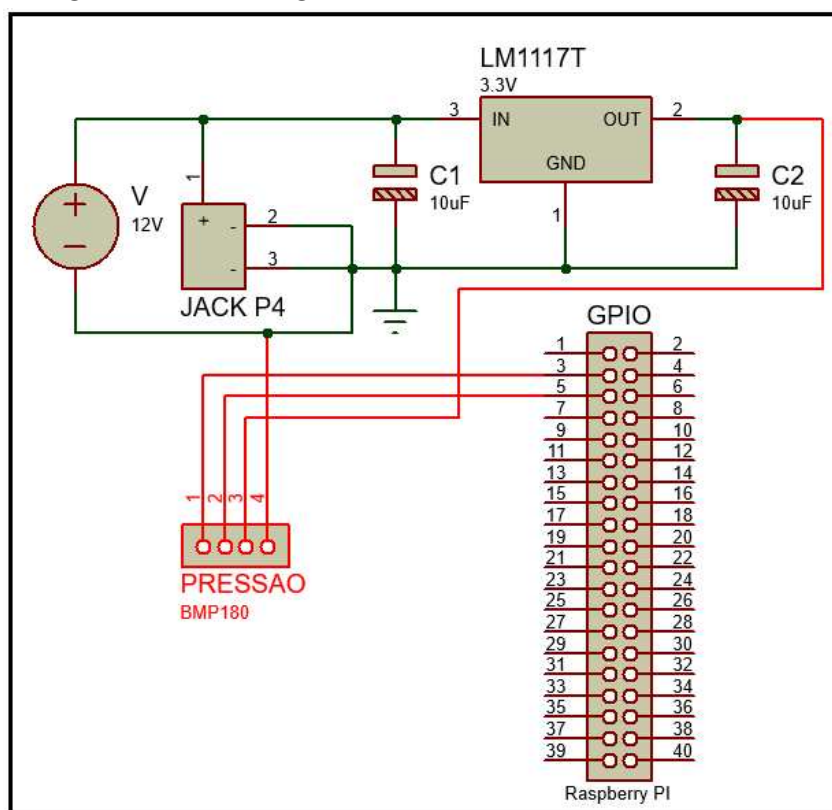


Fonte: Autoria própria

4.1.10 Leitura do sensor de Pressão Atmosférica

Para mediar a pressão atmosférica com, o sensor BMP180 foi interligado com a rede de alimentação e integrado a GPIO do Raspberry Pi. A figura 32 apresenta as ligações do circuito na placa de aquisição de dados. O componente 'Pressão' possui 4 terminais: o terminal 1 (SDA) trata-se da comunicação com o Raspberry Pi, o terminal 2 (SCL) fornece o sinal de clock para cronometrar a comunicação entre o sensor e sistema embarcado. O terminal 3 é a alimentação do sensor e por fim, o terminal 4 é o aterramento. A comunicação deste sensor é baseada no protocolo de comunicação I2C (TOWNSEND, 2012). Para realizar as leituras de pressão atmosférica, utiliza-se a biblioteca Adafruit Python BMP.

Figura 32 – Montagem do sensor de Pressão Atmosférica

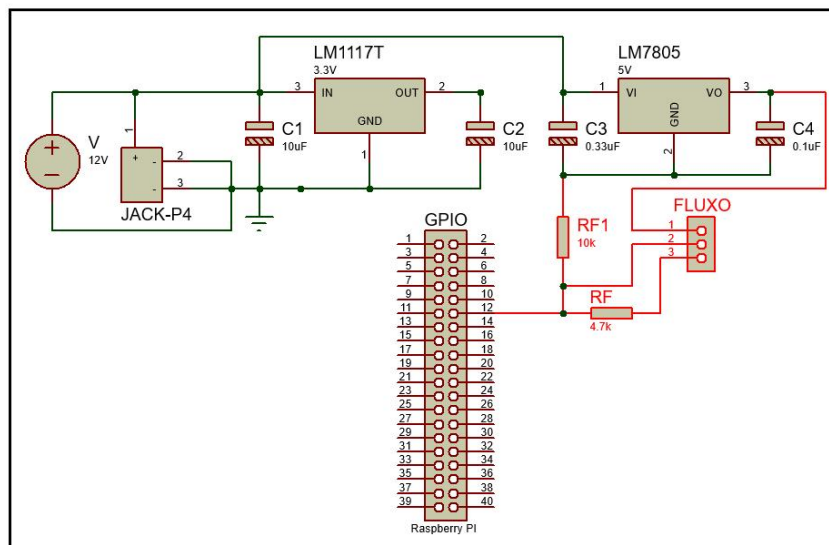


Fonte: Autoria própria

4.1.11 Leitura do sensor de Fluxo de água

Para medir o fluxo de água foi utilizado o sensor de fluxo de água YF-S201. A figura 33 apresenta a montagem do circuito interligado com o pino 12 (GPIO 18) do Raspberry Pi. Os resistores $R_F = 4,7 \text{ k}\Omega$ e R_{F1} de $10 \text{ k}\Omega$ são utilizadas para ajustar a tensão de saída de 5 V para 3.3V . A leitura do sensor de fluxo de água é feita por meio da contagem de pulsos em um intervalo de tempo de 1 segundo. A cada 1 minuto (60 segundos) é feito o cálculo da vazão da água por minuto.

Figura 33 – Montagem do sensor de Fluxo de água

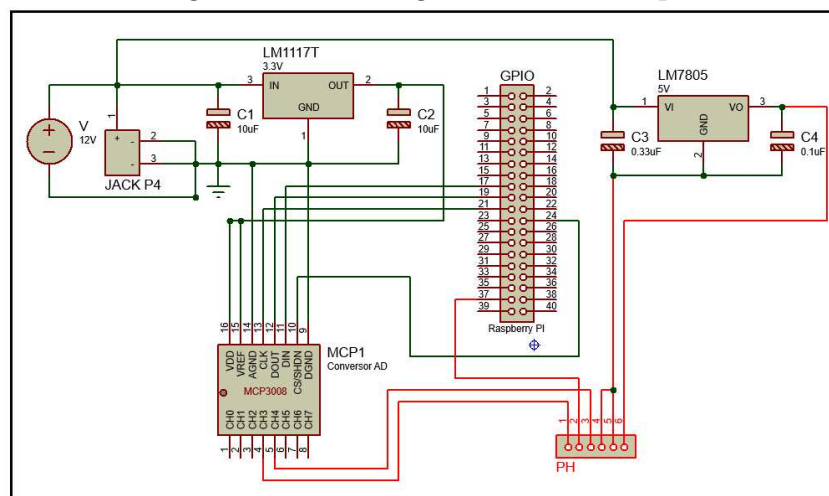


Fonte: Autoria própria

4.1.12 Leitura do sensor de pH

Para medir o pH da água com módulo e sonda do sensor de PH-4502C foi montado um circuito interligando o sensor com a rede de alimentação e integrando ao conversor AD. A figura 34 apresenta as ligações do sensor com os canais 3 e 4 do conversor AD. O pino 1, 2 e 3 do sensor trata-se das leituras do módulo, os pinos 4 e 5 são o aterramento do sensor e o pino 6 é a alimentação. A leitura do sensor de pH é realizada através de um script que realiza leitura nos canais do conversor AD e converte os valores de tensão em escalas de pH.

Figura 34 – Montagem do sensor de pH



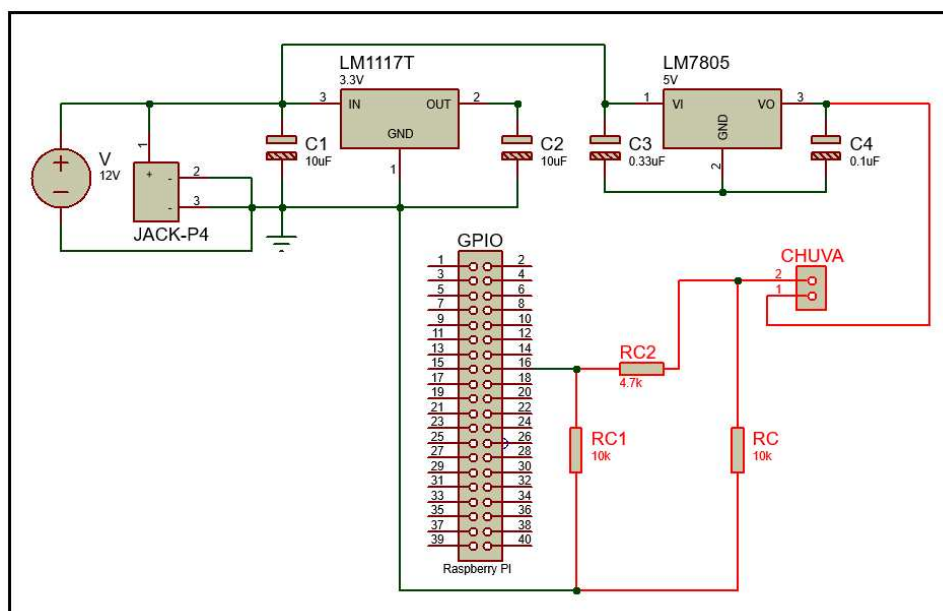
Fonte: Autoria própria

4.1.13 Leitura do sensor de chuva

Para medir a quantidade de chuva com o pluviômetro digital foi montado um circuito para alimentação e integração com a GPIO do Raspberry Pi. A figura 35 apresenta as ligações do sensor e os resistores utilizados. No circuito, foi utilizado um resistor *pull up* de 10 k Ω e um divisor de tensão com dois resistores RV1 = 10 k Ω e RV2 = 4.7 k Ω em série para ajustar a tensão de saída de 5 V para 3.3 V.

