

INSTITUTO FEDERAL

Paraíba

Campus João Pessoa

CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

JONAS SARAIVA DA SILVA

**SISTEMA MONITORADO DE GOTEJAMENTO
AUTOMATIZADO NA CULTURA DA BATATA
DOCE COM SISTEMA FOTOVOLTAICO *OFF*
GRID PARA ATENDER A DEMANDA DA
IRRIGAÇÃO**

JOÃO PESSOA - PB

2023

JONAS SARAIVA DA SILVA

SISTEMA MONITORADO DE GOTEJAMENTO AUTOMATIZADO NA CULTURA
DA BATATA DOCE COM SISTEMA FOTOVOLTAICO *OFF GRID* PARA
ATENDER A DEMANDA DA IRRIGAÇÃO

*Trabalho de conclusão de curso submetido à
Coordenação do Curso Superior de Bacharelado
em Engenharia Elétrica do Instituto Federal da
Paraíba como parte dos requisitos necessários
para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Elétrica.*

Orientador: Cristóvão Macio de Oliveira Lima
Filho, Me.

JOÃO PESSOA - PB
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Nilo Peçanha do IFPB, *campus* João Pessoa

S586s Silva, Jonas Saraiva da.

Sistema de monitoramento de gotejamento automatizado na cultura da batata doce com sistema fotovoltaico *off grid* para atender a demanda da irrigação / Jonas Saraiva da Silva. - 2023.

98 f. : il.

TCC (Graduação - Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Instituto Federal de Educação da Paraíba / Unidade Acadêmica de Processos Industriais, 2023.

Orientação : Prof^o Me. Cristóvão Macio de Oliveira Lima Filho.

1. Água – sistema de irrigação por gotejamento. 2. Agricultura – cultura da batata-doce. 3. Automação. 4. Monitoramento de água. 5. Energia solar. I. Título.

CDU 626.81/.84 (043)


Lucrecia Camilo de Lima
Bibliotecária - CRB 15/132

JONAS SARAIVA DA SILVA


SISTEMA MONITORADO DE GOTEJAMENTO AUTOMATIZADO NA CULTURA
DA BATATA DOCE COM SISTEMA FOTOVOLTAICO *OFF GRID* PARA
ATENDER A DEMANDA DA IRRIGAÇÃO

*Trabalho de conclusão de curso submetido à
Coordenação do Curso Superior de Bacharelado
em Engenharia Elétrica do Instituto Federal da
Paraíba como parte dos requisitos necessários
para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Elétrica.*


Trabalho Aprovado em 13/03/2023 pela banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 HELDER ROLIM FLORENTINO
Data: 03/07/2023 17:44:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Helder Rolim Florentino, Dr.
Examinador, IFPB

Documento assinado digitalmente
 CLEUMAR DA SILVA MOREIRA
Data: 29/06/2023 15:01:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Cleumar da Silva Moreira, Dr.
Examinador, IFPB

Documento assinado digitalmente
 CRISTOVAO MACIO DE OLIVEIRA LIMA FILHO
Data: 29/06/2023 15:04:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Cristóvão Macio de Oliveira Lima Filho, Me.
Orientador, IFPB

JOÃO PESSOA - PB
2023

*Dedico este trabalho aos meus pais,
Maria Rita de Vasconcelos Saraiva e Renival
Paulo da Silva. Sem eles nada seria possível.*

AGRADECIMENTOS

A minha mãe e ao meu pai, que são o meu porto seguro na terra, pois ninguém fez por mim o que vocês fizeram

À Camila Ellen pela motivação, pelo apoio ao longo dos anos e por todo o amor.

Ao meu orientador, Prof. Ms. Cristóvão Macio de Oliveira Lima Filho, que além das contribuições e correções, fornece encorajamento.

Aos meus amigos de curso, Guilherme Leite, Pedro Soares, Rafael do Ramo, Sallatiel Fernandes e Yuri da Fontoura, que viveram toda essa longa jornada comigo.

RESUMO

A partir da globalização e intensificação das mídias é possível acompanhar claramente o processo de escassez da água em todo o planeta, o que antes se caracterizava mais em áreas de clima árido. A administração ineficiente da água tem sido uma das grandes causas dessa escassez, principalmente nas atividades agrícolas de todo o mundo. E diante da preocupação hídrica que pode atingir regiões localizadas do nosso país, este trabalho teve como objetivo desenvolver um modelo de irrigação automatizado para diminuir a quantidade de água utilizada na agricultura, e isto foi possível por meio do monitoramento e automatização da cultura da batata-doce, utilizando o sistema de gotejamento. Também foi dimensionado e implementado um sistema fotovoltaico *off grid* (Não conectado à rede elétrica da concessionária) para alimentar todo o conjunto de forma sustentável. Para isso, foi necessário buscar informações inerentes à área de conhecimento envolvida, e a partir daí foi iniciada a metodologia do trabalho, que passou pela construção das leiras, elevação da caixa d'água, montagem do painel solar e entre outros dispositivos. Ao longo desse trabalho foi observado que o monitoramento automatizado do sistema de irrigação por gotejamento, tanto evita o desperdício de água, como favorece a plantação e ao solo no tocante ao manejo da cultura da batata-doce. Diante dos resultados, conclui-se que o modelo de irrigação implantado demonstrou ser eficiente quando comparado ao sistema convencional de irrigação.

Palavras-chave: Água. Agricultura. Automação. Monitoramento. Solar.

ABSTRACT

From globalization and the intensification of the media, it is possible to clearly follow the process of water scarcity across the planet, which was previously characterized more in areas of arid climate. Inefficient water management has been one of the major causes of this shortage, especially in agricultural activities around the world. And given the water concern that can affect localized regions of our country, this work aimed to develop an automated irrigation model to reduce the amount of water used in agriculture, and this was possible through the monitoring and automation of the sweet potato crop. using the drip system. An off grid photovoltaic system (not connected to the concessionaire's electrical grid) was also dimensioned and implemented to supply the entire set in a sustainable way. For this, it was necessary to seek information inherent to the area of knowledge involved, and from there the methodology of the work was started, which went through the construction of windrows, elevation of the water tank, assembly of the solar panel and among other devices. Throughout this work, it was observed that the automated monitoring of the drip irrigation system both avoids wasting water and favors the plantation and the soil regarding the management of the sweet potato crop. In view of the results, it is concluded that the irrigation model implemented proved to be efficient when compared to the conventional irrigation system.

Keywords: Water. Agriculture. Automation. Monitoring. Solar.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Sistema de irrigação por gotejamento.....	14
Figura 2 – Batata-doce (<i>Impomea Batatas</i>).	15
Figura 3 – Exemplo de bateria estacionaria de chumbo-ácido.....	17
Figura 4 – Painéis solares de 100Wp.....	18
Figura 5 – Módulo DOIT Esp32 DevKit.....	19
Figura 6 – Sensor de temperatura DS18B20.	20
Figura 7 – Higrômetro HD-38.....	21
Figura 8 – Sensores de vazão de água Yf-s201.....	22
Figura 9 – Micro chave boia ZP5.....	22
Figura 10 – Sensor LDR.....	23
Figura 11 – Válvula solenoide.....	24
Figura 12 – Controle de malha fechada.....	24
Figura 13 – Tela inicial do <i>EasyEDA</i>	25
Figura 14 – Tela de desenvolvimento de aplicativos do <i>App inventor</i>	26
Figura 15 – Tela inicial do site da plataforma <i>ThingSpeak</i>	27
Figura 16 – Circuito eletrônico criado para o projeto.	28
Figura 17 – Circuito de entrada da alimentação.....	29
Figura 18 – Circuito de entrada na PCB.....	30
Figura 19 – Circuito da primeira etapa de regulagem de tensão.	31
Figura 20 – Circuito da segunda etapa de regulagem de tensão.....	32
Figura 21 – Circuito regulador de tensão na PCB.....	33
Figura 22 – Esquemático do módulo DOIT Esp32.	33
Figura 23 – Circuito TIP31C.....	34
Figura 24 – Esquemático de acionamento da solenóide.....	35
Figura 25 – Circuito de acionamento da solenoide na PCB.....	35
Figura 26 –Esquemático dos pinos dos sensores de umidade.	36
Figura 27 –Sensores de umidade na PCB.....	36
Figura 28 – Esquemático dos pinos dos sensores DS18B20.....	36
Figura 29 – Esquemático dos pinos dos sensores de fluxo.....	37
Figura 30 – Esquemático dos pinos dos sensores de nível.....	37
Figura 31 – Esquemático dos pinos do sensor LDR.....	38
Figura 32 –Representação 3D da PCB.....	38

Figura 33 – Trilhas da PCB	39
Figura 34 – Impressão em papel fotográfico.....	39
Figura 35 –Placa de fenolite virgem.....	40
Figura 36 – Placa de fenolite com as trilhas demarcadas e cobertas.....	40
Figura 37 – Placa de fenolite corroída.....	41
Figura 38 – PCB com parte dos componentes.....	41
Figura 39 – Placa sendo envernizada.....	42
Figura 40 – PCB finalizada e em funcionamento.....	42
Figura 41 – Tela inicial do aplicativo no <i>APPinventor</i>	43
Figura 42 – Tela de acompanhamento dos parâmetros do aplicativo no <i>APPinventor</i>	43
Figura 43 – Tela para ajustes dos parâmetros desejados do aplicativo no <i>APPinventor</i>	44
Figura 44 – Tela para ajustes dos blocos no <i>APPinventor</i>	44
Figura 45 – Fields do projeto no <i>Thingspeak</i>	45
Figura 46 – Fields da tela de controle do <i>Thingspeak</i>	46
Figura 47 – Fields dos sensores no <i>Thingspeak</i>	46
Figura 48 – Função para conexão da ESP32 a WIFI.....	47
Figura 49 – Função <i>void tingspeak</i> para armazenamento dos dados.....	48
Figura 50 – Função <i>Watchdog</i>	49
Figura 51 – Estado inicial do terreno.....	53
Figura 52 – Estado após a limpeza.....	53
Figura 53 – Resultado das leiras.....	54
Figura 54 – Leiras com 50 ramas plantadas.....	54
Figura 55 – Estrutura vista de costa.....	55
Figura 56 – Estrutura vista de frente.....	55
Figura 57 – Estrutura vista de costa.....	56
Figura 58 – Estrutura vista lateral.....	56
Figura 59 – Interior da cabana.....	57
Figura 60 – Cabana em perfil.....	57
Figura 61 – Diagrama do sistema solar.....	57
Figura 62 – Aplicação do eletroduto.....	58
Figura 63 – Eletroduto finalizado.....	58
Figura 64 – Conexão série das sondas.....	58
Figura 65 – Forma como as sondas foram ligadas.....	58
Figura 66 – Reservatório.....	59

Figura 67 – Filtro.....	59
Figura 68 – Seção com válvula e registro.....	60
Figura 69 – Bomba de 1CV utilizada no projeto.....	60
Figura 70 – Bomba de 1CV ao lado do poço.	61
Figura 71 – Circuito de acionamento da bomba de 1 CV.	61
Figura 72 – Instalação do sistema de irrigação.	62
Figura 73 – Sistema de irrigação durante o processo.	63
Figura 74 – Plantação após os 30 dias.	64
Figura 75 – Plantação após 45 dias.	64
Figura 76 – Plantação após 60 dias.	65
Figura 77 – Plantação após 90 dias.	65
Figura 78 – Plantação após 105 dias.	66
Figura 79 – Tubérculo em desenvolvimento.	67
Figura 80 – Resultado da pesagem das leiras.	67
Figura 81 – O melhor resultado obtido.....	68
Figura 82 – Tubérculos obtidos.....	68
Figura 83 – Medição da tensão dos painéis.....	69
Figura 84 – Tensão de circuito aberto.	70
Figura 85 – Tensão da bateria.....	70
Figura 86 – Corrente do sistema sem a solenoide.	70
Figura 87 – Corrente do sistema com a solenoide.....	70
Figura 88 – Medição da tensão dos reguladores, LM7812, LM7805 e LM1117-3.3V.....	71
Figura 89 – Gráficos da umidade das leiras 1, 2 e 3 durante 24 horas.....	72
Figura 90 – Gráficos da temperatura das leiras 1, 2 e 3 durante 24 horas.....	73
Figura 91 – Tela de ajustes.....	74
Figura 92 – Tela de umidade e temperatura.	74
Figura 93 – Barra lateral.....	75
Figura 94 – Tela principal.	75
Figura 95 – Tela de hidráulica.....	75
Figura 96 – Tela sobre.....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Potência dos componentes do sistema e período médio de funcionamento.	49
Tabela 2 – Calculo da energia necessária diariamente.	50
Tabela 3 – Resultado final das leiras.	68
Tabela 4 – Resultado das medições realizadas no local.	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADC	Conversor analógico-digital
App	Aplicativo
CEP	Código de Endereçamento Postal
COIL	Bobina
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
Field	Área
GPIO	<i>General-Purpose Input-Output</i>
	Entrada-Saída de uso geral
I2C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
	Circuito Interintegrado
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IOT	<i>Internet of Things</i>
	Internet das coisas
LDR	<i>Light Dependent Resistor</i>
	Resistor dependente de luz
LED	<i>Light-emitting diode</i>
	Diodo emissor de luz
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
	Instituto de Tecnologia de Massachusetts
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i>
	Rastreamento do ponto de máxima potência
NA	Normalmente aberto
NC	Normalmente fechado
NOCT	<i>Nominal Operating Cell Temperature</i>
	Temperatura Nominal de Operação da Célula
<i>Off Grid</i>	Sistemas fotovoltaicos que não estão ligados à rede pública de distribuição
<i>On Grid</i>	Sistemas fotovoltaicos que estão ligados à rede pública de distribuição
ONU	Organização das Nações Unidas