As leituras do pluviômetro foi realizada através de um script implementado na linguagem Python que realiza a contagem de pulsos do pino do Raspberry Pi. O *datasheet* do sensor informa que cada leitura do sensor significa 0.25mm.

Figura 35 – Montagem do sensor de chuva

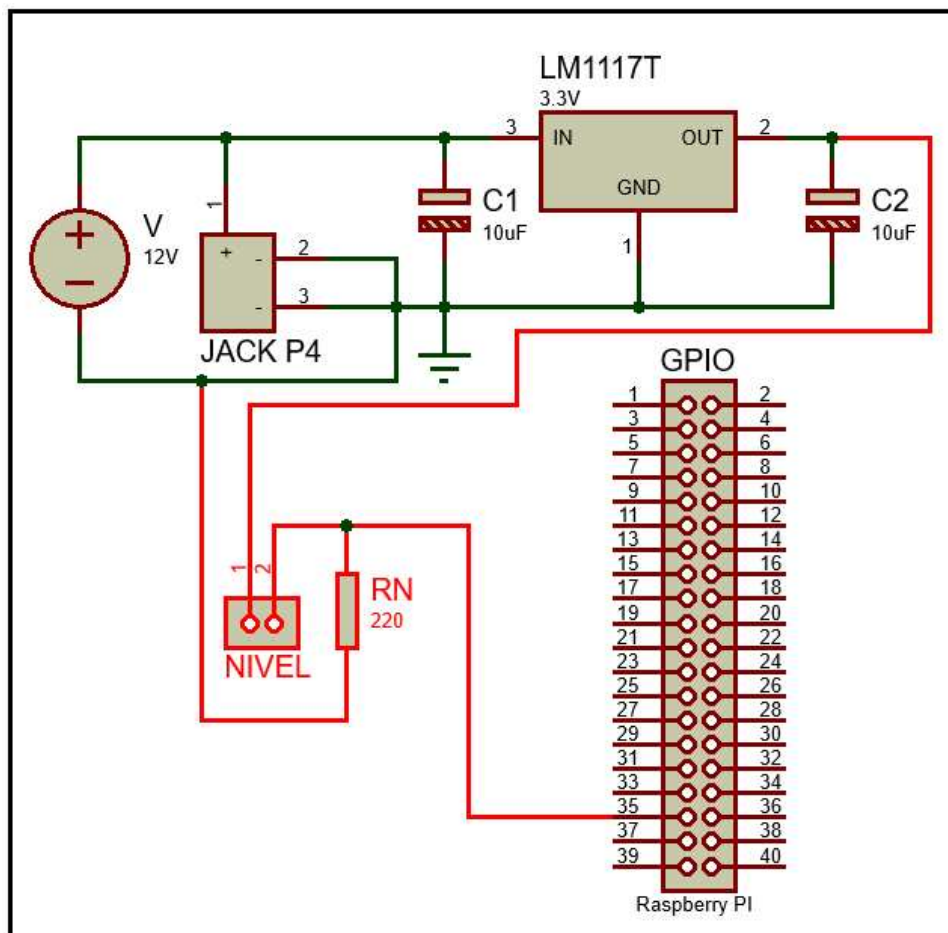


Fonte: Autoria própria

4.1.14 Leitura de Nível

Para identificar o nível de água do reservatório com sensor de nível de líquidos foi montado um circuito para interligar o sensor na rede de alimentação e integração com a GPIO do Raspberry Pi. A figura 36 apresenta as ligações do circuito do sensor com o pino 37 (GPIO 26) do Raspberry Pi e um resistor *pull down* de 220 k Ω . Este sensor possui dois terminais: o terminal 1 trata da alimentação do sensor e o terminal 2 é interligado no pino 37 (GPIO 26) do Raspberry Pi e um resistor de *pull down* de 220 k Ω . A figura 36 apresenta a montagem do circuito para leitura do sensor. Para detectar o nível da água, o sensor atua como chave (liga-desliga); quando a água está abaixo do local instalado, o sensor atua como uma chave desligada; já quando o nível da água está acima do sensor, este atua como uma chave ligada. Para ler este sensor foi implementado um script na linguagem Python que realiza leitura na GPIO 26 e detecta se esta ligado ou desligado.

Figura 36 – Montagem do sensor de Nível

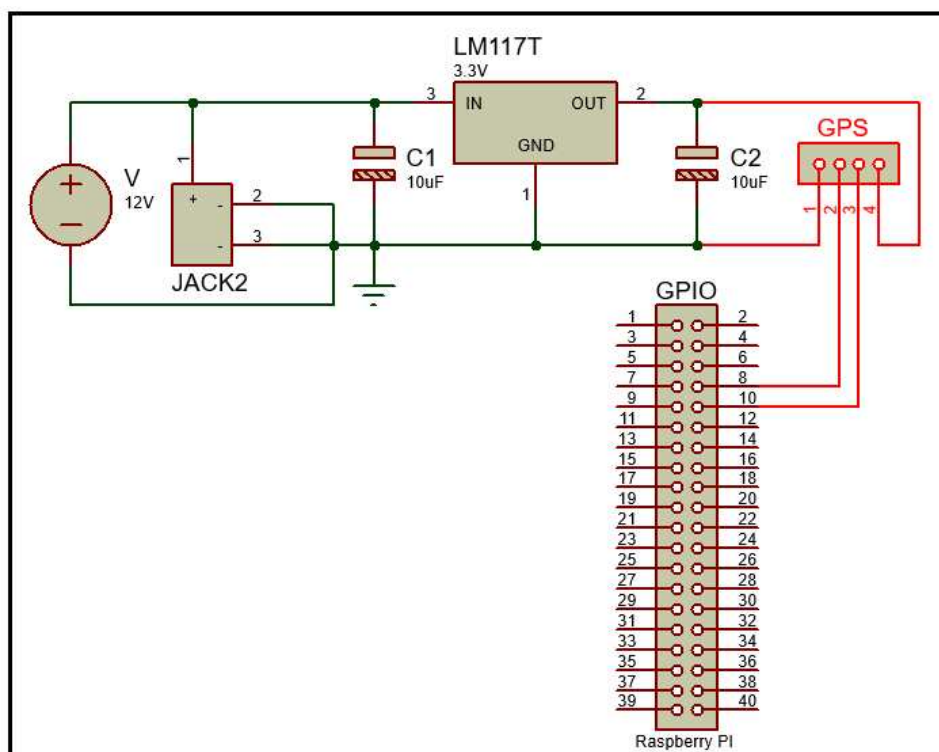


Fonte: Autoria própria

4.1.15 Leitura do Módulo GPS

Para coletar os dados de posicionamento com o módulo GPS foi montado um circuito interligando a rede de alimentação e integração com o Raspberry Pi. O módulo se comunica com o Raspberry Pi via comunicação serial RS232 por meio dos pinos 10 e 12 (GPIO 14 e 15). A figura 37 apresenta as ligações do circuito que interliga o módulo GPS com o Raspberry Pi. As leituras das coordenadas do GPS feitas por meio do *software* gpsd.

Figura 37 – Montagem do Módulo GPS

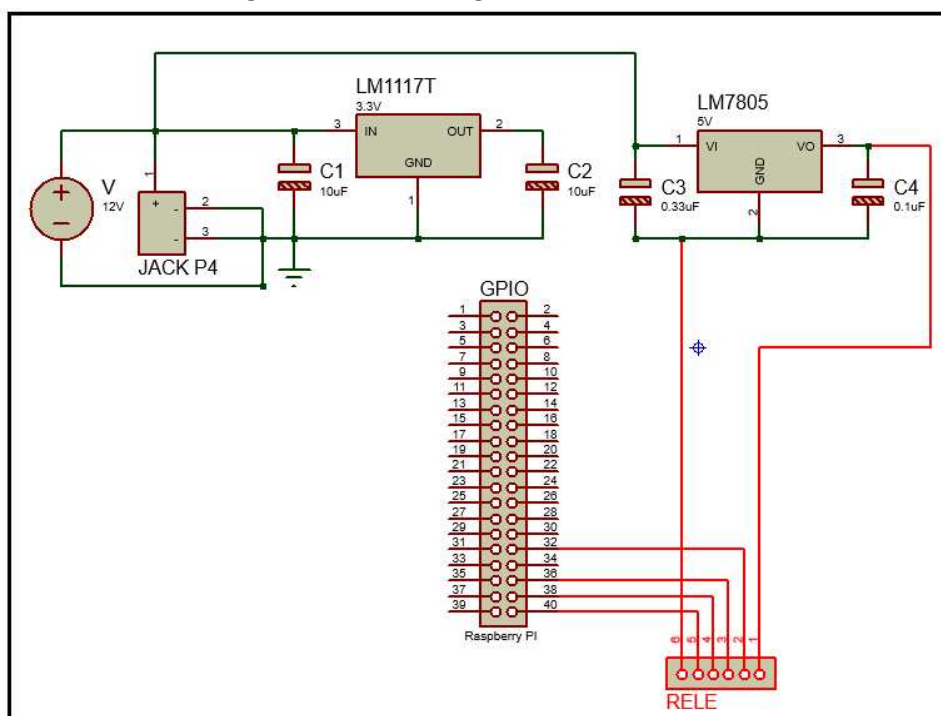


Fonte: Autoria própria

4.1.16 Controle do Módulo Relê

Para controlar o sistema hidráulico (bomba) da irrigação foi utilizado um relê eletrônico. O controle do módulo relê é realizado por meio dos pinos 40, 38, 36, e 32 (GPIO 21, 20, 16 e 12) do Raspberry Pi. Cada pino controla um canal do módulo relê, que possui 4 canais. O acionamento e desligamento do canal do módulo é feito através de um script implementado em Python. A figura 38 apresenta a montagem do circuito para a integração do módulo relê na placa de aquisição de dados.

Figura 38 – Montagem do Módulo Relê

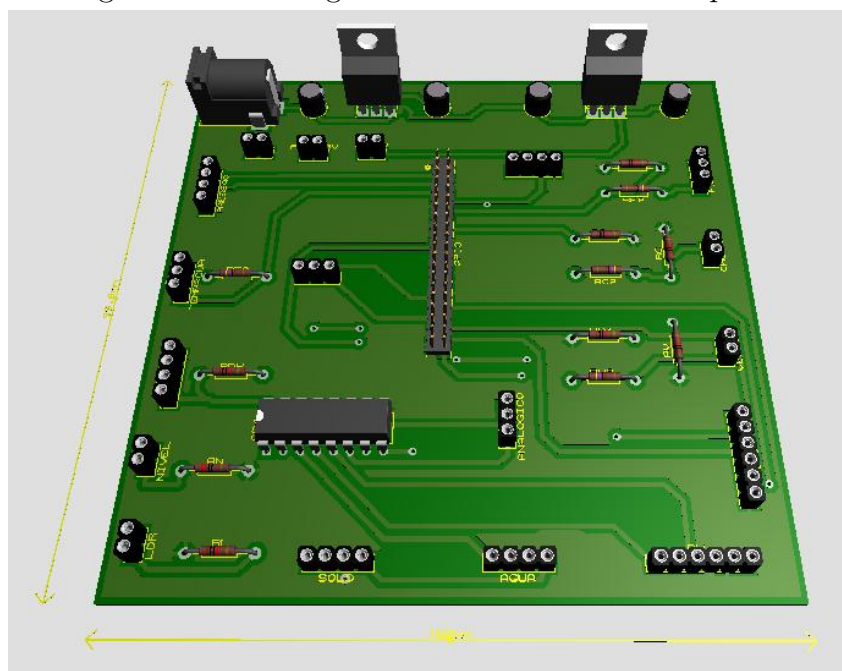


Fonte: Autoria própria

4.1.17 Construção da placa de circuito impresso

A construção da placa de circuito impresso teve como estrutura o diagrama esquemático da figura 24. Com o circuito eletrônico projetado e especificado, a construção da placa teve duas etapas: prototipação com *protoboard* e prototipação na placa de circuito impresso. A primeira etapa da construção foi montar os componentes em uma *protoboard* e interligando os pontos do circuito utilizando fios condutores. O objetivo desta etapa foi validar as ligações projetadas e realizar ajustes e calibração dos componentes utilizados. A segunda etapa foi projetar o roteamento das trilhas dos componentes e montar a placa de circuito impresso. A figura 39 apresenta a montagem da placa de aquisição de dados.

Figura 39 – Montagem da Placa de circuito impresso



Fonte: Autoria própria

4.1.18 Roteiro do cálculo da evapotranspiração

Nesta seção serão descritos como calcular cada variável da equação da evapotranspiração de referência (ET_o) proposta pelo método de Penman-Monteith-FAO, utilizando o roteiro de cálculo descrito por Fonseca (CONCEIÇÃO, 2006).

O método de Penman-Monteith-FAO é dado pela seguinte equação:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T_2 + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (6)$$

Segundo Fonseca, os valores diários do fluxo de calor no solo (G) normalmente são baixos, podendo considerar zero quando não há medições de G disponível (CONCEIÇÃO, 2006).

A declividade da curva de pressão de vapor em relação à temperatura pode ser calculado pela equação 7. A variável "T" corresponde a temperatura do ar em °C (CONCEIÇÃO, 2006). Esta temperatura é obtida por meio da leitura do sensor DHT22.

$$\Delta = \frac{4098[0,6108e^{\left(\frac{17,27T}{T+237,3}\right)}]}{(T + 237,3)^2} \quad (7)$$

A constante psicrométrica pode ser obtida por meio da equação 8. A variável Patm corresponde a pressão atmosférica local (CONCEIÇÃO, 2006). A pressão atmosférica é

obtida por meio do sensor BMP180.

$$\gamma = 0,66510^{-3} Patm \quad (8)$$

A pressão de saturação de vapor pode ser obtida por meio da equação 9, onde a variável "T" corresponde a temperatura do ar medido em °C (CONCEIÇÃO, 2006). Esta temperatura é obtida por meio da leitura do sensor DHT22.

$$e_s = 0,6108e^{\left[\frac{17,27T}{T+237,5}\right]} \quad (9)$$

A pressão de vapor atual do ar pode ser obtida por meio da equação 10, onde a variável UR corresponde a umidade relativa do ar (CONCEIÇÃO, 2006). A umidade é obtida por meio da leitura do sensor DHT22.

$$e_a = \frac{e_s UR}{100} \quad (10)$$

A pressão atual de vapor também pode ser obtida utilizando os valores de temperatura mínima; a equação 11 descreve como esta pressão pode ser calculada (CONCEIÇÃO, 2006). Os dados de temperatura mínima pode ser obtida por meio de consulta no historio diário de temperatura lidas pelo sensor DHT22.

$$e_a = 0,6108e^{\left[\frac{17,27T_{min}}{T_{min}+237,3}\right]} \quad (11)$$

O Saldo de radiação (R_n) pode ser estimado calculando a diferença entre o saldo de radiação de ondas curtas com o saldo de radiação de ondas longas. A unidade de medida do saldo de radiação é dado por ($MJm^{-2}dia^{-1}$). A equação 12 descreve o cálculo do saldo de radiação (CONCEIÇÃO, 2006).

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (12)$$

O cálculo de radiação de ondas curtas (R_{ns}) pode ser obtido por meio da equação 13, onde R_s é a radiação solar incidente e α é o coeficiente de reflexão da vegetação, sendo considerado 0,23. (CONCEIÇÃO, 2006).

$$R_{ns} = (1 - \alpha)R_s \quad (13)$$

A radiação solar incidente (R_s) pode ser calculada utilizando os valores de temperatura máxima e mínima. A equação 14 descreve o cálculo de "Rs" onde o valor de k_{R_s} é de 0,16 para regiões continentais e 0,19 para regiões costeiras (CONCEIÇÃO, 2006).

$$R_s = k_{R_s} R_a \sqrt{T_{max} - T_{min}} \quad (14)$$

O cálculo do saldo da radiação de ondas longas pode ser obtido por meio da equação 15, sendo que T_{max} é a temperatura máxima no dia, T_{min} a temperatura mínima

do dia, e σ é a constante de Stefan-Boltzmann: $4,9003 \cdot 10^{-9} \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$, R_{so} é a radiação solar incidente na ausência de nuvens $\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ e a e_a é a pressão atual de vapor (kPa) (CONCEIÇÃO, 2006).