PCB	<i>Printed circuit board</i> Placa de circuito impresso
<i>Pull Down</i>	Puxar para baixo
<i>Pull Up</i>	Puxar para cima
PVC	Policloreto de vinila
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i> Modulação por largura de pulso
SCT	<i>Standard Test Conditions</i> Condições de teste padrão
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i> Interface Periférica Serial
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver / Transmitter</i> Receptor / Transmissor Assíncrono Universal
<i>Watchdog</i>	Cão de guarda

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Corrente
AC	Corrente alternada
Ah	Ampère-hora
b	Bit
B	Bytes
°C	Temperatura
Ca	Cálcio
$C_{bateria}$	Capacidade da bateria
cm	Centímetro
CV	Cavalo-vapor
DC	Corrente contínua
E_A	Energia armazenada
E_c	Energia consumida
E_p	Energia produzida pelo módulo diariamente
F	Capacitância
$F_e CI3$	Percloroeto de Ferro
g	Gramas
GND	Referência de tensão
h	Horas
H_S	Horas diárias de insolação
Hz	Frequência
K	Potássio
Kg/ha	Quilograma por hectare
Km	Quilômetro
L/hora,	Litros por Hora
m	Metro
mca	Metros de coluna d'água
Mg	Magnésio
mm	Milímetro

MPa	Pressão
ms	Milissegundo
<i>N</i>	Nitrogênio
<i>P</i>	Fósforo
<i>P_D</i>	Profundidade de descarga
T	Tempo de uso em horas
V	Tensão
<i>V_B</i>	Tensão do banco de baterias
VCC	Alimentação
VDC	<i>Voltage Direct Current</i> Tensão em corrente contínua
W	Potência
Wh	Watts-horas
Ω	Resistência

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Motivação	12
1.2	Objetivo geral	13
1.3	Objetivos específicos.....	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1	Sistema de irrigação por gotejamento	14
2.2	Batata-doce (Ipomoea Batatas)	15
2.3	Energia solar <i>Off Grid</i>	16
2.4	Microcontrolador ESP32	18
2.5	Sensores	19
2.5.1	Sensor de temperatura DS18B20	19
2.5.2	Sensor de umidade HD-38	20
2.5.3	Sensor de vazão de água Yf-s201.....	21
2.5.4	Sensor de nível	22
2.5.5	Sensor de luminosidade.....	23
2.6	Atuador válvula solenoide	23
2.7	Sistemas de Controle em malha fechada	24
2.8	Softwares	25
2.8.1	<i>EasyEAD</i>	25
2.8.2	<i>App inventor</i>	25
2.8.3	<i>ThingSpeak</i>	26
3	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	28
3.1	Desenvolvimento da parte eletrônica, elétrica e comunicação.....	28
3.1.1	Circuito e PCB.....	28
3.1.2	Confecção da placa de circuito impresso	38
3.1.3	Desenvolvimento do aplicativo	43
3.1.4	Comunicação do aplicativo com o <i>Thingspeak</i>	45
3.1.5	Programação	47
3.1.6	Dimensionamento do sistema fotovoltaico	49
3.2	Montagem no local.....	52
3.2.1	Limpeza do local e construção das leiras	52
3.2.2	Reservatório de água e painéis solares	55

3.2.3	Passagem dos cabos e montagem dos equipamentos no local	56
3.2.4	Disposição dos sensores	58
3.2.5	Hidráulica	59
3.2.6	Irrigação.....	62
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
4.1	Irrigação.....	63
4.2	Colheita	66
4.3	Energia solar e eletrônica	69
4.4	Dados dos sensores.....	71
4.5	Aplicativo	73
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
	REFERÊNCIAS	78
	APÊNDICE A – PROGRAMAÇÃO DA ESP32	81
	APÊNDICE B – CIRCUITO ELETRÔNICO	87
	APÊNDICE C – USO DE CADA PINO NO MÓDULO DOIT ESP32 DEVKIT	88
	APÊNDICE D – DIAGRAMA DA PARTE ELÉTRICA E HIDRÁULICA	89
	APÊNDICE E – INCERTEZA DO MULTÍMETRO DIGITAL RM102 DA RICHMETERS.....	90
	APÊNDICE F – DIAGRAMA DE ALIMENTAÇÃO, SINAL E CONTROLE.....	91

1 INTRODUÇÃO

A água é um elemento de extrema necessidade para a manutenção da vida no planeta terra, tendo sua importância numa perspectiva macro e microscópica, pois é um bem universal e crucial no equilíbrio do ecossistema. Apesar de seus aspectos físicos, químicos e bacteriológicos, no âmbito quantitativo e qualitativo serem finitos, a natureza faz essa substância ser devolvida à humanidade por meio do ciclo hidrológico.

O passar do século XX para o XXI foi marcado por um crescimento populacional incomum. “A população mundial era de 2,5 bilhões de habitantes em 1950, passou para 7,5 bilhões em 2017 e deve atingir 11,2 bilhões em 2100, segundo a projeção média da Divisão de População da ONU” (EUSTÁQUIO, 2018). Diante desse contexto, surge a preocupação do uso da energia elétrica nas zonas rurais e da possível falta de água para agricultura irrigada na produção de alimentos, para atender a demanda populacional emergente.

Além disso, a grande dependência do Brasil por energia da matriz hidrelétrica, que de acordo com anuário estatístico de energia elétrica 2022, corresponde a 60,2% da capacidade instalada do Brasil (EPE, 2022), e os grandes períodos sem chuvas, em algumas regiões, fez emergir no mercado outros tipos de energias renováveis, dentre elas a solar que em 2021, assim como em 2020, ficou as plantas de geração fotovoltaicas com o maior destaque em termos de crescimento no país, segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (2022).

Atualmente com o aumento do consumo de energia por parte da classe rural que foi de 6% no ano de 2020 para 2021 (EPE, 2022, p. 4), a energia solar se mostrou bastante eficaz, sendo utilizada em várias etapas dos setores agrícolas. Um desses setores é o de irrigação o qual o sistema é dimensionado para fornecer potência a uma bomba elétrica para o bombeamento da água para irrigação.

Acresce também, que a quantidade de água usada na agricultura é altíssima, pois segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), cerca de 70% das reservas globais de água doce são para fins agrícolas utilizando modelos de irrigação de maior consumo. No sistema de irrigação tradicional, parte dessa água é desperdiçada antes de ser absorvida pelas raízes das plantas, pois uma parcela fica nas folhagens e evapora, outra cai em áreas do solo não cultivadas, o que leva a justificativa desse alto consumo de água. Outro problema causado pelo sistema de irrigação convencional que pode ser citado é a lixiviação, que empobrece o solo e causa a morte dos vegetais.

Dessa forma, considerando toda essa problemática, foi elaborada uma proposta para minimizar o desperdício e ao mesmo tempo otimizar o volume de água nessa atividade agrícola, garantindo, contudo, uma maior eficiência na produção. Para isso foi desenvolvido um modelo de monitoramento automatizado para a cultura da batata-doce utilizando o sistema de gotejamento, vinculado a um conjunto fotovoltaico para alimentar todos os componentes.

Esse trabalho de conclusão de curso foi baseado no projeto de pesquisa denominado: “Sistema monitorado de gotejamento e fertirrigação automatizados na cultura de batata doce”, Edital: Chamada 01/2020 – Interconecta, dos autores: Jonas Saraiva da Silva, Rafael do Ramo Pereira, Yuri da Fontoura Nascimento e Pedro Soares Costa.

1.1 MOTIVAÇÃO

É sabido que a água tem sua importância na sustentação da vida, porém seu uso indiscriminado somado ao desperdício contribui para a escassez hídrica que permeia por todo o mundo, este fato ocorre intensamente tanto em meios urbanos quanto em meios rurais. “Estima-se que de toda a água captada para fins de irrigação, não mais que 50% são utilizados pelas plantas efetivamente” (CHRISTOFIDIS, 2004).

Nos sistemas de irrigação por superfície, as perdas são bem maiores. Segundo Bernardo, Soares e Mantovani (2008), tal problema ocorre em razão de três fatores principais: a pequena utilização de critérios técnicos de manejo de água na maioria das áreas irrigadas; informações escassas e incompletas de parâmetros para manejo de água; uso de sistemas de irrigação com baixa eficiência de aplicação de água.

A adoção da tecnologia à irrigação e um bom manejo da água traz várias vantagens ao produtor e à cultura, tanto do ponto de vista econômico quanto do ambiental, visto que haverá uma maior economia de água, a produção terá uma maior qualidade e os custos com energia e agroquímicos serão amenizados.

A inovação se trata da automatização do processo por meio de um sistema digital, que reduz o trabalho demandado ao proprietário da plantação. Busca, assim, uma maior produtividade do cultivo com o uso de micro controladores. O protótipo do projeto envolveu uma pequena plantação de batata-doce, que levou em conta o momento adequado para a irrigação da plantação, além do monitoramento de fatores como temperatura e umidade do solo somado à implementação do uso de energia solar.

1.2 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um protótipo de monitoramento automatizado acoplado à energia solar para a cultura da batata-doce utilizando o sistema de gotejamento capaz de diminuir a quantidade de água nessa atividade.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

São objetivos específicos deste trabalho:

- I. Levantar dados referentes ao manejo da cultura da batata-doce, levando em consideração os fatores que agregam valor à produtividade;
- II. Verificar *in loco* as faixas de controle dos parâmetros que serão analisados (temperatura, umidade e luminosidade), intrínsecos à produção da batata-doce;
- III. Dimensionar um sistema fotovoltaico não conectado à rede para alimentação do sistema;
- IV. Desenvolver um programa utilizando um sistema embarcado, capaz de gerenciar os dados sensoriais colhidos;
- V. Dimensionar e segmentar a quantidade de água a ser utilizada durante o ciclo do cultivo considerando seus estágios de desenvolvimento;
- VI. Construir uma estrutura física para o sistema de irrigação (leiras, painéis solares, bateria estacionária, mangueira gotejadora, reservatório, sensores);
- VII. Monitorar o modelo de irrigação proposto, considerando as variáveis em estudo;
- VIII. Avaliar a eficiência desse modelo, a partir da capacidade de controle das variáveis estudadas na produção da batata-doce;

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são expostos os conceitos, fundamentos e *softwares* necessários para a compreensão do trabalho desenvolvido. Sendo descrita de maneira detalhada os conceitos da irrigação proposta, batata doce cultivada, energia solar *off grid*, microcontrolador utilizado, sensores, atuadores e outros itens essenciais para o desenvolvimento do TCC.

2.1 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO

Existem vários sistemas de irrigação e o gotejamento (figura 1) é um destes. De acordo com Hidro Sistemas (2022), este processo é uma irrigação localizada, em que a água é dispersada pelos gotejadores ao longo de uma mangueira disposta acima ou abaixo da superfície, CPT (2021), descreve:

Nesse sentido, uma das grandes vantagens é que o método de irrigação por gotejamento tem como característica o maior controle dos recursos hídricos. Com essa técnica, o desperdício de água por evaporação é reduzido, pois é depositada nas raízes das plantas, aumentando o aproveitamento de nutrientes e água.

Figura 1 – Sistema de irrigação por gotejamento.



Fonte: Imagem do autor, 2018.

Plantações de café, pimenta e de frutas se encaixam perfeitamente nesse tipo de irrigação, sendo desnecessário molhar todo o solo. Dependendo do tipo, gotejam de 1 a 8 litros por hora. Outro benefício está no fato de que a água não entra em contato com as folhas da planta, o que geraria doenças em hortaliças. Todavia, o agricultor deve sempre andar pela plantação e verificar se há algum entupimento dos gotejadores, atenção que deve ser dada devido a sujeiras presentes na água.

2.2 BATATA-DOCE (IPOMOEA BATATAS)

A batata-doce (figura 2) é um tipo de verdura altamente empregada como alimentação para animais e seres humanos. Além de ser utilizada na indústria de tecidos e cosméticos. No Brasil, conforme dados do IBGE (2013), foram produzidas cerca de 505.350 toneladas de batata-doce, com rendimento de 13.091 kg/ha no ano de 2013. Provando que esta matéria-prima é uma das hortaliças mais consumidas no Brasil. Apesar do plantio ser feito em todo o território brasileiro, as colheitas no Norte e no Nordeste são satisfatórias no decorrer do ano inteiro.

Figura 2 – Batata-doce (Ipomoea Batatas).



Fonte: Imagem do autor, 2018.

A vantagem de seu cultivo está no fato de não exigir muita água ou nutrientes, acarretando em um baixo custo de produção. Apesar disso, necessita de um solo bem preparado e de clima quente. O solo arenoso é o que fornece um melhor desenvolvimento para a planta, apesar de ser possível em solo argiloso. De um modo geral, um solo com

alta granulometria é mais favorável às raízes dos tubérculos. As ramas de batata-doce possuem grande quantidade de nutrientes, e assim são usadas para alimentar o gado. Mas outra importante funcionalidade das ramas é o plantio, em que a ponta com folhas do ramo fica acima da superfície enquanto a outra ponta é enterrada na leira.

Embora não necessite de uma quantidade grande de água em relação aos outros legumes, o manejo desse recurso do começo ao fim do cultivo (geralmente entre 120 à 150 dias após o plantio) é um dos fatores mais importantes para produções elevadas e de qualidade, de acordo com Oliveira e Valadão (1997).

O início do plantio se dá na formação de leiras de 20 a 40 cm de altura. De acordo com Mathias (2017), o espaçamento varia de 80 a 100 cm entre as leiras, e 25 a 40cm entre as plantas. Na parte superior da leira ficam enterrados os ramos de uma colheita anterior. A adubação deve ser feita visando prover nutrientes como potássio (K), nitrogênio (N), fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). Podendo ser feita tanto a adubação química, quanto a orgânica.

O momento de irrigação está mais associado à umidade do solo, no caso quando estiver seco, do que de tempo. É importante enfatizar que o excesso de água durante o cultivo potencializa a ocorrência de erosão do solo, contaminação de mananciais hídricos, favorece a incidência de doenças em toda a planta, o que gera má formação e necrose, má aeração das raízes e desperdício de água, ou seja, impactos ambientais negativos a depender do ambiente de cultivo, Oliveira e Valadão (1997, p. 01) afirmam que as plantas de batatas podem consumir entre 300 a 800 mm de água durante todo o ciclo de cultivo.

2.3 ENERGIA SOLAR *OFF GRID*

“A energia solar fotovoltaica é a conversão da luz solar em energia elétrica, possível graças aos materiais semicondutores com propriedades específicas.” (VINICIUS, 2019, p.03). Existem, basicamente, 2 tipos de sistema fotovoltaicos no Brasil, são eles: o conectado à rede da concessionária de energia local denominado *On Grid*, e o que não está conectado à rede de energia, ou seja, o *Off Grid* ou autônomo. Aplicados normalmente em locais afastados da rede elétrica, tais como zonas rurais, praias, *camping*, ilhas e em qualquer outro lugar onde a rede elétrica não esteja acessível.

Nesse sentido, a principal diferença entre os dois sistemas é o arranjo dos equipamentos. Como o sistema *Off Grid* não está conectado à rede, geralmente é necessária uma forma de armazenar energia durante o dia e utilizá-la no período noturno,

para isso são utilizadas baterias estacionárias de chumbo-ácido (figura 3). Os autores Junior, Zarpelo e Serna (2014, p, 109), falam o seguinte sobre essas baterias:

A bateria de chumbo-ácido, o primeiro tipo recarregável, foi inventada pelo físico francês Raymond Gaston Planté em 1859. Estas baterias se tornaram um dos tipos mais utilizados, representando cerca de metade do mercado mundial na área. Possuem boa relação entre peso, volume e energia. A capacidade de suportar picos elevados de corrente faz com que tenham também uma boa proporção entre potência e peso.

Figura 3 – Exemplo de bateria estacionária de chumbo-ácido.



Fonte: Neosolar, 2022.

Em locais isolados, afastados da rede elétrica e com demanda de carga muito pequena é viável o uso da energia solar *Off Grid*, pois os custos da implementação são reduzidos, devido a não necessidade de uma rede elétrica. “Os sistemas fotovoltaicos exigem pouca manutenção, são silenciosos, ecológicos e não precisam de abastecimento de combustível”. (VILLALVA e GAZOLI, 2013, p. 99).

Os sistemas autônomos são compostos pelos painéis solares (figura 4), bateria estacionária, controlador de carga e inversor de tensão contínua para alternada. Os painéis solares são os responsáveis por converter a luz solar em energia elétrica na forma contínua (DC). Para o carregamento da bateria de forma eficiente, sem risco à sua vida útil e com proteções contra sobrecargas e curto circuitos, é obrigatório instalar, no sistema, um controlador de carga, que é usado para regular a carga da bateria.

A respeito dos inversores, de acordo com Villalva e Gazoli (2013, p.103).” [...] pode alimentar lâmpadas, aparelhos eletrodomésticos, computadores e qualquer tipo de equipamento que normalmente é alimentado pelas redes residências de tensão alternada”.

Figura 4 – Painéis solares de 100Wp.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

2.4 MICROCONTROLADOR ESP32

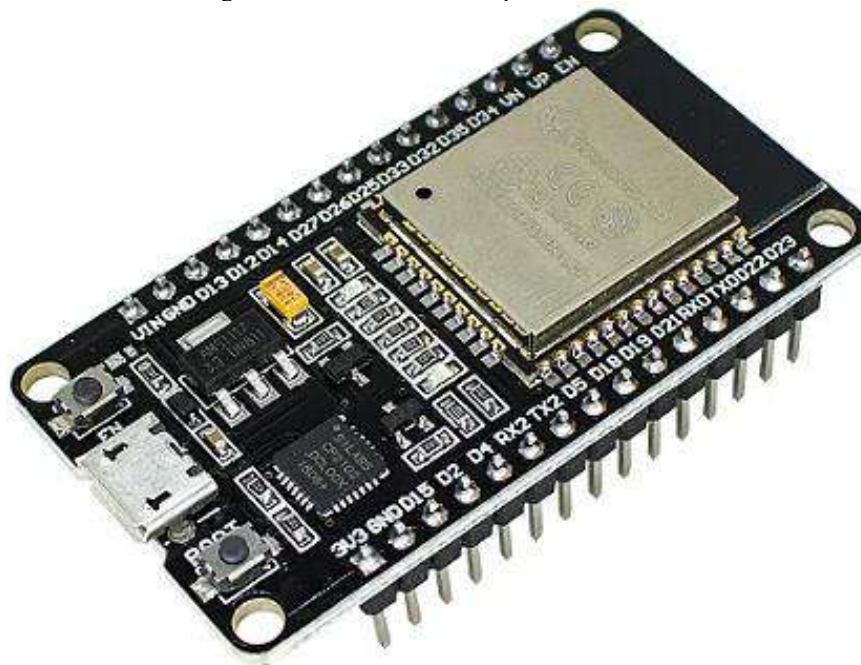
Desenvolvido pela empresa *Espressif* sediada na China, o microcontrolador ESP32, mostrado na figura 5, tem como principal vantagem o módulo WI-FI já integrado e dos seguintes parâmetros especificados pelo blog curto-circuito (BLOG DA CURTO, 2018):

[...] Dispõe de memória SRAM de 520 KB, memória flash de 16MB, dois núcleos de processamento em arquitetura Tensilica LX6 capaz de operar em 240 MHz, Bluetooth híbrido (clássico e BLE), tensão operacional de 2,3V á 3,6V, conector externo antena IPEX/PCB, redução de problemas com instabilidade, quantidade maior de portas programáveis, múltiplos sensores, cristal oscilador 32KHZ e criptografia com chave RSA de 4096 bits.

Sua pinagem é composta por 34 portas GPIO distribuídas pelas laterais da placa. Eles são divididos da seguinte forma: 3 portas SPI, 2 portas I2S, 18 portas ADC, 3 portas UART, 10 pinos de leitura capacitiva e PWM. Todas essas entradas e saídas são necessárias para comandar: 1 válvula solenoide, 2 sensores de vazão de água (Yf-s201), 2 boias de nível (ZP5), 3 Sensores de temperatura (DS18B20), 1 sensor LDR (Light Dependent Resistor) e 3 sensores de umidade do solo. O microcontrolador ESP32 foi

escolhido para o projeto devido a sua fácil conexão com a internet e a sua maior quantidade de pinos em relação aos seus concorrentes.

Figura 5 – Módulo DOIT Esp32 DevKit.



Fonte: Saravati, 2022.

2.5 SENSORES

Segundo Cardozo (2005), os sensores são dispositivos eletrônicos que convertem uma grandeza física da natureza em outro sinal, normalmente elétrico que possa ser transmitido a um microcontrolador e assim ser interpretado. Os sensores estão presente em quase todos os dispositivos eletrônicos, e em vários outros locais no nosso dia a dia. Graças a industrialização os sensores se tornaram relativamente baratos e difundidos em todo o Brasil. Na agricultura moderna “Os sensores são a base da agricultura digital. Eles fornecem os dados para permitir o desenvolvimento de sistemas de supervisão agrícola e para analisar o desempenho das práticas de gestão”. (QUEIROZ et al., 2020, p 01).

Nesse tópico será feita uma descrição dos 5 tipos de sensores utilizados para a automação e desenvolvimento do projeto.

2.5.1 SENSOR DE TEMPERATURA DS18B20

O DS18B20, figura 6 é um sensor inteligente fabricado *pela Dallas Instruments* com saída digital programável de 9 a 12 bits, que pode medir temperaturas entre -55 °C

e 125 °C com uma precisão de 0,5 °C na faixa de -10 °C a +85 °C. Este sensor lê a temperatura, interpreta-a e envia a informação do valor de temperatura em graus Celsius para o microcontrolador usando um barramento de apenas um fio, o qual pode derivar sua alimentação.

“O sensor de temperatura DS18B20 pode efetuar leituras com precisão de até $\pm 0,5$ °C, e enviar as informações para o microcontrolador utilizando apenas 1 fio.” (THOMSEN, 2015). A conversão de temperatura em 12 bits é realizada em 750 ms, enquanto a medição em 9 bits acontece em menos de 94 ms.

Figura 6 – Sensor de temperatura DS18B20.



Fonte: Filipeflop, 2022.

2.5.2 SENSOR DE UMIDADE HD-38

O higrômetro HD-38, mostrado na figura 7, faz a aferição da umidade através da condutividade elétrica do solo, para isso é fornecida uma corrente nos condutores e é averiguada a corrente entre eles. Quando o solo está úmido, a condutividade é maior devido à absorção de água, isso resultará em um fluxo maior de corrente entre os dois eletrodos. Entretanto, se o solo estiver seco, há uma corrente menor entre os eletrodos. É fornecido pelo sensor um valor analógico de 0 a 1023, cujo valor 1023 representa um solo seco e o valor 0, um solo encharcado.

Figura 7 – Higrômetro HD-38.



Fonte: Usinainfo, 2022.

Para medir o nível de umidade presente no solo foram utilizados 3 sensores de umidade com 3 sondas cada, totalizando assim 9 sondas na planta de irrigação. Tais sensores possuem a vantagem de serem inoxidáveis e operar, de forma digital, com uma tensão contínua entre 3.3 – 12VDC e uma corrente de aproximadamente 20 mA.

2.5.3 SENSOR DE VAZÃO DE ÁGUA YF-S201

Os 2 sensores de vazão de água (mostrados na figura 8) são do modelo Yf-s201, eles foram utilizados para medir o fluxo de água na saída e na entrada da caixa de água. Gebert (2019) descreve o funcionamento desse sensor da seguinte forma:

[...] baseia-se na leitura via sensor de efeito hall e com o auxílio de um rotor / conjunto de pás. Juntos, estes equipamentos leem a quantia de voltas desenvolvidas a partir da passagem do líquido e relacionam estes dados com a quantia em litros que passou.

A comunicação do mesmo é feita utilizando um pino digital e 3 fios (GND, VCC e SINAL) que são provenientes do sensor de efeito HALL, com tensão DC de funcionamento entre 4.5 V e 18 V, uma pressão máxima de água de 2 MPa e diâmetro da rosca de 12 mm.

Figura 8 – Sensores de vazão de água Yf-s201.



Fonte: Imagem do autor, 2022.

2.5.4 SENSOR DE NÍVEL

As boias de nível do tipo micro chaves ZP5 (figura 9), possuem tensão operacional entre 3.3 e 220 V e uma corrente máxima de 1.5 A. E tiveram como função principal a detecção do nível de água no reservatório. Seu funcionamento consiste na abertura e fechamento do circuito de forma magnética.

Figura 9 – Micro chave boia ZP5.

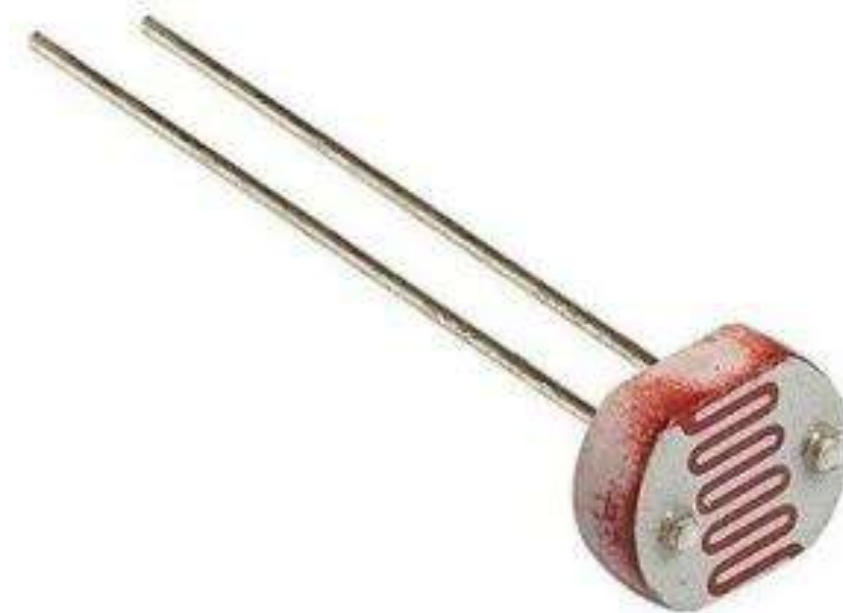


Fonte: Imagem do autor, 2022.

2.5.5 SENSOR DE LUMINOSIDADE

O sensor LDR (*Light Dependent Resistor*), figura 10, cujo tamanho é de 5mm, funciona como um resistor que varia sua resistência dependendo da intensidade luminosa. Essa resistência pode demorar até 10 ms para variar entre o totalmente claro e escuro. Esse componente foi muito importante para acionar o sistema apenas nos horários noturnos nos quais existe a mínima evaporação da água e uma maior absorção pelas plantas.

Figura 10 – Sensor LDR.



Fonte: Eletrogate, 2022.

2.6 ATUADOR VÁLVULA SOLENOIDE

Os atuadores são dispositivos modernos capazes de transformar comandos hidráulicos, elétricos, pneumáticos e outros, em movimento. Essa mobilidade é utilizada dentro de processos industriais e agrícolas para a realização de atividades repetitivas. Os atuadores elétricos usam da energia elétrica para realizar tais atividades. Um exemplo a ser citado sobre eles é o caso da válvula solenoide usada no projeto. O solenoide é uma bobina eletromagnética. Quando a bobina é energizada, ela gera um campo magnético que levanta o pistão (ou êmbolo) abrindo a válvula.

A válvula solenoide mostrada na figura 11, foi utilizada para abrir e fechar a passagem de água para a mangueira gotejadora. Sendo do tipo normalmente fechada de 12 VDC, potência de 4.8 W, bobina de 32.3 Ω e pressão mínima de 0.8 MPa.

Figura 11 – Válvula solenoide.