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{(T_{max} + 273,16)^4 + (T_{min} + 273,16)^4}{2} \right] (0,34 - 0,14\sqrt{e_a}) \left(1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad (15)$$

O cálculo de radiação solar incidente na ausência de nuvens pode ser obtido por meio da equação 16. A variável "z" é a altitude local em relação ao nível do mar medido em metros (m) (CONCEIÇÃO, 2006).

$$R_{so} = (0,75 + 2 * 10^{-5}z)R_a \quad (16)$$

"Ra" é a radiação no topo da atmosférica que pode ser obtida com a equação 17. O valor de " φ " representa a latitude local medido em radianos (CONCEIÇÃO, 2006).

$$R_a = \frac{118,08}{\pi} dr [\omega_s \text{sen}(\varphi) \text{sen}(\delta) + \text{cos}(\varphi) \text{cos}(\delta) \text{sen}(\omega_s)] \quad (17)$$

O valor de "dr" representa a distância inversa relativa entre a terra e o sol medido em radianos e pode ser calculado por meio da equação 18. "J" é o dia do ano de 1 a 365 ou 366 para ano bissexto (CONCEIÇÃO, 2006).

$$dr = 1 + 0,033 \text{cos}\left(\frac{2\pi}{365}J\right) \quad (18)$$

O valor de " δ " representa a declinação solar medida em radianos e pode ser calculada por meio da equação 19 (CONCEIÇÃO, 2006).

$$\delta = 0,409 \text{sen}\left(\frac{2\pi}{365}J - 1,39\right) \quad (19)$$

O valor de " ω " é o ângulo horário ao nascer do sol medido em radianos e pode ser calculado por meio da equação 20. A variável "X" pode ser calculada com a equação 21. Se o valor de "X" for menor ou igual a 0, "X" assume o valor igual a 0,00001 (CONCEIÇÃO, 2006).

$$\omega_s = \frac{\pi}{2} - \arctan\left[\frac{-\text{tan}(\varphi)\text{tan}(\delta)}{X^{0,5}}\right] \quad (20)$$

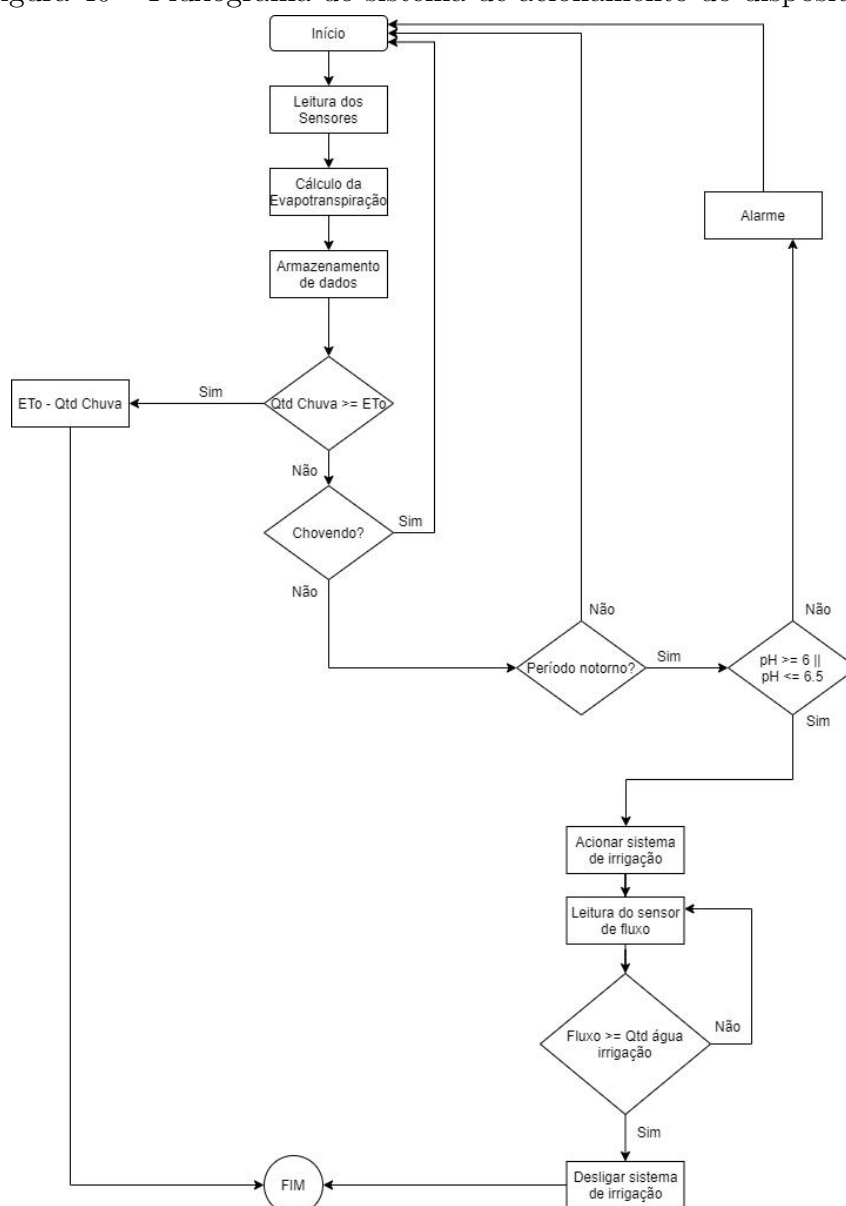
$$X = (1 - [\text{tan}(\varphi)]^2 [\text{tan}(\delta)]^2) \quad (21)$$

Para realizar os cálculos descritos neste roteiro foi implementado um script em Python que realiza consultas dos dados obtidos por meio dos sensores para calcular a evapotranspiração da cultura que está sendo irrigada.

4.1.19 Algoritmo

O algoritmo de acionamento consiste em analisar fatores e decidir quando o sistema de irrigação deve ser acionado baseado na quantidade de água estimada pelas equações de evapotranspiração. Além de estimar a quantidade de água necessária, o algoritmo analisa o pH da água e o horário ideal para irrigar. A figura 40 apresenta o fluxograma do algoritmo de acionamento do sistema de irrigação.

Figura 40 – Fluxograma do sistema de acionamento do dispositivo



Fonte: Autoria própria

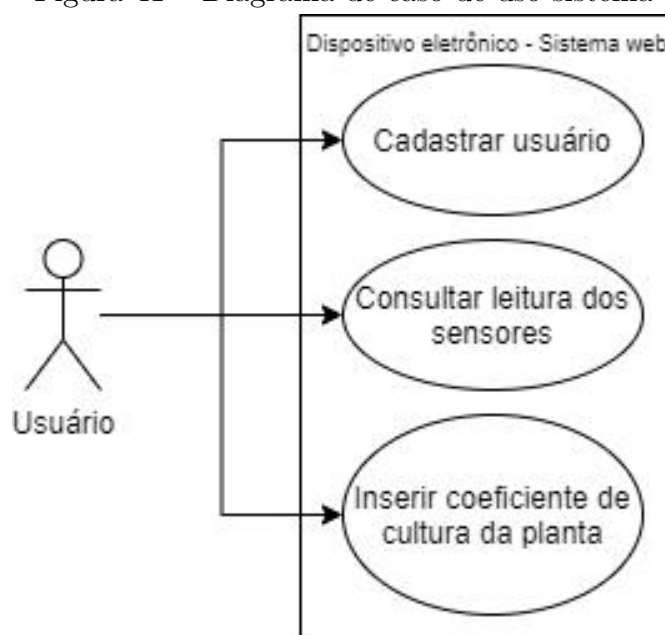
O pH da água considerado ideal para a irrigação varia entre 6 e 6,5 (CLARK, 2020). Para este trabalho, foi considerado esta faixa de valores para avaliar a qualidade da água para irrigar.

A irrigação é feita preferencialmente no período noturno, devido à redução do preço da energia elétrica e as condições climáticas de temperatura e evaporação serem menores em relação ao período diurno.

4.1.20 Software

O software desenvolvido consiste em exibir as leituras dos sensores em uma página web. Os dados são lidos por meio dos scripts implementado para cada sensor, e a cada leitura, os dados são armazenados no banco de dados. Com os dados disponível em uma base centralizada, foi desenvolvido um sistema web que realiza consultas das ultimas leitura do sensor e apresenta os dados em uma página HTML para que o usuário possa monitorar as condições do ambiente e o funcionamento do sistema de irrigação. A figura 41 apresenta o diagrama de caso de uso do sistema web desenvolvido para exibir os dados em páginas web.