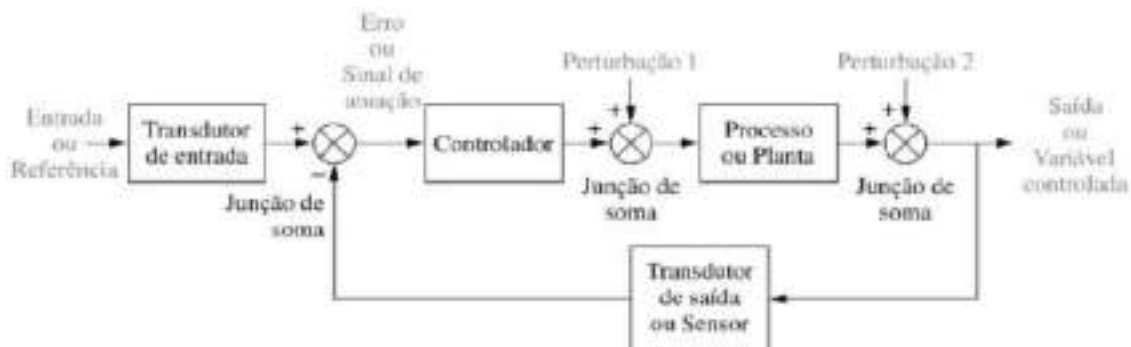
Fonte: Imagem do autor, 2022.

2.7 SISTEMAS DE CONTROLE EM MALHA FECHADA

O controle automático no século XXI é essencial para qualquer sistema agrícola, o autor Nise (2017, p. 02) descreve-o da seguinte forma: “Um sistema de controle consiste em sub-sistemas e processos construídos com o objetivo de se obter uma saída desejada, com desempenho desejado para uma entrada específica fornecida.”.

Quando o resultando na saída, modifica os dados na entrada e assim se ajusta de forma automática é denominado de sistema de controle de malha fechada. “Os sistemas de controle com realimentação são, com frequência, denominados também sistemas de controle de malha fechada.” (OGATA, 2010).

Figura 12 – Controle de malha fechada.



Fonte: Nise, 2012.

2.8 SOFTWARES

Nesse tópico será feita uma breve descrição dos 3 principais programas utilizados para o desenvolvimento do projeto. Iniciando pelo *EasyEAD*, software responsável pelo desenvolvimento da placa de circuito impresso. Passando então pelo App inventor, que foi muito importante para o desenvolvimento do aplicativo e finalizando no ThingSpeak utilizado para fazer a comunicação entre a ESP32 e o App inventor.

2.8.1 EASYEAD

O *EasyEAD*, mostrado na figura 13, é um programa de desenvolvimento de placas de circuitos impresso (*Printed Circuit Board (PCB)*) que funciona de maneira online e gratuita. Através dele, estudantes, engenheiros, professores e empresas podem transformar ideias de eletrônica em realidade com uma facilidade enorme. O *EasyEAD* também permite simulações de circuitos, compartilhamento de projetos e fabricação de placas de padrão profissional que é realizada na China por um preço acessível.

Figura 13 – Tela inicial do *EasyEDA*.



Fonte: Imagem do autor, 2022.

2.8.2 APP INVENTOR

Segundo o site do próprio *App inventor*, ele, “é um ambiente de programação visual intuitivo que permite que todos – até mesmo crianças – criem aplicativos totalmente funcionais para telefones Android, iPhones e tablets Android/iOS.” (*APP INVENTOR*, 2022). Essa plataforma serviu para desenvolver um aplicativo customizado, que permitiu monitorar os parâmetros do projeto (temperatura, umidade, vazão), e

controlar o acionamento da válvula solenoide. Isso permitiu uma maior interação com a cultura da batata-doce cultivada.

A figura 14 apresenta a plataforma MIT, nela a indicação em retângulo azul claro indica as funcionalidades da plataforma, que o desenvolvedor poderá anexar na tela para se obter uma melhor interação com o usuário. Tais funcionalidades são: botão, caixa de seleção, imagem, legenda, algumas organizações pré-definidas, desenho, armazenamento, sensores, entre outras. No retângulo em laranja encontra-se o campus de organização estruturada do aplicativo, como: o botão ou imagem está disposto horizontalmente ou verticalmente. No retângulo em vermelho encontram-se os campos que permitem a regulagem de cada acessório que está no aplicativo, como por exemplo: a porcentagem da tela que será preenchida pelo botão de seleção, cor do botão, a tela de fundo que será utilizada entre outros tipos de calibração. Por último, o retângulo em azul escuro representa a tela do aplicativo no *smartphone*.

Figura 14 – Tela de desenvolvimento de aplicativos do *App inventor*.



Fonte: Imagem do autor, 2022.

2.8.3 THINGSPEAK

Como mencionado no próprio site do *ThingSpeak*, figura 15, essa plataforma de armazenamento de dados na web é utilizada por estudantes, professores, engenheiros e agricultores, para implementação de projeto sobre internet das coisas, permitindo que através de comandos, dados sejam salvos e lidos em canais dentro da plataforma, *ThingSpeak* (2022):

O *ThingSpeak* é um serviço de plataforma de análise de IoT que permite agregar, visualizar e analisar fluxos de dados ao vivo na nuvem. Você pode enviar dados para o *ThingSpeak* de seus dispositivos, criar visualização instantânea de dados ao vivo e enviar alertas.

Para esse trabalho, o *ThingSpeak* foi de grande valia para fazer a ponte de comunicação entre o módulo ESP32 e o *App inventor*, pois, não é possível comunicar de forma direta a ESP32 diretamente com o aplicativo do *App inventor*.

Figura 15 – Tela inicial do site da plataforma *ThingSpeak*.



Fonte: Imagem do autor, 2022.

3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Neste capítulo são abordadas as etapas para o desdobramento do projeto, inicialmente abordando as etapas para o desenvolvimento do circuito e criação da placa de circuito impresso, passando pelo desenvolvimento do aplicativo, comunicação, programação da ESP32 e de como foi dimensionado o sistema fotovoltaico, enfim, concluindo na etapa de montagem do projeto no local da cultura da batata doce.

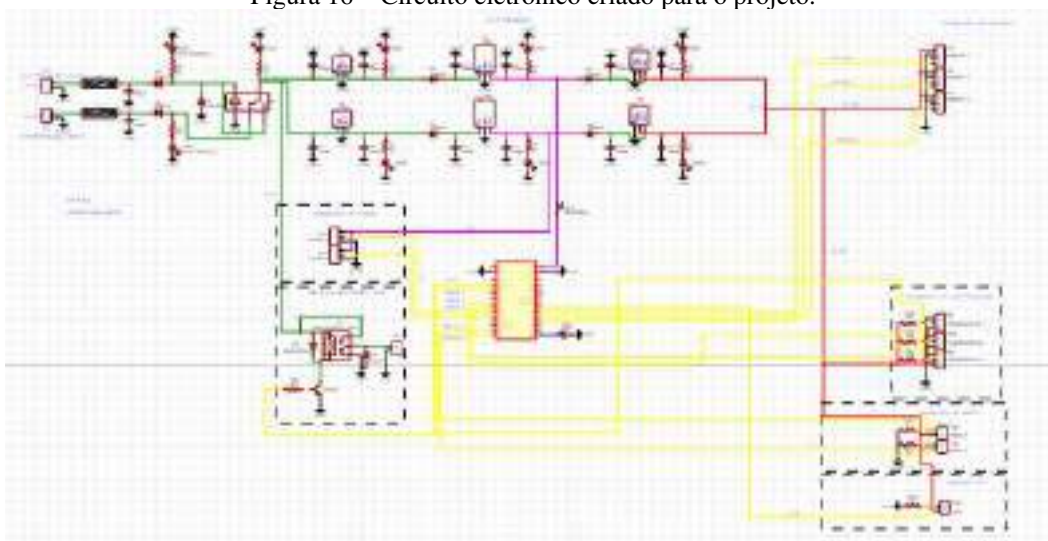
3.1 DESENVOLVIMENTO DA PARTE ELETRÔNICA, ELÉTRICA E COMUNICAÇÃO

Nesse tópico, de maneira fundamentada será mostrado como foram pensadas e desenvolvidas as partes eletrônicas, elétricas e de comunicação essenciais para o pleno funcionamento do trabalho.

3.1.1 CIRCUITO E PCB

Inicialmente, com auxílio do software baseado na web *EasyEDA*, foi projetada, simulada e confeccionada uma PCB (*Printed Circuit Board*), a qual foi dividida em 4 partes principais, são elas: alimentação, regulagem de tensões, controle e conexão. Na figura 16 é possível observar o esquemático do circuito criado utilizando as ferramentas fornecidas pelo *EasyEDA*.

Figura 16 – Circuito eletrônico criado para o projeto.



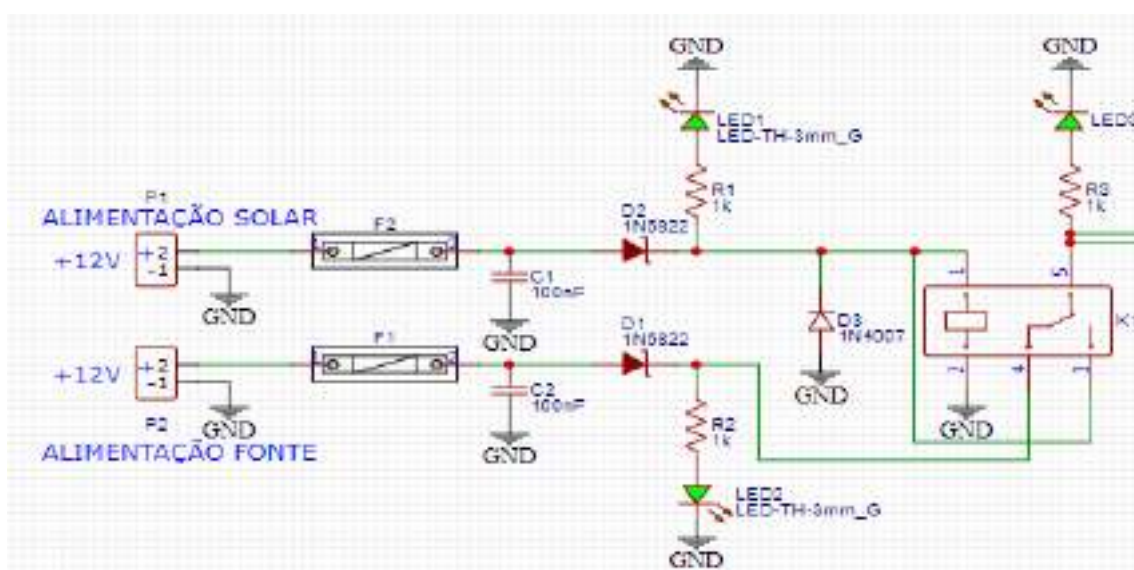
Fonte: Imagem do autor, 2020.

O circuito de entrada foi responsável por alimentar todos os componentes de forma ininterrupta, adotando como estratégia a utilização de duas fontes de alimentação, que foram provenientes da conexão com um gerador fotovoltaico de tensões entre 12,5 V - 14,4 V e uma fonte de 12 V acoplada à rede de energia.

Dessa forma, foi projetado para que nos momentos em que não houvesse alimentação dos painéis solares, a fonte de energia externa seja utilizada. Para que esse processo se desse de forma automática, foi utilizado um relé JQC-3F(T73) 12VDC (K1), cuja bobina era alimentada pelos geradores fotovoltaicos. Enquanto o relé estava sendo alimentado, o seu contato normalmente aberto (NA) se mantinha fechado e permitia alimentação aos demais componentes da placa. Caso a geração fosse interrompida, o relé seria desenergizado e o seu contato normalmente fechado (NC) permitiria a alimentação proveniente da fonte externa.

O circuito de entrada está apresentado na figura 17, Os fusíveis de vidro (F1 e F2) serviram para proteção de curto-circuito e sobrecarga. Eles suportam 2 A e possuem a dimensão de 6 x 30 mm. Os capacitores cerâmicos de 100 nF (C1 e C2) são utilizados como filtros de sinais indesejados. Os diodos 1N5822 (D1 e D2), do tipo *Schottky* de proteção, são responsáveis por permitir que a corrente atue no sentido da fonte de alimentação para a placa. Por terem uma fabricação especial, eles possuem *uma Dropout Voltage* (Tensão de queda) de aproximadamente 0,2 V permitindo assim um melhor funcionamento do circuito.

Figura 17 – Circuito de entrada da alimentação.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

O LED1 de 3mm de diâmetro foi usado para indicar que estava sendo alimentado pelo gerador. Já o LED2 foi usado para indicar que a fonte de tensão ligada à rede estava fornecendo uma diferença de potencial de emergência em caso de falha do gerador. Os resistores R1 e R2 foram responsáveis por limitar a passagem de corrente elétrica em cada LED. O diodo 1N4007 D3, que é conhecido como diodo de roda livre, teve a função de proteger o circuito contra a descarga da energia armazenada no campo magnético do indutor (COIL) no momento em que a alimentação deste for cessada. O LED3 foi usado para indicar que a placa estava sendo alimentada após o relé. A figura 18 mostra os componentes colocados na placa do circuito de entrada.

Figura 18 – Circuito de entrada na PCB.

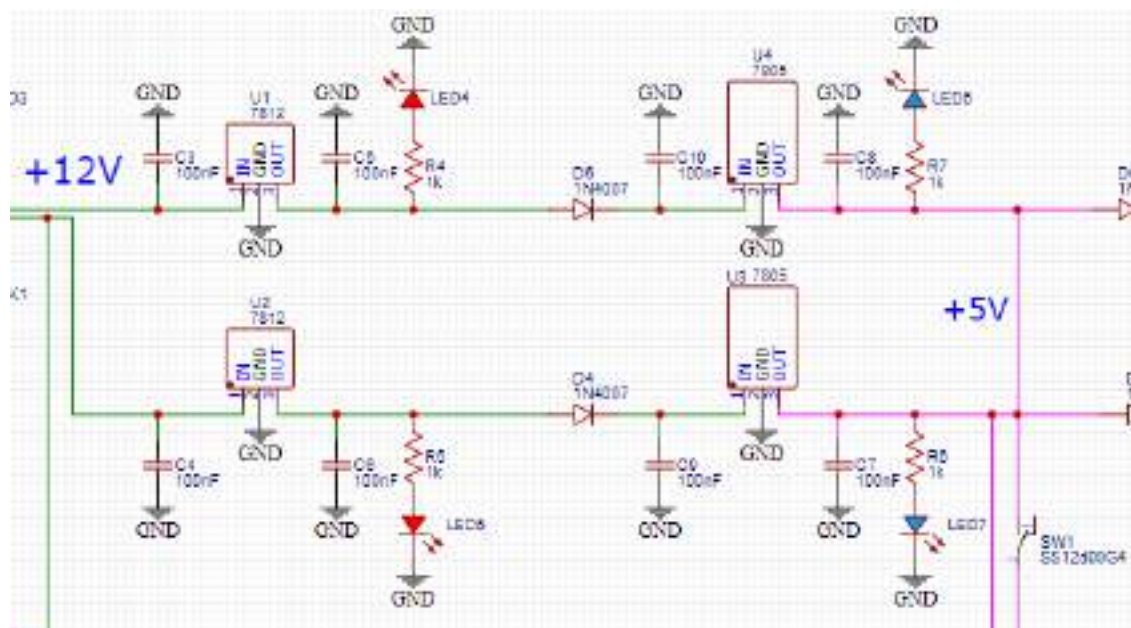


Fonte: Imagem do autor, 2020.

Para o pleno funcionamento de todos os componentes da placa, foi criado um circuito regulador de tensão, que teve como objetivo fornecer os níveis ideais de tensão e corrente para cada parte da placa.

Os reguladores de tensão utilizados foram: LM7812, LM7805 e LM1117-3.3. Esse circuito regulador foi dividido em duas etapas, a primeira tinha por função a correção da tensão de entrada e a regulação do nível de tensão para 5 V a fim de alimentar o microcontrolador e os dois sensores de fluxo. A figura 19 apresenta a primeira parte do circuito regulador.

Figura 19 – Circuito da primeira etapa de regulação de tensão.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Em um momento inicial, a tensão fornecida tanto pelos painéis fotovoltaicos, quanto pela fonte de tensão externa passa por capacitores de $100\text{ nF}/50\text{ V}$ do tipo cerâmico (C3 e C4). Estes foram utilizados para desacoplar a entrada dos reguladores de tensão LM7812 (U1 e U2) e também para filtrar as frequências provenientes do sinal de entrada. A tensão nos pinos IN (1) dos reguladores varia entre 12 e 14.4 V. Como eles possuem uma queda de tensão (*Dropout Voltage*) de aproximadamente 2 V, a tensão no pino OUT (3) poderia variar entre 10 - 12.2 V, dependendo do nível de carga da bateria do painel solar. Este último pino também foi conectado a um outro capacitor cerâmico de $100\text{ nF}/50\text{ V}$ (C5 e C6), que possuía a mesma função dos capacitores de entrada.

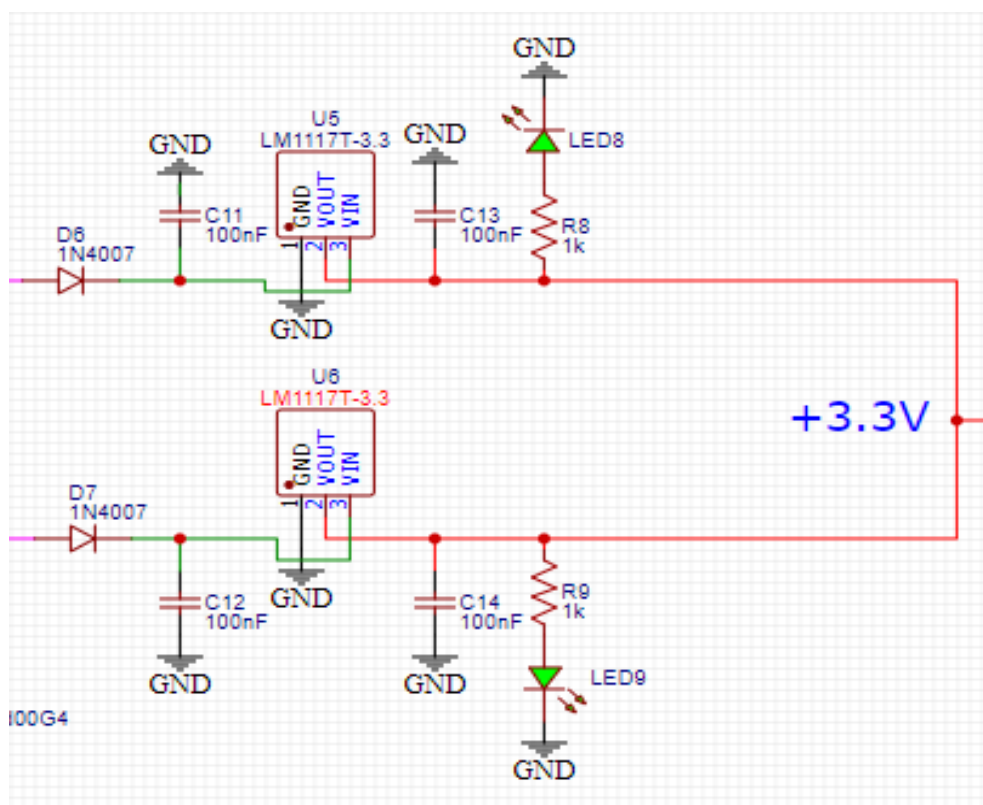
Os LEDs de sinalização (LED 4 e LED 5), que estão conectados em série com os resistores (R5 e R4), possuem a função de mostrar se os reguladores estão funcionando como esperado. Já o pino 2 (GND) dos reguladores de tensão 1 e 2 foram aterrados na malha de GND da placa. Também foram aplicados diodos 1N4007 (D5 e D4) devido a sua característica de apresentar resistência infinita na direção reversa de alimentação. Esse modelo em particular suporta uma tensão de 800 V de bloqueio DC, o que impede correntes contrárias.

O mesmo circuito foi repetido, porém utilizando reguladores de tensão LM7805 (U3 e U4) que rebaixam a tensão de entrada para uma tensão estabilizada de 5 V, permitindo assim a alimentação dos sensores de fluxo e do microcontrolador ESP32. Neles também

foram utilizados capacitores cerâmicos (C7, C8, C9 e C10) para filtragem e LEDs para sinalização (LED 6 e LED 7).

Já a segunda parte do circuito de alimentação, apresentado na figura 20, regula a tensão para o nível de 3.3V o qual é responsável por alimentar os sensores de temperatura, unidade do solo, micro chave boia e LDR.

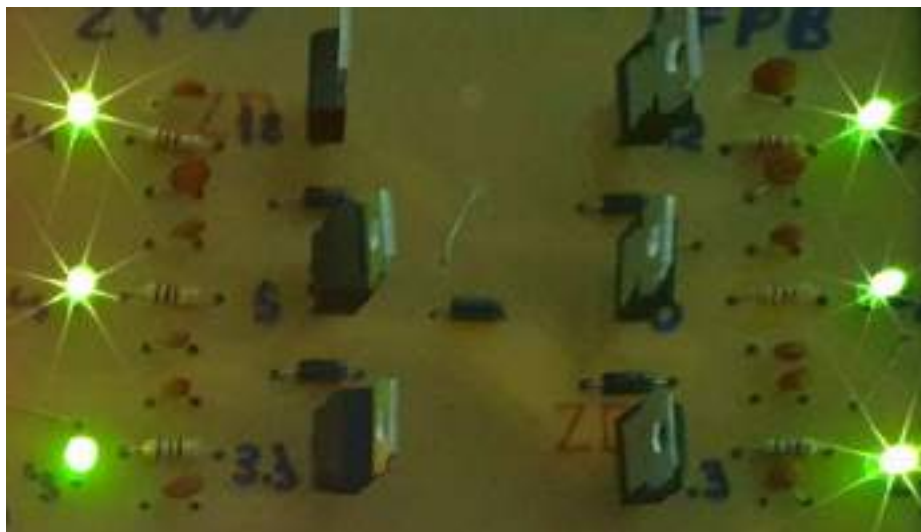
Figura 20 – Circuito da segunda etapa de regulagem de tensão.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Assim como na primeira parte do circuito, também foram colocados diodos 1N4007 (D6 e D7) para impedir as tensões reversas, capacitores cerâmicos (C11, C12, C13 e C14) que funcionam como filtros e LED's de sinalização de tensão (LED 8 e LED 9). Porém, os reguladores utilizados foram do modelo LM1117T (U5 e U6) de 3.3 V, permitindo assim que a tensão fosse rebaixada de forma segura no pino de saída 2 (VOUT) para 3.3 V. A figura 21 apresenta todo o circuito regulador de tensão já com os componentes na PCB.

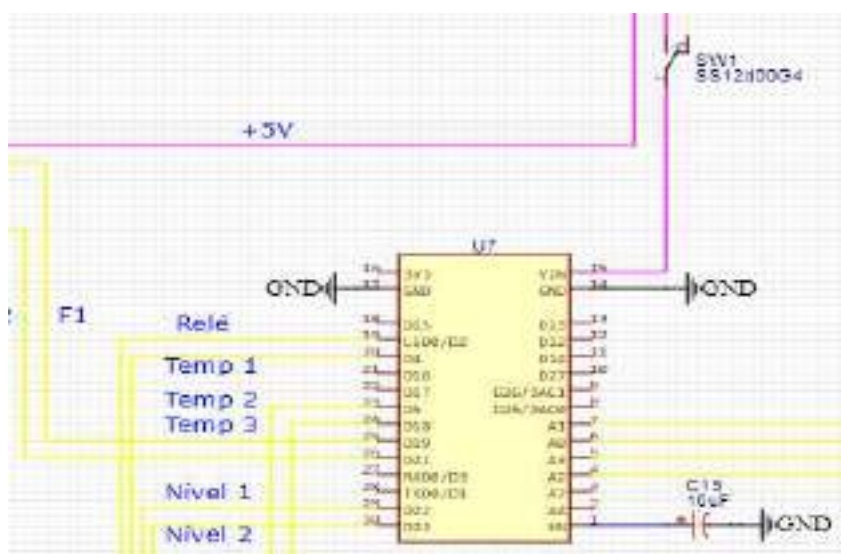
Figura 21 – Circuito regulador de tensão na PCB.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Na parte de controle e alimentação, a saída dos reguladores de tensão de 5V foram ligadas ao pino 15 (VIN) do módulo DOIT Esp32 DevKit, baseado no microcontrolador ESP32, e seccionada através de uma micro chave de 3 posições SS12D00G4 de 4 mm. Essa chave foi necessária para permitir a compilação da programação sem a retirada do módulo da placa principal. Os pinos 17 e 14 (GND) foram ligados à malha de aterramento da placa, já o pino EN foi ligado a um capacitor eletrolítico (C15) de $10\mu\text{F}/16\text{V}$, para permitir a compilação da programação na placa. Essas ligações podem ser visualizadas na figura 22.

Figura 22 – Esquemático do módulo DOIT Esp32.

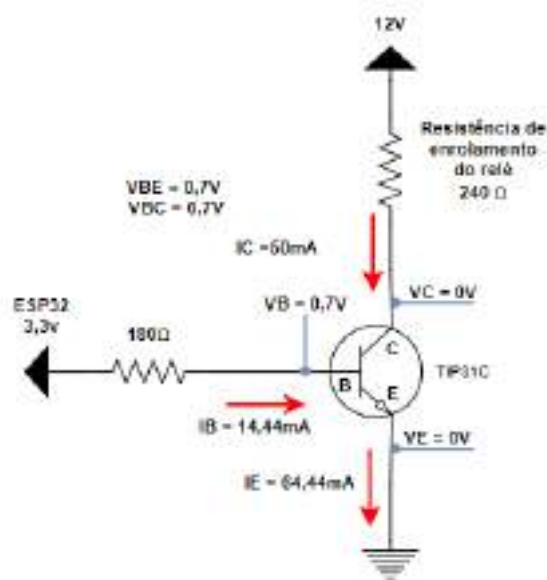


Fonte: Imagem do autor, 2020.

Para que o acionamento da válvula solenoide fosse realizado com segurança, devido a sua alta corrente e suas propriedades magnéticas, foi preciso um circuito elétrico composto pelos seguintes componentes: um resistor de 180Ω (R21), dois diodos (D8 e D9) do tipo 1N4007, um transistor TIP31C e um relé SRA-24VDC-SL(20A) (K2). o funcionamento do circuito se dava quando os sensores detectavam a necessidade de irrigação do solo.

Um sinal de baixa amplitude era enviado pelo pino D2 (GPIO02) da ESP32 para a base do transistor NPN de forma que este fosse polarizado na região de saturação. Dessa forma, uma corrente elétrica fluía pelo seu coletor e alimentava a bobina do relé. Na figura 23 é possível ter noção das correntes e tensões.