Figura 41 – Diagrama de caso de uso sistema web



Fonte: Autoria própria

Por meio da interface web o usuário pode se cadastrar no sistema e consultar os dados que são dos sensores de forma online. O usuário também pode inserir os coeficientes de cultura da planta que está sendo irrigada.

5 ANÁLISE DE RESULTADOS

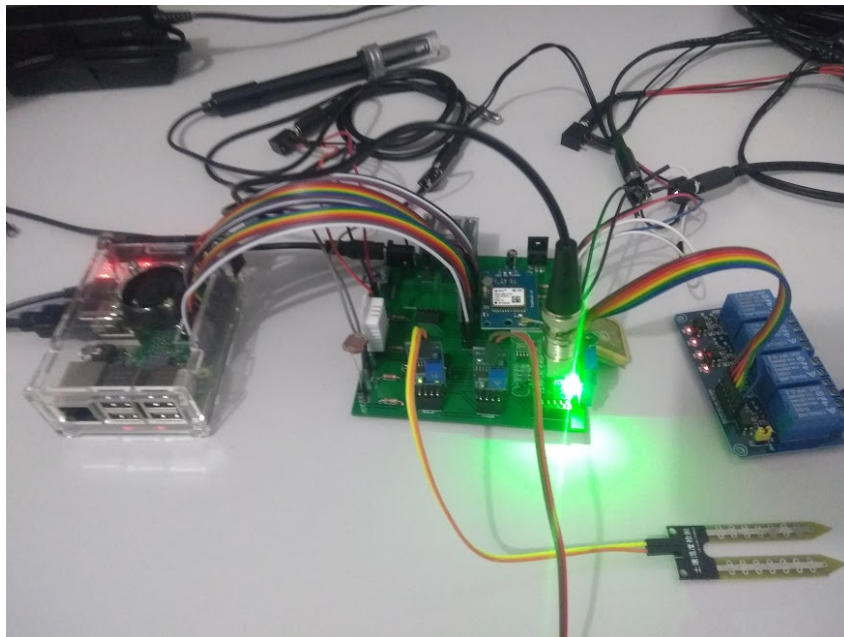
Este capítulo apresenta o desenvolvimento final do protótipo, os resultados obtidos e a participação e aplicação do trabalho em um projeto de extensão chamado Meninas na ciências e engenharia.

Este projeto foi aprovado em um edital de apoio financeiro para trabalhos de conclusão de curso (3/2018 - PROGRAD/PROREC), que concedeu o valor de R\$ 1.000,00 (mil reais) para apoiar os custos do desenvolvimento do protótipo.

5.1 Protótipo - Hardware

O dispositivo completo com os sensores e módulos foi integrado na placa de aquisição de dados e no Raspberry Pi. A figura 43 apresenta a montagem do dispositivo em bancada laboratorial.

Figura 42 – Montagem do dispositivo em bancada



Fonte: Autoria própria

O dispositivo eletrônico foi incorporado em um estojo (caixa com tampa móvel) para proteger todo o sistema eletrônico. Os sensores que são conectados diretamente na placa são inseridos na parte interna do estojo, sendo protegida a placa por uma tampa de acrílico. A figura 43 apresenta a montagem do protótipo finalizado.

Figura 43 – Protótipo finalizado



Fonte: Autoria própria

Os sensores integrados na placa por meio de fios são conectados através de um conector P2. A figura 44 apresenta as conexões dos sensores no protótipo.

Figura 44 – Conexões externa dos sensores no dispositivo



Fonte: Autoria própria

Para os teste do dispositivo foram utilizados uma bomba e duas mangueiras para representar o sistema hidráulico de um sistema de irrigação. A bomba é controlada pelo dispositivo eletrônico que quando acionada move a água do reservatório para o local da planta. Todos os sensores foram integrados para coletar dados e analisar o funcionamento do projeto. A figura 45 apresenta uma prova de conceito da utilização do dispositivo.

Figura 45 – Prova de conceito da utilização do dispositivo

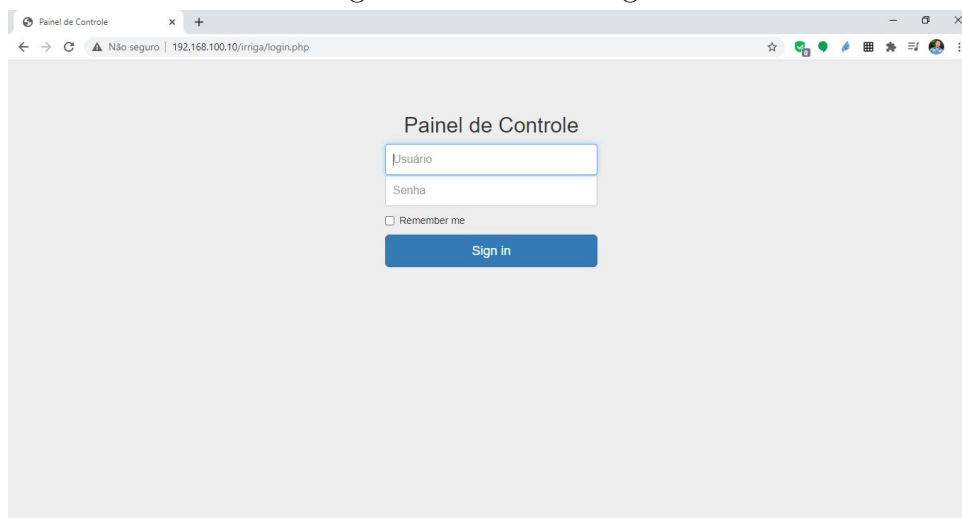


Fonte: Autoria própria

5.2 Protótipo - Software

As telas para visualização de dados de forma online foram desenvolvidas utilizando a linguagem de programação PHP e uma integração com um banco de dados. A figura 46 apresenta a interface de autenticação do usuário com o sistema.

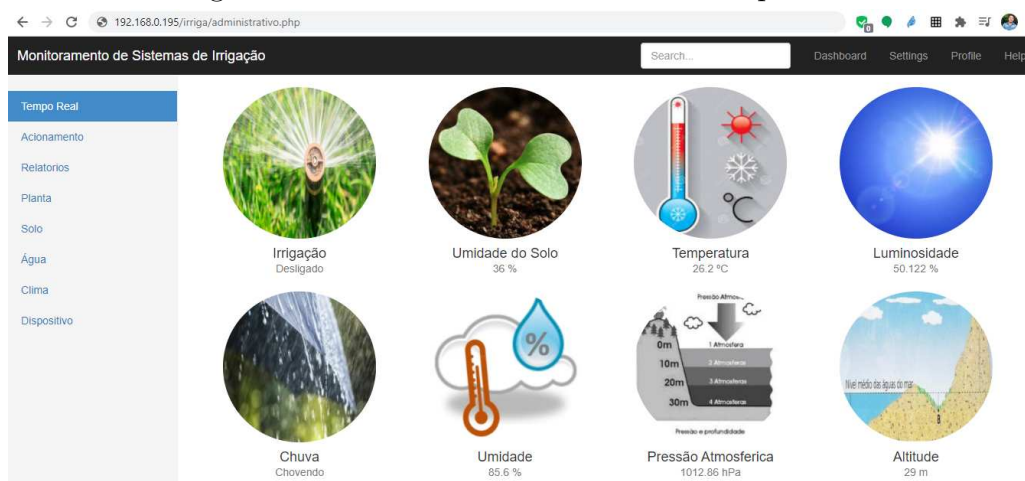
Figura 46 – Tela de login



Fonte: Autoria própria

As leituras do sensor são armazenadas no banco de dados do sistema e são apresentados em página web utilizando linguagem de programação PHP incorporado com HTML e CSS. A figura 47 apresenta a tela do painel de monitoramento do sistema.