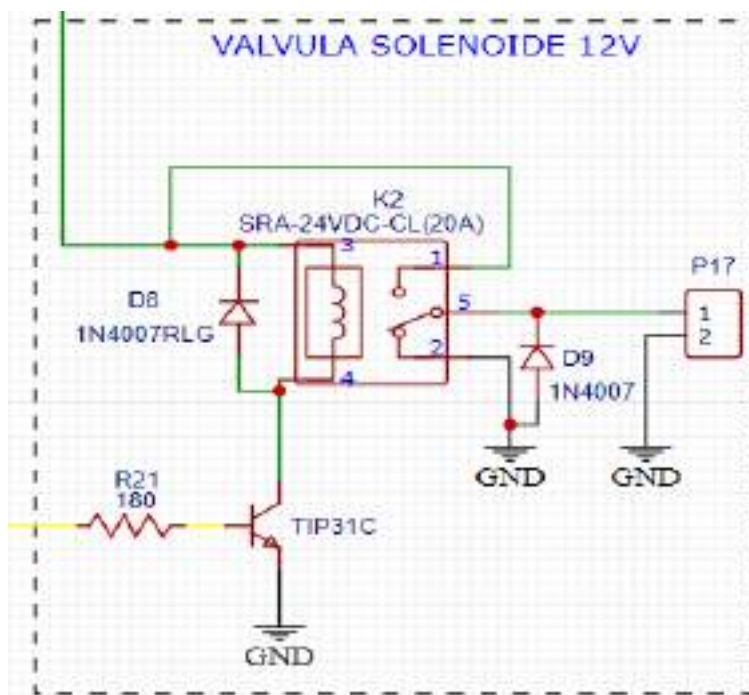
Figura 23 – Circuito TIP31C.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Quando a bobina do relé era alimentada, seu contato normalmente aberto (NA), fechava e permitia uma passagem de corrente elétrica pelos terminais da bobina da válvula solenóide que estava conectada ao borne de 2 polos - KF-301 2T (P17). Como o relé e a válvula são dispositivos que trabalham com campos magnéticos, torna-se necessária a utilização de diodos do tipo roda livre (D8 e D9) em paralelo para que quando estes fossem desenergizados, a energia armazenada em seus campos seja dissipada de forma segura. A figura 24 apresenta o circuito utilizado para o acionamento da válvula solenóide. E a figura 25 mostra o circuito montado na PCB com seus componentes.

Figura 24 – Esquemático de acionamento da solenoide.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

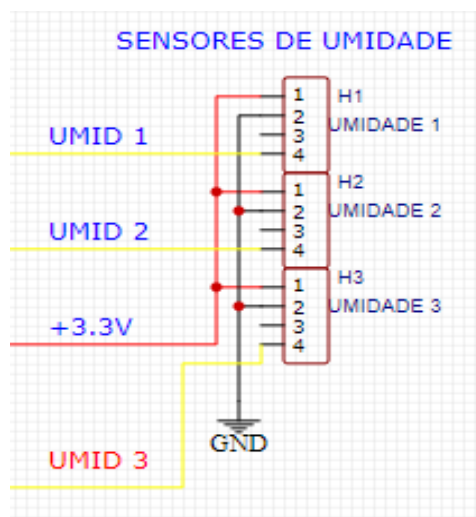
Figura 25 – Circuito de acionamento da solenoide na PCB.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Para soldagem dos 3 sensores de umidade e conexão das 9 sondas foram utilizadas 3 barras de pinos macho 4 x 1, 40pin, 2.54 mm (H1, H2 e H3). Tendo os terminais ligados ao 3.3 V, GND e aos pinos de dados analógico A0 (ADC1_CH4/GPIO32), A3 (ADC1_CH7/GPIO35) e A2 (ADC1_CH6/GPIO34). O esquemático é mostrado na figura 26 e a montagem final mostrada na figura 27.

Figura 26 –Esquemático dos pinos dos sensores de umidade. Figura 27 –Sensores de umidade na PCB.



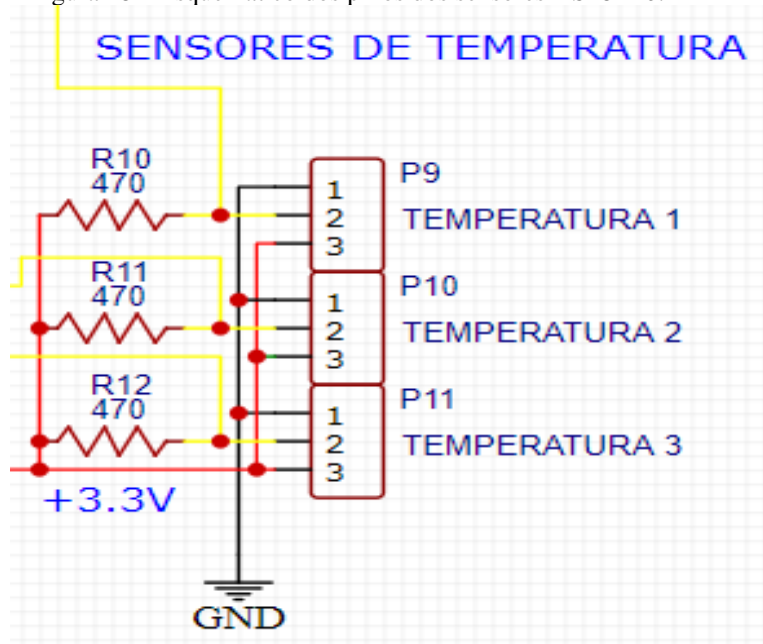
Fonte: Imagem do autor, 2020.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Para a conexão dos 3 sensores de temperatura foram utilizados 3 bornes de 3 polos - KF-301 3T (P9, P10 e P11), mostrados na figura 28. Cada sensor foi conectado ao 3.3 V e ao GND, e para as entradas digitais a conexão foi estabelecida nos pinos D4 (GPIO 04), D5 (GPIO 05) e D18 (GPIO 06), respectivamente. Cada sensor foi conectado a um resistor *pull-up* de 470 Ω (R10, R11 e R12), utilizados para reconhecimento dos sensores pela programação.

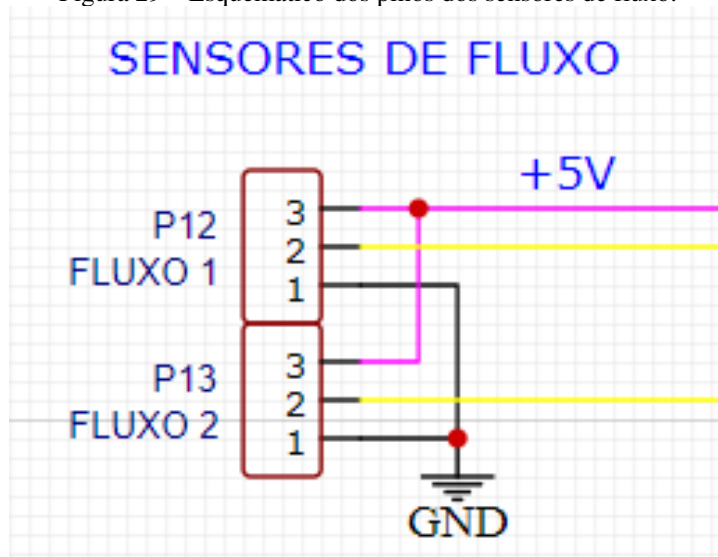
Figura 28 – Esquemático dos pinos dos sensores DS18B20.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Para a conexão dos 2 sensores de vazão de água Yf-s201 foram utilizados 2 Borne de 3 polos - KF-301 3T (P12 e P13). Cada sensor foi conectado ao 5 V e ao GND, e para as entradas digitais a conexão foi firmada nos pinos D19 (GPIO 19) e D21 (GPIO 21), respectivamente. A figura 15 apresenta essa configuração.

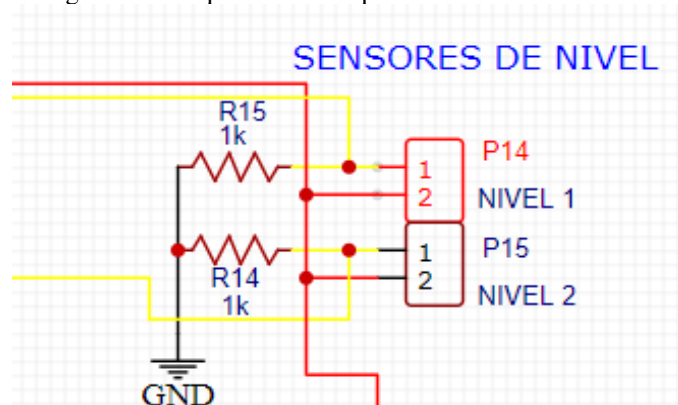
Figura 29 – Esquemático dos pinos dos sensores de fluxo.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

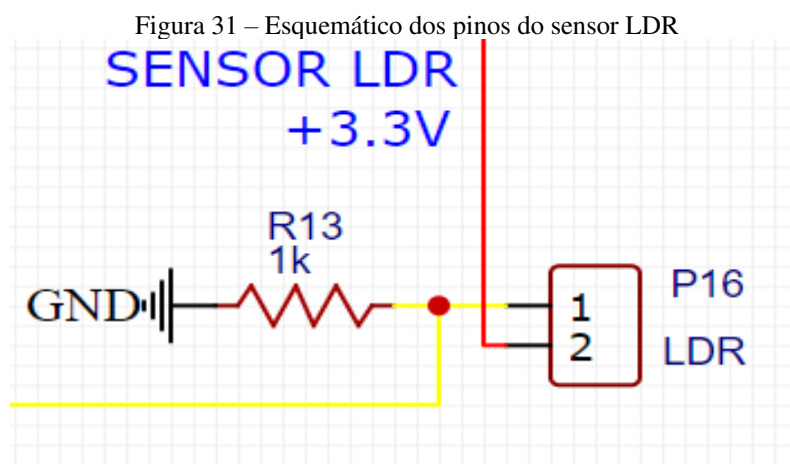
Nas duas micro chave boia de nível ZP5, foram utilizados os pinos D22 (GPIO 22) e D23 (GPIO 23) do módulo da Esp32, através de 2 Bornes de 2 polos (P14 e P15). Cada sensor foi ligado ao nível de tensão 3.3V, juntamente a um resistor de $1K\Omega$ (R15 e R14) do tipo *Pull Down*, utilizado para definir melhor o nível lógico baixo quando não houver nenhum sinal na entrada. A figura 16 apresenta essa configuração.

Figura 30 – Esquemático dos pinos dos sensores de nível.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Da mesma maneira foi feita a conexão para o sensor de luminosidade LDR de 5 mm. Foi utilizado 1 borne de 2 polos (P16), ligado ao 3.3 V e a entrada A1 (ADC1_CH5/GPIO33) do módulo ESP32, juntamente a um resistor de 1 K Ω (R13). A figura 17 apresenta essa configuração. De forma mais simplificada, no Apêndice C são apresentados todos os pinos e suas funções na placa principal.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

3.1.2 CONFECÇÃO DA PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO

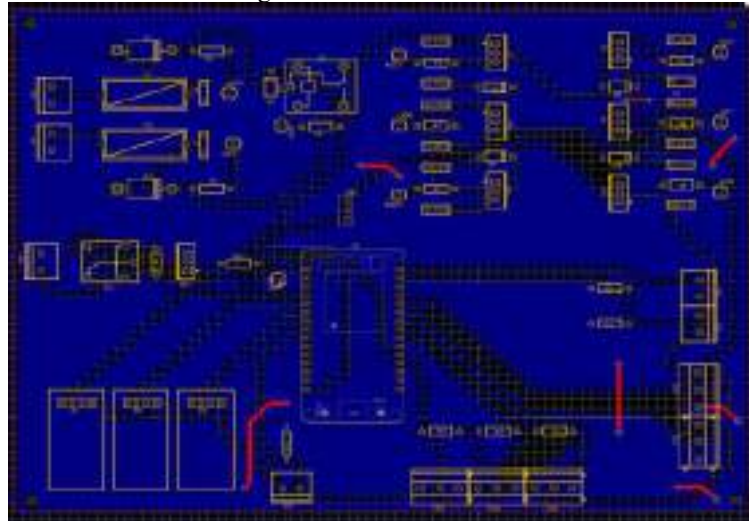
Após a conclusão de toda a parte esquemática, foi criada uma PCB utilizando o próprio programa da *easyEDA*. Então, houve a organização de todos os componentes no programa e também foram roteadas as trilhas de aproximadamente 1mm de espessura para as conexões, conforme apresentado nas figuras 32 e 33. Também foi criado uma malha de GND utilizando a ferramenta “*Copper Area*” do próprio programa.

Figura 32 – Representação 3D da PCB.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

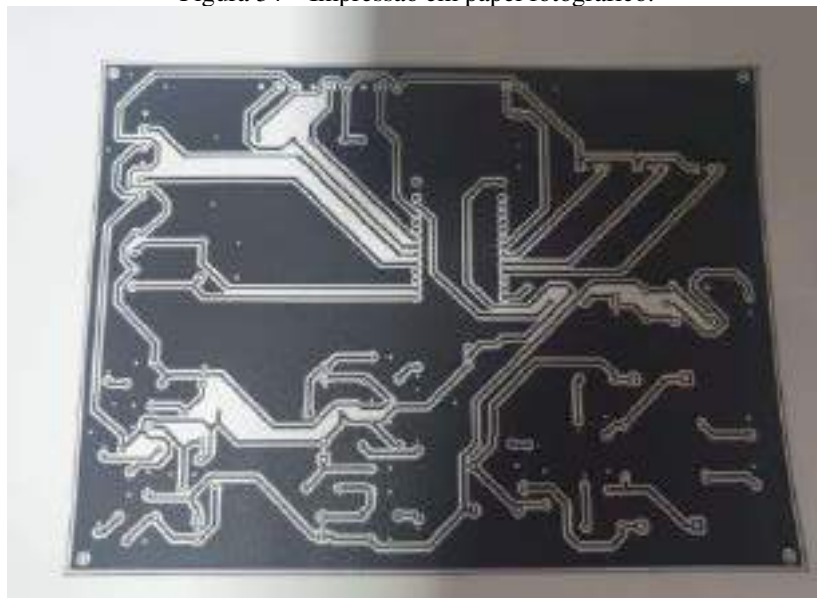
Figura 33 – Trilhas da PCB



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Posteriormente, todas as trilhas foram salvas e impressas, por meio de uma impressora a laser, em papel fotográfico, como mostra a figura 34. Em seguida esse papel foi colocado sobre uma placa de fenolite virgem (figura 35), de 200 x 200 mm, já limpa e lixada com palha de aço. A placa foi esquentada por um ferro de passar em temperatura máxima, esse aquecimento durou aproximadamente 5 minutos e resultou na transferência das trilhas que estavam no papel para a placa de fenolite.