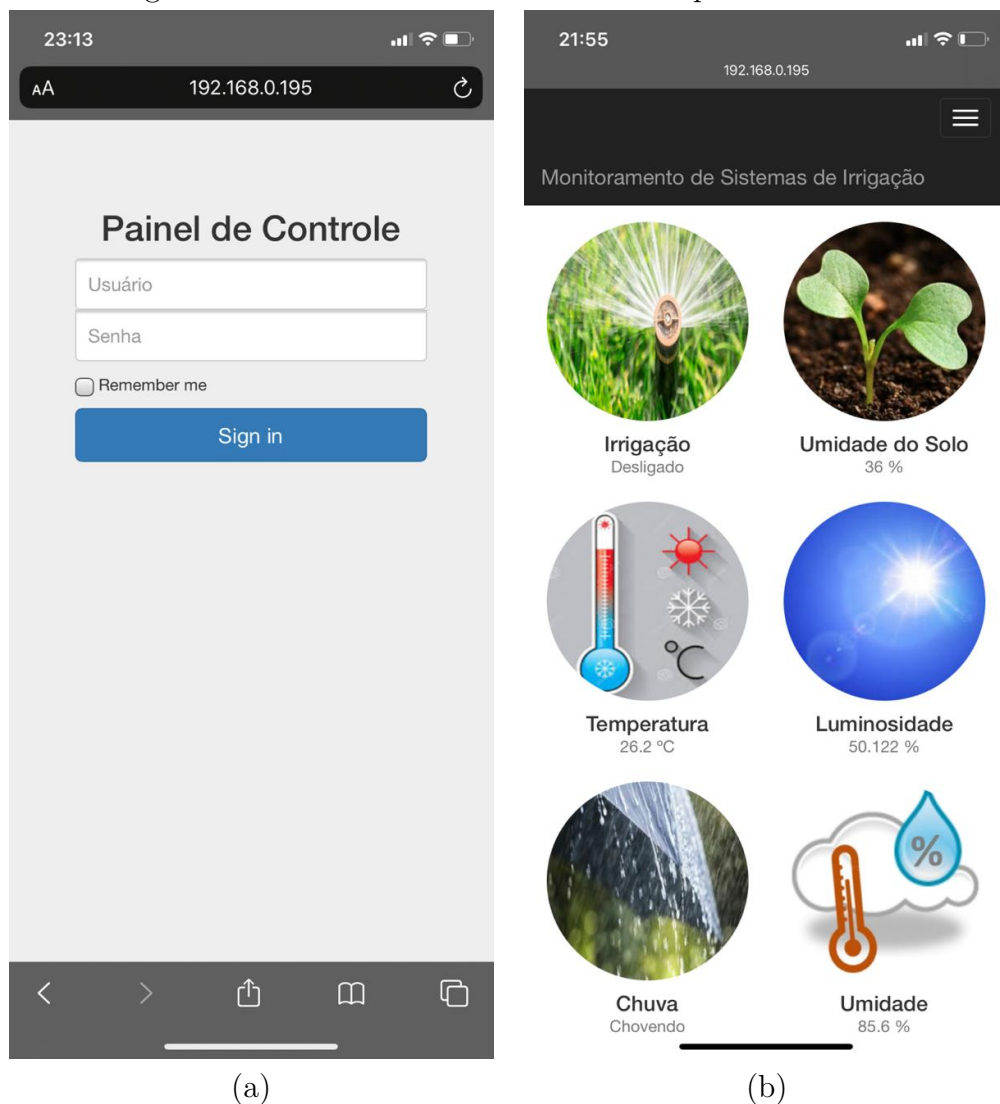
Figura 47 – Tela de monitoramento do dispositivo



Fonte: Autoria própria

A visualização e monitoramento do sistema também é compatível com dispositivos móveis, como smartphones e tablets. A figura 48 apresenta a tela de login (a) e a tela de monitoramento (b) sendo visualizada com um smartphone.

Figura 48 – Tela de monitoramento do dispositivo mobiles



Fonte: Autoria própria

5.3 Dados coletados

Para realizar a prova de conceito da aplicação dos dados obtidos dos sensores nas equações de evapotranspiração de referência e de cultura, foi utilizado a planta *Mentha crispata* (hortelã verde). Os coeficientes de cultura do hortelã são apresentados na tabela 15. Nestes testes foi utilizado o coeficiente do estágio de desenvolvimento e maturação (1,15).

Tabela 15 – Tabela coeficiente de cultura do Hortelã

Cultivo: Mentha crispata (Hortelã)	Kc (mm/dia)
Coeficiente de cultura (Kc) Estágio Inicial:	0,6
Coeficiente de cultura (Kc) Estágio desenvolvimento	1,15
Coeficiente de cultura (Kc) Estágio maturação	1,15

Fonte: (PENMAN-MONTEITH, 2005)

Foram feitas análises diárias no mês de outubro de 2020 no total de 31 amostras, analisando a demanda hídrica de cada dia, considerando a quantidade de chuva que ocorreu no dia. A tabela 16 apresenta os resultados obtidos no cálculo da evapotranspiração, a quantidade de chuva e a demanda de irrigação diária. Por fim a coluna Acionamento indica se o sistema de irrigação precisa ser acionado ou não. Baseado nos dados obtidos e nos cálculos realizado, a demanda hídrica indicada era vital para a sobrevivência e desenvolvimento da planta hortelã.

Tabela 16 – Análise de dados da leitura dos sensores aplicado nas equações de evapotranspiração

Resultados				
Dia	ETpc Cultura (mm/dia)	Qtd Chuva (mm)	Irrigação (L/m ²)	Acionamento
01/10/2020	2,3	0	2,3	Sim
02/10/2020	4,201	0	4,201	Sim
03/10/2020	2,57	8	0	Não
04/10/2020	2,401	10,5	0	Não
05/10/2020	2,722	0	2,722	Sim
06/10/2020	5,211	0	5,211	Sim
07/10/2020	5,301	0	5,301	Sim
08/10/2020	2,81	7,1	0	Não
09/10/2020	2,403	5	0	Não
10/10/2020	5,021	0	5,021	Sim
11/10/2020	2,685	0	2,685	Sim
12/10/2020	5,021	0	5,021	Sim
13/10/2020	5,693	0	5,693	Sim
14/10/2020	3,025	0,2	2,825	Sim
15/10/2020	2,741	0,2	2,541	Sim
16/10/2020	4,301	0	4,301	Sim
17/10/2020	4,205	0	4,205	Sim
18/10/2020	2,755	0	2,755	Sim
19/10/2020	4,108	0,7	3,408	Sim
20/10/2020	5,908	0	5,908	Sim
21/10/2020	5,408	0,22	5,188	Sim
22/10/2020	4,901	0,12	4,781	Sim
23/10/2020	5,011	0,5	4,511	Sim
24/10/2020	4,885	0	4,885	Sim
25/10/2020	5,201	1	4,201	Sim
26/10/2020	5,501	0	5,501	Sim
27/10/2020	6,657	0	6,657	Sim
28/10/2020	6,805	0	6,805	Sim
29/10/2020	5,304	0,43	4,874	Sim
30/10/2020	3,012	13,7	0	Não
31/10/2020	2,403	8	0	Não

5.4 Disseminação do Conhecimento

O presente trabalho teve participação no projeto de extensão "Olimpíadas de Química como Estratégia para Inserção e Manutenção de Meninas nas áreas de Ciências Exatas e suas Tecnologias" (Projeto CNPq/MCTIC Nº 31/2018 - Meninas nas Ciências Exatas, Engenharias e Computação), que visa estimular o ingresso de meninas nas áreas de ciência e engenharia. A participação neste projeto teve como atividade a construção de uma versão simplificada do dispositivo eletrônico e a apresentação das funcionalidades e de como aplicar o sistema em hortas urbanas. A figura 49 apresenta a participação no

projeto de extensão para as alunos integrantes do projeto de extensão.

Figura 49 – Apresentação do dispositivo na oficina de aplicação



Fonte: Autoria própria

A figura 50 apresenta o uso do protótipo simplificado pelas alunas integrantes do projeto. O protótipo montado utilizou o microcontrolador Arduino e os sensores de detecção de chuva, temperatura e umidade relativa do ar, umidade do solo, luminosidade, display LCD, e um módulo relê para controlar uma bomba de aquário e uma válvula solenoide. A aplicação deste protótipo visa automatizar tarefas em hortas urbanas. O objetivo da participação no projeto de extensão foi transmitir para as integrantes do projeto de forma simplificada os passos de desenvolvimento e a aplicação de tecnologias computacionais e eletrônica. Baseado nas apresentações e nas oficinas laboratoriais que o dispositivo foi aplicado, o objetivo principal da aplicação conceitual foi cumprido com sucesso.

Figura 50 – Uso do dispositivo nas oficinas laboratoriais



Fonte: Autoria própria

Durante as oficinas de automação de hortas urbanas as alunas realizaram a aplicação do dispositivo para realizar ensaio com os sensores para identificar a variação das condições do ambiente como umidade do solo, temperatura e chuva. Baseado nesta experiência, as alunas tiveram a oportunidade de adquirir conhecimentos sobre linguagem de programação e processo de automação. Nas atividades práticas das oficinas foi perceptível o engajamento, entusiasmo e interesse das estudantes em executar as atividades para adquirir experiências e conhecimento (KNOPIK et al., 2020).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo central deste trabalho era estimar a quantidade de água necessária para a irrigação, baseada nas equações de evapotranspiração utilizando dados coletados por meio dos sensores eletrônicos. Analisando os resultados do capítulo 5, conclui-se que o dispositivo projetado cumpriu sua principal função, além de realizar o monitoramento das principais grandezas envolvidos no processo irrigação de cultivos vegetativos.