Figura 34 – Impressão em papel fotográfico.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

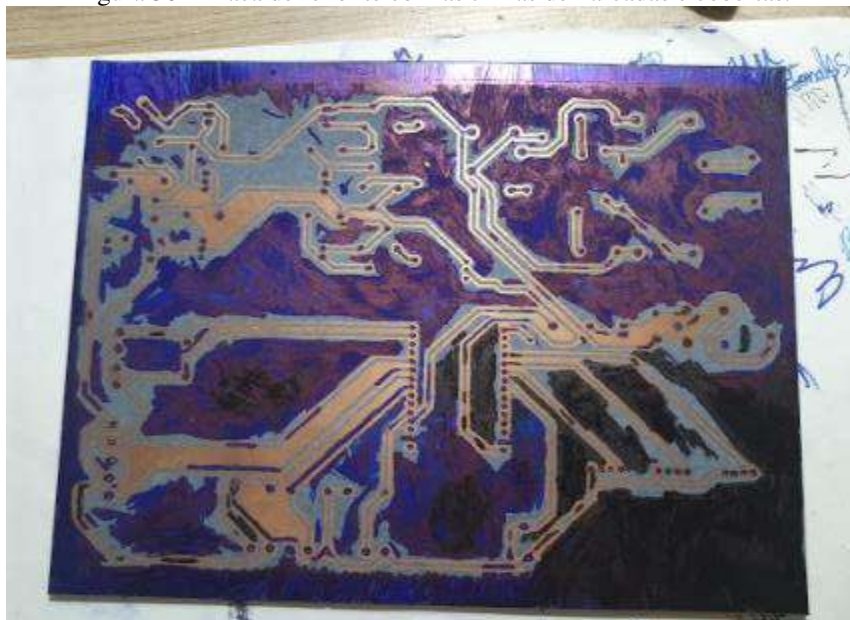
Figura 35 –Placa de fenolite virgem.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Como esse processo não é perfeito, foi necessário cobrir as partes falhas com caneta permanente para que houvesse uma melhor marcação das trilhas que pode ser visto na figura 36. Em seguida, a placa foi submersa por 30 minutos em um recipiente de plástico que continha Percloroeto de Ferro (FeCl_3).

Figura 36 – Placa de fenolite com as trilhas demarcadas e cobertas.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Dessa forma, partes expostas de cobre foram corroídas. A placa foi então retirada do recipiente, limpa em água corrente e lixada novamente com a palha de aço. E o resultado final pode ser visto na figura 37.

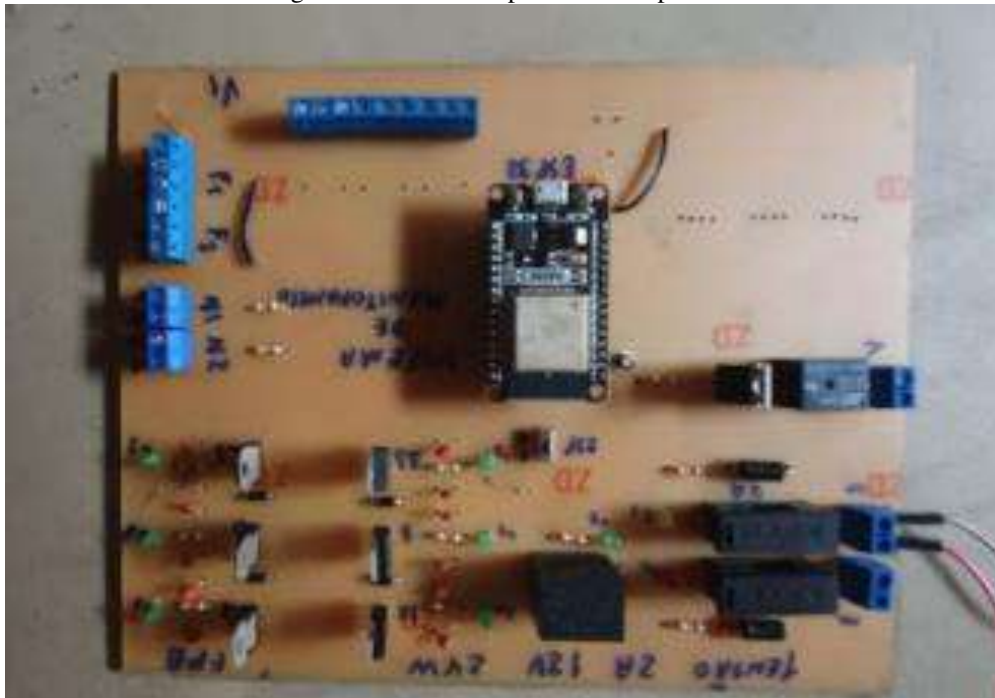
Figura 37 – Placa de fenolite corroída.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Em sequência, a placa foi perfurada através de um furador de placas e todos os componentes soldados sobre a superfície da placa. Todas as conexões e componentes foram testados e avaliados para uma melhor performance da placa, o que pode ser demonstrado na Figura 38.

Figura 38 – PCB com parte dos componentes.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

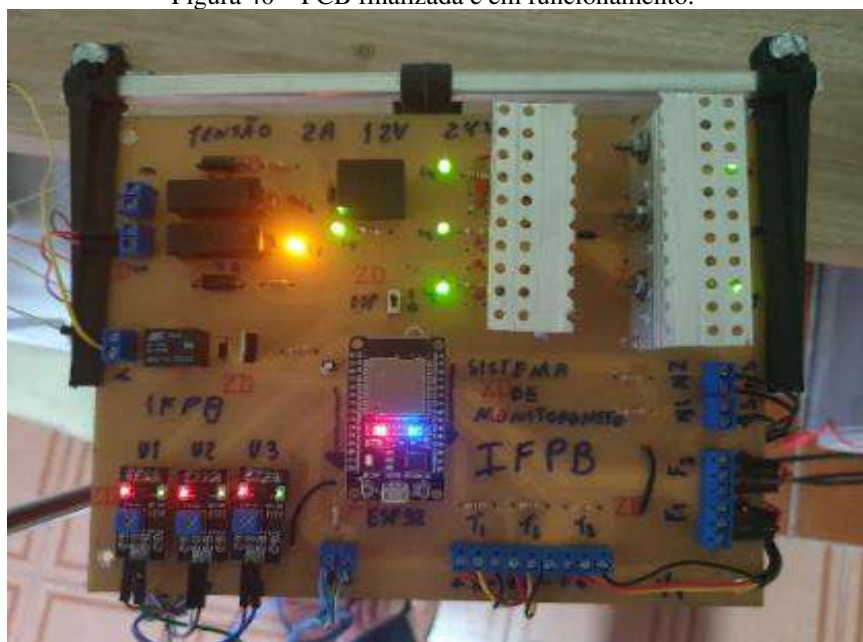
Para efeitos de proteção contra umidade, insolação, chuva e outras intempéries, a placa foi envernizada com verniz extra rápido Iquine Premium incolor. E por fim, foram colocados dissipadores de calor nos reguladores de tensão para um melhor resfriamento do mesmo. A figura 39 mostra a placa sendo envernizada e a figura 40 mostra já a placa finalizada e em funcionamento.

Figura 39 – Placa sendo envernizada.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Figura 40 – PCB finalizada e em funcionamento.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

3.1.3 DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO

Outra fase no desenvolvimento do projeto foi a criação do aplicativo. Para sua criação foi utilizado o *MIT App Inventor*. O aplicativo foi denominado “Irrigação Automatizada”, sua interface foi dividida em 5 telas interativas de monitoramento e controle com os seguintes nomes: “Tela geral”, “Umidade e Temperatura”, “Hidráulica”, “Ajuste” e “Sobre”. As figuras 41, 42 e 43 mostram algumas telas em desenvolvimento no *App inventor*.

Figura 41 – Tela inicial do aplicativo no *APPinventor*.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Figura 42 – Tela de acompanhamento dos parâmetros do aplicativo no *APPinventor*.

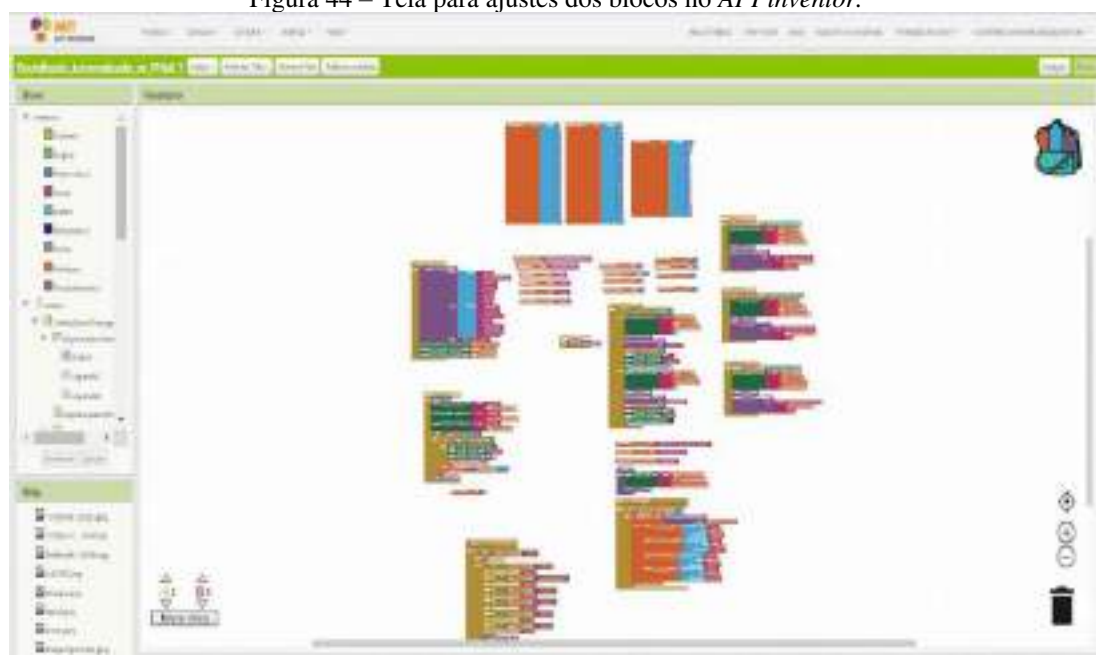


Fonte: Imagem do autor, 2020.

Figura 43 – Tela para ajustes dos parâmetros desejados do aplicativo no *APPinventor*.

Fonte: Imagem do autor, 2020.

Para que todo o sistema funcionasse da maneira desejada, foi necessário especificar o que cada botão, cada aba de seleção e cada display faziam e os lugares cujos cada um coletaria e/ou destinaria as informações. Isso foi feito logo após a criação do *layout* do aplicativo. Na plataforma, a programação foi feita através de blocos pré-definidos (figura 44), através do encaixe de um bloco em outro.

Figura 44 – Tela para ajustes dos blocos no *APPinventor*.

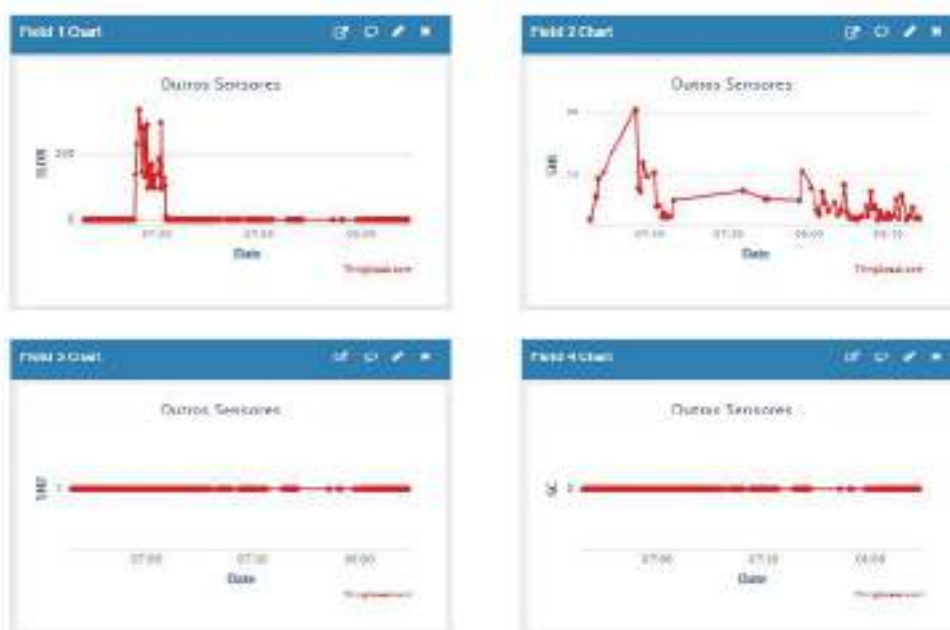
Fonte: Imagem do autor, 2020.

3.1.4 COMUNICAÇÃO DO APLICATIVO COM O *THINGSPEAK*

Com a placa do circuito e o aplicativo desenvolvidos, outra etapa do projeto foi voltada para a comunicação entre eles. A plataforma *thingspeak* foi utilizada para essa comunicação. Essa plataforma tem a função de armazenar dados e representá-los em gráficos.

Quando a placa recebia informações dos sensores, ela as enviava para o *Thingspeak*, o qual as armazenava de forma segura e organizada em seus canais. Como o aplicativo estava conectado a esses canais, as informações eram lidas e entregues ao usuário por meio da tela do smartphone. Na figura 45 é possível visualizar alguns dos canais utilizados no projeto. O primeiro canal se refere a informações com relação a luminosidade, o segundo a informações da relação do fluxo de água e o terceiro e quarto se referem aos dois sensores de nível.

Figura 45 – *Fields* do projeto no *Thingspeak*.