Apesar dos sensores utilizados serem considerados de baixo custo e de baixo desempenho e precisão, foi possível demonstrar a prova de conceito do projeto para uso doméstico e em hortas urbanas, podendo também ser aplicado em produções de grande porte, realizando as devidas adaptações nos sensores e no módulo de acionamento.

A participação neste projeto de extensão proporcionou a disseminação de conhecimento técnico e científico para as estudantes do ensino médio e principalmente oportunidade de motivar e despertar o interesse das alunas nas áreas de ciência e engenharia, desvendando as possibilidades dentro destas áreas no âmbito profissional e acadêmico. A atuação do projeto em atividades de extensão permite a aproximação da universidade com a sociedade, podendo utilizar os conhecimentos adquiridos para contribuir com as necessidades da comunidade.

O desenvolvimento do trabalho estimulou a interação com profissionais de diversas áreas como agronomia, irrigação, eletrônica e computação, proporcionando assim troca de experiências e uma ampla visão de aplicação de tecnologias no agronegócio para solução de problemas, melhorias de processo e automação de tarefas.

Baseado na experiência adquirida no desenvolvimento deste projeto recomenda-se os seguintes trabalhos futuros:

- Analisar demanda hídrica da planta e comparar com a demanda hídrica da região e identificar possíveis melhorias para extrair o máximo potencial da planta dentro das condições locais, utilizando dados coletados e análises de previsões futuras baseado no histórico de dados;
- Desenvolvimento de módulo de relatórios com dashboards e histórico de dados;
- Desenvolvimento de um módulo específico para análise e controle de qualidade da água na irrigação;
- Desenvolvimento de um módulo específico para análise das características do solo utilizando métodos computacionais;
- Implementação de algoritmos de inteligência artificial para identificar padrões que otimizem o uso dos sistemas de irrigação baseado na relação água, solo, planta e clima;
- Implementação de controle PID (Controlador proporcional integral derivativo) nos sistemas hidráulicos utilizados na irrigação.

Referências

- ALVES, S. A matemática do gps. **Revista do Professor de Matemática**, v. 59, n. 1, p. 17–19, 2006. Disponível em: <<http://www.rpm.org.br/cdrpm/59/5.htm>>. Citado na página 32.
- AOSONG. **Temperature and humidity module AM2302 Product Manual**. 2016. <https://enimages.ofweek.com/Uploads/20180525/5b078b2766a59.pdf>. Acessado em Junho/2020. Citado 3 vezes nas páginas 26, 27 e 28.
- ARDUINOPH. **How to use a PH probe and sensor**. 2020. <http://www.arduinosantaefigenia.com.br/wp/wp-content/uploads/2018/10/ph-sensor-ph-4502c.pdf>. Acessado em Novembro/2020. Citado na página 31.
- ARDUOELETRO. **Sensor De Fluxo De Água YF-S201 1-30L/MIN VAZÃO**. 2020. <https://www..com/sensor-medidor-de-vazao-yf-s201-1-30lmin-fluxo>. Acessado em Novembro/2020. Citado na página 30.
- AUTOCORE. **Módulo Sensor de Chuva**. 2020. <https://www.autocorerobotica.com.br/modulo-sensor-de-chuva>. Acessado em Novembro/2020. Citado na página 24.
- AZARMAZEM. **SENSOR DE FLUXO DE ÁGUA YF-S201 1-30L/MIN VAZÃO**. 2020. [https://azarmazem.mercadoshops.com.br/MLB-1179105570-modulo-sensor-de-ph-sonda-saida-bnc-p-arduino-*JM?quantity=1position=1type=itemtracking,d=4675fa5b-11c4-4161-9560-c1a0e87f9f1c*.AcessadoemNovembro/2020.Citadonapágina31](https://azarmazem.mercadoshops.com.br/MLB-1179105570-modulo-sensor-de-ph-sonda-saida-bnc-p-arduino-<i>JM?quantity=1position=1type=itemtracking,d=4675fa5b-11c4-4161-9560-c1a0e87f9f1c</i>.AcessadoemNovembro/2020.Citadonapágina31).
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. [S.l.]: MIT Press, 2006. Citado 5 vezes nas páginas 11, 13, 14, 15 e 16.
- BMP180. **BMP180 Digital pressure sensor**. 2013. <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1132068/BOSCH/BMP180.html>. Acessado em Junho de 2020. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 29.
- BOJORGE, N. **Medição de Pressão**. 2013. <http://www.professores.uff.br/ninoska/wp-content/uploads/sites/57/2018/04/Aula-04AcessadoemJulho2020>. Citado na página 29.
- BORGES, L. E. **Python Para Desenvolvedores**. [S.l.]: Novatec, 2006. Citado na página 37.
- BRAGA, M. B.; CALGARO, M. **Sistema de Produção de Melancia**. 2010. Acessado em Junho/2018. Citado na página 10.
- BUCKET, B. **Raspberry Pi GPIO Programming in C**. 2018. <https://www.filipeflop.com/produto/modulo-rele-5v-4-canais/>. Acessado em Novembro/2020. Citado na página 36.
- CABALLERO, D. C. **How to use a pH sensor with Arduino**. 2017. <https://scidle.com/how-to-use-a-ph-sensor-with-arduino/>. Acessado em Agosto de 2020. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 31.

CASARIN, V. Produção de alimentos - o desafio do século. **International Plant Nutrition Institute**, v. 1, n. 1, p. 1, September 2012. Disponível em: <[http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/28F4927903D4F4B983257A9B0041AFF2/\\$FILE/IAPage24-139.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/28F4927903D4F4B983257A9B0041AFF2/$FILE/IAPage24-139.pdf)>. Citado na página 10.

CLARK, L. **Veja como ajustar o PH da água para uso na agricultura**. 2020. <https://www.irrigacao.net/irrigacao/veja-como-ajustar-o-ph-da-agua-para-uso-na-agricultura/>: :text=ParaAcessado em Setembro/2020. Citado na página 58.

CONCEIÇÃO, M. A. F. **Manejo da irrigação**. 2005. Acessado em Junho/2020. Citado na página 17.

CONCEIÇÃO, M. A. F. Roteiro de cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de penman-monteith-fao. **Circular Técnica**, v. 65, n. 1, p. 1–8, Dezembro 2006. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/541867/roteiro-de-calculo-da-evapotranspiracao-de-referencia-pelo-metodo-de-penman--monteith-fao>>. Citado 3 vezes nas páginas 55, 56 e 57.

CONVERSE, T.; PARK, J. **PHP a Bíblia**. [S.l.]: MIT Press, 2006. Citado na página 37.

COREELETRONICS. **Microchip MCP3004/3008**. 2020. <https://core-electronics.com.au/mcp3008-8-channel-10-bit-adc-with-spi-interface.html>. Acessado em Novembro/2020. Citado na página 22.

CUNHA, L. **Relés e contadores Os relés eletromagnéticos e contadores têm funções semelhantes, mas, com características próprias, se diferem em comportamento e aplicação. Conheça mais sobre eles e suas peculiaridades nesta radiografia**. 2009. Acessado em Agosto/2020. Citado na página 33.

ELETROGATE. **Sensor de Pressão Barométrico BMP180**. 2020. Acessado em Novembro/2020. Citado na página 29.

ELETRONICS, D. **Reed Switch – How it Works**. 2019. <https://www.deeterelectronics.com/reed-switch-how-it-works/>. Acessado em Junho/2020. Citado na página 26.

ELMASRI, R.; NAVATHE, S. B. **Sistemas de Banco de Dados**. [S.l.]: Pearson Education, Inc., 2006. Citado na página 36.

FILIPEFLOP. **Módulo Relé 5V 4 Canais**. 2019. <https://www.filipeflop.com/produto/modulo-rele-5v-4-canais/>. Acessado em Novembro/2020. Citado na página 34.

FILIPEFLOP. **Sensor de Umidade do Solo Higrômetro**. 2020. <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-umidade-do-solo-higrometro/>. Acessado em Novembro/2020. Citado na página 23.

FILIPEFLOP. **Sensor de Umidade e Temperatura AM2302 DHT22**. 2020. Acessado em Novembro/2020. Citado na página 27.

FINHOLDT, G. et al. Desenvolvimento de uma estação meteorológica automática para manejo de irrigação. **REVENG**, v. 1, n. 1, p. 7, December 2011. Disponível em: <<https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/289/217>>. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 26.

GARCIA, V. G. et al. Monitoramento inteligente de consumo de Água em chuveiros para o uso racional dos recursos hídricos nas residências. **17º Congresso Nacional de Iniciação Científica**, v. 1, n. 1, p. 1, September 2017. Disponível em: <[http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/28F4927903D4F4B983257A9B0041AFF2/\\$FILE/IAPage24-139.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/28F4927903D4F4B983257A9B0041AFF2/$FILE/IAPage24-139.pdf)>. Citado na página 30.

HUINFINITO. **Módulo GPS GY-NEO6MV2**. 2020. <https://www.huinfinito.com.br/comunicacao-sem-fio-wireless/673-modulo-gps-gy-neo6mv2.html>. Acessado em Novembro/2020. Citado na página 33.

KNOPIK, A. P. et al. Meninas nas ciências: projeto que inspira e instiga a participação feminina na construção e disseminação da ciência e suas tecnologias. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 71058–71073, 2020. Citado na página 68.

LIMA, V. G. S. et al. **Análises de Sistemas Operacionais Linux usando Plataforma Embarcada**. 2015. Acessado em Agosto/2020. Citado na página 35.

LUNICOM. **Rele 5 Pinos 6v 12amp Na/nf**. 2019. https://www.lojalunicom.com.br/busca-busca_produtos?nome_produto = preco = marca = frete_gratis = 0lançamento = 0categoria = ordenacao = .AcessadoemNovembro/2020.Citadonapágina34.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: Princípios e Métodos**. [S.l.]: MIT Press, 2009. Citado 6 vezes nas páginas 10, 11, 13, 14, 15 e 16.

MAXIMINTEGRATED. **Temperature and humidity module AM2302 Product Manual**. 2016. <https://enimages.ofweek.com/Uploads/20180525/5b078b2766a59.pdf>. Acessado em Junho/2020. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 28.

MICROCHIP. **Microchip MCP3004/3008**. 2007. <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/MCP3008.pdf>. Acessado em Junho/2020. Citado na página 22.

MUNDOPROJETADO. **LDR – O que é e como funciona**. 2020. <http://mundoprojetado.com.br/ldr-o-que-e-e-como-funciona/>. Acessado em Novembro/2020. Citado na página 25.

MURTA, G. **Guia do Sensor de umidade do solo e Sensor de chuva**. 2019. <https://blog.eletrogate.com/guia-do-sensor-de-umidade-do-solo-e-sensor-de-chuva/>. Acessado em Junho/2020. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 23.

MURTA, G. **Sensores DHT11 e DHT22: Guia básico dos sensores de umidade e temperatura**. 2019. <https://www..com/produto/sensor-de-umidade-e-temperatura-am2302-dht22/>. Acessado em Junho/2020. Citado na página 27.

NAGARAJAN, G.; MINU, R. I. Wireless soil monitoring sensor for sprinkler irrigation automation system. **International Plant Nutrition Institute**, v. 1, n. 1, p. 1, September 2012. Disponível em: <<https://link-springer-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/content/pdf/10.1007%2Fs11277-017-4948-y.pdf>>. Citado na página 11.

PATSKO, L. F. **Tutorial Controle de Relés**. Instrumentação Eletrônica: Maxwell Bohr, 2006. Citado na página 33.

PAZ, V. P. da S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 1, n. 1, p. 1, September 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662000000300025>. Citado na página 11.

PAZETO, M. **Lavoura high tech: A importância do uso da tecnologia no agronegócio**. 2017. [Http://computerworld.com.br/lavoura-high-tech-importancia-do-uso-da-tecnologia-no-agronegocio](http://computerworld.com.br/lavoura-high-tech-importancia-do-uso-da-tecnologia-no-agronegocio). Acessado em Abril de 2019. Citado na página 10.

PENMAN-MONTEITH. **Tabela: Coeficientes de cultivo (Kc) para climas subúmidos para uso com a evapotranspiração de referência de Penman-Monteith (FAO, 1998)**. 2005. [Http://javali.fcav.unesp.br/sgcd/Home/estacao_agro/Tabela_Kc.pdf](http://javali.fcav.unesp.br/sgcd/Home/estacao_agro/Tabela_Kc.pdf). Acessado em Outubro de 2020. Citado na página 65.

PHOTORESISTOR. **GL105 Series Photoresistor**. 2016. [Https://www.futurlec.com/Datasheet/PHOTOCELL10-14.pdf](https://www.futurlec.com/Datasheet/PHOTOCELL10-14.pdf). Acessado em Junho de 2020. Citado na página 25.

RASPBERRY. **Raspberry Pi Foundation**. 2020. Acessado em Junho de 2020. Citado 3 vezes nas páginas 18, 34 e 35.

SAATH, K. C. d. O.; FACHINELLO, A. L. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, SciELO Brasil, v. 56, n. 2, p. 195–212, 2018. Citado na página 10.

SANTIAGO, G. L.; VARELLA, F. K. de O. M.; VALE, M. G. Medição de radiação solar global utilizando sensor ldr. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 1, n. 1, p. 1, December 2015. Disponível em: <<https://revistas2.uepg.br/index.php/ret/article/view/11382/209209209348>>. Citado na página 24.

SCHNEIDER, A. de O.; ANDRADE, F. S. de. **Sistemas Embarcados - Hardware e Firmware**. [S.l.]: Saraiva, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 41.

SHOPTB. **Papel Medidor Indicador Ph Água Aquário Total 400 Tiras 5 Cartelas**. 2020. [Https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1261478643-papel-medidor-indicador-ph-agua-aquario-total-400-tiras-5-cartelas-jm](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1261478643-papel-medidor-indicador-ph-agua-aquario-total-400-tiras-5-cartelas-jm). Acessado em Novembro de 2020. Citado na página 31.

SILVA, M. S. **Criando Sites com HTML - Sites de Alta qualidade com HTML e CSS**. [S.l.]: Novatec, 2006. Citado na página 37.

SONGLE. **Songle Relay**. 2019. [Https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_Rele5V.pdf](https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_Rele5V.pdf). Aces

SOUSA, V. F. de et al. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Instrumentação Eletrônica: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. Citado na página 11.

STRAUB, M. G. **Pluviômetro Arduino como Sensor de Chuva na Estação Meteorológica**. 2016. [Https://www.usinainfo.com.br/blog/pluviometro-arduino-como-sensor-de-chuva-na-estacao-meteorologica/](https://www.usinainfo.com.br/blog/pluviometro-arduino-como-sensor-de-chuva-na-estacao-meteorologica/). Acessado em Julho de 2020. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 32.

THOMAZINI, D.; ALBURQUERQUE, P. U. B. de. **Sensores Industriais - Fundamentos e Aplicações**. [S.l.]: Saraiva, 2011. Citado na página 17.

- TOWNSEND, K. **Using the BMP085/180 with Raspberry Pi or Beaglebone Black**. 2012. <https://learn.adafruit.com/using-the-bmp085-with-raspberry-pi/using-the-adafruit-bmp-python-library>. Acessado em Setembro/2020. Citado na página 48.
- UBLOX. **NEO-6 u-blox 6 GPS Modules Data Sheet**. 2011. <https://www.huinfinito.com.br/comunicacao-sem-fio-wireless/673-modulo-gps-gy-neo6mv2.html>. Acessado em Novembro/2020. Citado na página 33.
- USINAINFO. **Pluviômetro de Bâscula Digital Arduino para Estação Meteorológica - PB10**. 2020. <https://www.usinainfo.com.br/estacao-meteorologica-arduino/pluviometro-de-bascula-digital-arduino-para-estacao-meteorologica-pb10-4637.html>. Acessado em Novembro/2020. Citado na página 32.
- WENDLING, M. **Sensores**. Guarantiguetá SP: McGraw-Hill, 2010. Citado na página 18.
- WRFCOMERCIAL. **Anemômetro Digital Mini P/ Arduino Nodemcu Pic**. 2020. <https://wrfcomercial.mercadoshops.com.br/MLB-856504435-anemmetro-digital-mini-p-arduino-nodemcu-pic-frete-gratis-JM?quantity=1>. Acessado em Novembro/2020. Citado na página 26.
- WRFCOMERCIAL. **Pluviometro digital**. 2020. Acessado em Novembro/2020. Citado na página 32.
- YF-201. **Datasheet YF-201**. 2013. <https://www.hobbytronics.co.uk/datasheets/sensors/YF-S201.pdf>. Acessado em Agosto de 2020. Citado na página 30.
- ZAMBENEDETTI, L.; CARISSIMI, A. da S.; ROCHOL, J. **Redes de Computadores**. [S.l.]: MIT Press, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 19.