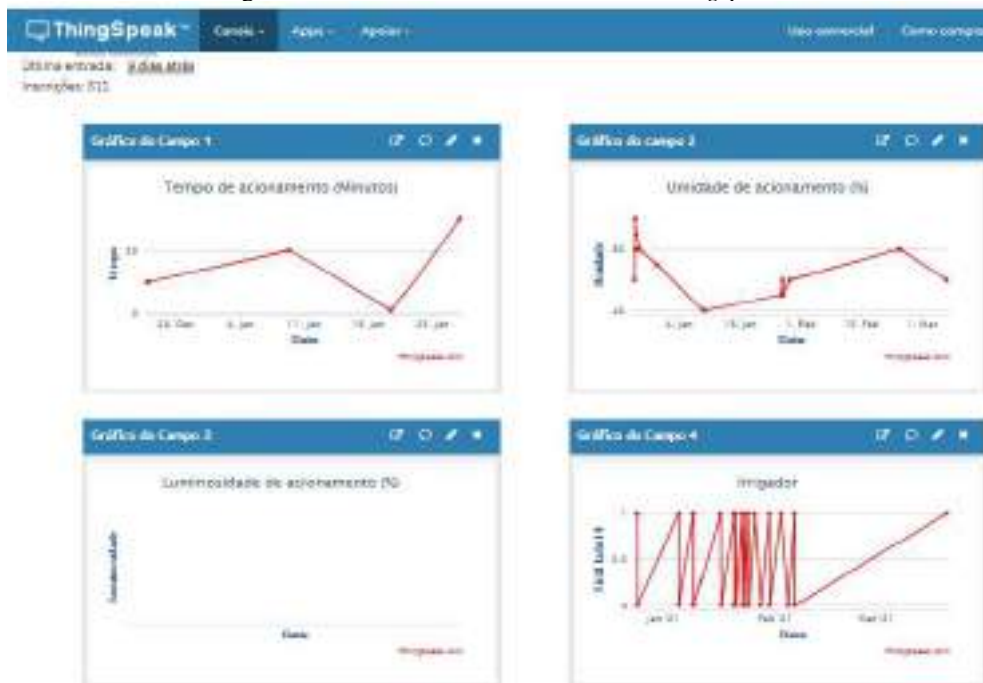


Fonte: Imagem do autor, 2020.

Cada canal armazena um tipo de informação diferente. Isso é possível porque cada um recebe uma espécie de denominação (*Field*) do próprio aplicativo. Essa denominação permite a organização das informações. A figura 46 apresenta as informações referentes ao tempo de irrigação, à umidade, à luminosidade de acionamento da irrigação e o estado da irrigação, ou seja, se está em funcionamento ou não. A figura 47 apresenta as

informações referentes aos sensores de nível, luminosidade, sensor de fluxo de água e o estado do relé que aciona a válvula solenoide.

Figura 46 – *Fields* da tela de controle do *Thingspeak*.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Figura 47 – *Fields* dos sensores no *Thingspeak*.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

3.1.5 PROGRAMAÇÃO

Uma das etapas mais importantes do projeto foi a programação, pois, foi através dela que foram estabelecidas as operações utilizadas para tratar as leituras realizadas pelos sensores, e as condições a partir das quais os dispositivos seriam acionados e os dados seriam enviados para o *Thingspeak*.

Como toda programação, foi iniciada a declaração de variáveis principais e auxiliares que foram utilizadas nas operações e armazenamento das leituras dos sensores. Em seguida, foram declaradas funções para auxiliar a conversão das variáveis e a comunicação com o aplicativo. Na *Void setup* foram definidos os pinos e seus estados de atuação e no *Void loop* foram feitas comparações, leituras, envio e recepção de informações.

Dentre as funções que foram utilizadas no projeto, destacam-se as seguintes: “*void conectaWiFi*”, “*void tingspeak*” e “*void IRAM_ATTR resetModule*”. Na figura 48 é possível observar a função “*void conectaWiFi() {}*”. Esta função possibilitou a conexão da ESP32 a WIFI, o que foi de suma importância no projeto, uma vez que por meio do aplicativo foi possível acompanhar as leituras realizadas pelos sensores e acionar a válvula solenoide por meio de um botão.

Figura 48 – Função para conexão da ESP32 a WIFI.

```
void conectaWiFi() {

    if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
        return;
    }

    Serial.print("Conectando-se na rede: ");
    Serial.print(SSID);
    Serial.println(" Aguarde!");

    WiFi.begin(SSID, PASSWORD); // Conecta na rede WI-FI
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(1000);
        Serial.println(".");
    }

}
```

Fonte: Imagem do autor, 2020.

Na figura 49 temos a função “*void thingspeak*”. Esta função permite o armazenamento dos dados provenientes da plantação na internet. Cada *Field* se refere a um canal do *thingspeak*, que foi utilizado para armazenar as variáveis de leitura do projeto. Os argumentos para utilizar essa função são a chave e as variáveis.

Figura 49 – Função *void thingspeak* para armazenamento dos dados.

```
void thingspeak(String chave, float var, float var2, float var3, float var4, float var5, float var6 ) {
    String postStrU = chave;
    postStrU += "&field1="; // Leira 1
    postStrU += String(var);
    postStrU += "\r\n\r\n";
    postStrU += "&field2="; // Leira 2
    postStrU += String(var2);
    postStrU += "\r\n\r\n";
    postStrU += "&field3="; // Leira 3
    postStrU += String(var3);
    postStrU += "\r\n\r\n";
    postStrU += "&field4="; // Leira 1
    postStrU += String(var4);
    postStrU += "\r\n\r\n";
    postStrU += "&field5="; // Leira 2
    postStrU += String(var5);
    postStrU += "\r\n\r\n";
    postStrU += "&field6="; // Leira 3
    postStrU += String(var6);
    postStrU += "\r\n\r\n";
    client.print("POST /update HTTP/1.1\n");
    client.print("Host: api.thingspeak.com\n");
    client.print("Connection: close\n");
    client.print("X-THINGSPEAKAPIKEY: " + chave + "\n");
    client.print("Content-Type: application/x-www-form-urlencoded\n");
    client.print("Content-Length: ");
    client.print(postStrU.length());
    client.print("\n\n");
}
```

Fonte: Imagem do autor, 2020.

Na figura 50 temos outra função muito importante, a void “*IRAM_ATTR resetModule(){}*”. Durante os primeiros dias de implementação do sistema, foi verificado que depois de certo tempo a ESP32 não conseguia mais se conectar ao wifi e nem realizar leituras, ou seja, travava e interrompia todo o processo de leitura de variáveis e envio destas ao *thingspeak*. Para sanar esse problema foi implementada a função *Watchdog Timer*, que serve para o sistema não permanecer travado caso ocorra alguma falha de *software* ou *hardware*. Assim, era reiniciada automaticamente caso o módulo ESP32 não se conectasse ao WIFI do terreno.

Figura 50 – Função *Watchdog*.

```
void IRAM_ATTR resetModule() {
    ets_printf("(watchdog) reiniciar\n"); //imprime no log
    esp_restart(); //reinicia o chip
}
```

Fonte: Imagem do autor, 2020.

Para realizar o acionamento da válvula a partir do aplicativo, foi utilizada a função "ThingSpeak.read LongField (número 4, chave leitura)". Ela possui como argumentos um número, que é um valor pré-definido ("1" para ligar e "0" para desligar), uma *Field*, que já foi estabelecida como sendo a de número "4" e por último a chave de leitura. No apêndice A é possível ver toda a programação utilizada durante o projeto.

3.1.6 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

“O primeiro passo para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico é o levantamento do consumo de energia elétrica”. (VILLALVA e GAZOLI,2013, p. 141). A partir disso, foi feita a medição da corrente da placa utilizada no projeto e de todos os outros componentes atrelados a ela para calcular a potência consumida durante o período de um dia de funcionamento do sistema.

Outra variável muito importante para o dimensionamento do sistema é o tempo de uso do aparelho durante o dia. “Para fazer o cálculo de energia é necessário saber quantas horas por dia o aparelho é utilizado” (VILLALVA e GAZOLI,2013, p. 141). Na tabela 1 a baixo é possível ver a lista de potência dos componentes do sistema e do período médio de funcionamento deles.

Tabela 1 –Potência dos componentes do sistema e período diário médio de funcionamento.

Componentes do sistema	Corrente (A)	Tensão (V)	Potência (W)	Tempo de uso (h)
Placa do circuito de controle com todos os sensores	0,8	12	9,6	24
Válvula solenoide	0,4	12	4,8	8
3 Lâmpadas de LED	0,123	220	27	12

Fonte: Imagem do autor, 2020.

Para o cálculo individual da energia consumida pelos componentes do sistema, temos:

$$E_c = P \times T, \quad (1)$$

Em que E_c é a energia consumida em watts-horas [Wh]; P é a Potência em watts[W] e T é o tempo de uso em horas [h]. A partir disso, a energia diária total necessária, foi calculada e mostrada na tabela 2. Resultando em uma energia consumida diariamente pelo sistema de 592,8 Wh.

Tabela 2 – Cálculo da energia necessária diariamente.

Componentes do sistema	Potência (W)	Tempo (h)	Energia (Wh)
Placa do circuito de controle com todos os sensores	9,6	24	230,4
Válvula solenoide	4,8	8	38,4
3 Lâmpadas de LED	27	12	324

Fonte: Imagem do autor, 2020.

Como o controlador de carga disponível era o PWM RBL-20A LCD 20A com tensão de trabalho: 12V/24V Automático, Corrente de carga: 20A, Corrente de descarga: 20A, Tensão máxima de entrada em painéis: <23V (bateria 12V) e <46V (bateria 24V), sem o sistema de MPPT (Rastreamento do ponto de máxima potência do módulo). Foi utilizado o método da corrente máxima do módulo para calcular a energia produzida pelos módulos fotovoltaicos.

Pois, segundo Villalva e Gazoli, (2013) como o controlador de carga não está equipado com o sistema de MPPT, o qual se busca a máxima eficiência dos módulos automaticamente, o módulo é então impossibilitado de trabalhar em seu ponto de máxima operação e fica condicionado ao ponto de operação imposto pela tensão da bateria.

Para a alimentação do sistema foram escolhidos 2 painéis fotovoltaicos, de 100 Wp (73.6Wp em NOCT) cada um, da empresa *Resun Solar Energy Co., Ltda.* A potência total de pico foi de 200 W, ligados em paralelo, com uma máxima tensão de 17.4 V, corrente de 11.5 A a uma eficiência de 15,44%.

Para o cálculo da energia produzida pelo módulo nesse método foi utilizado a seguinte fórmula:

$$E_p = P_M \times H_S, \quad (2)$$

Em que E_p é a energia produzida pelo módulo diariamente [Wh]; P_M é a Potência do módulo [W] e H_S é as horas diárias de insolação [h]. Para um cálculo mais preciso da energia produzida na região foram utilizadas as condições normais de operação do módulo (NOCT), pois os cálculos produzidos em condições padrão de teste do módulo (STC) poderiam mostrar uma realidade não compatível com a prática.

Levando em consideração que a quantidade de horas diárias de insolação na região é de 5,52, a energia diária total produzida por um módulo foi calculada em 406,272Wh, o que resulta assim, em uma energia total produzida pelos dois módulos de 812,544 Wh. À vista disso 27% a mais do que o necessário para abastecer o sistema de irrigação.

O próximo passo é dimensionar a bateria do sistema, “O dimensionamento do banco de baterias do sistema fotovoltaico consiste em determinar os tipos, a quantidade e a forma de organização das baterias utilizadas”. (VILLALVA e GAZOLI,2013, p. 139). O autor ainda continua com a seguinte explicação:

O dimensionamento começa a partir do valor da energia que precisa ser armazenada que depende da energia demandada pelos consumidores (energia consumida) e da profundidade de descarga permitida nas baterias. A energia consumida deve ser conhecida para cada sistema fotovoltaico específico.

A energia armazenada pela bateria é calculada pela fórmula:

$$E_A = E_C / P_D, \quad (3)$$

Em que E_A é a energia armazenada no banco de baterias [Wh]; E_C é a energia consumida [Wh] e P_D é a profundidade de descarga [%]. Levando em consideração uma energia consumida diariamente de 592,8 Wh e uma profundidade de descarga intermediária de 50%, pensando na vida útil da bateria. Isso resultou em 1185,6 Wh, com isso é possível calcular a capacidade necessária da bateria.

A capacidade da bateria é determinada pela fórmula:

$$C_{bateria} = E_A / V_B, \quad (4)$$

Em que $C_{bateria}$ é a capacidade da bateria em ampère-hora [Ah]; E_A é a energia armazenada na bateria [Wh] e V_B é a tensão do banco de baterias [V]. Levando em

consideração uma energia armazenada para um dia de abastecimento do sistema sem energia de 1185,6 Wh e a tensão da bateria de 12V. Isso resultou em uma bateria de 98Ah para abastecer o sistema. Na prática, foi comprada uma bateria FREEDOM estacionária, cujo modelo foi DF2000 de 115 Ah.

Para a iluminação do local foram colocadas 3 lâmpadas de LED de 9 W e um Inversor 12V/220V PWM de onda modificada da empresa HAYONIK, modelo PW12-8, com uma tensão de entrada entre 10.5 e 15 Vdc, uma tensão de saída entre 202 e 231 Vac, potência de saída (contínua) de 500 W, eficiência maior que 80 %, frequência entre 57 e 63 Hz, uma corrente máxima de entrada 52 A e uma corrente máxima de saída de 3,93 A.

3.2 MONTAGEM NO LOCAL

Com o circuito elétrico desenvolvido, o aplicativo para monitoramento remoto em finalização e a obtenção dos demais materiais, foi dado início à construção das estruturas de grande porte para a implementação do projeto. Com as análises de algumas opções, tendo como critérios a distância e o acesso, foi escolhido o local para a construção da plantação. A área está situada na rua General Ivo Borges da Fonseca Neto, bairro do José Américo de Almeida na cidade de João Pessoa, estado da Paraíba. CEP 58074-665.

3.2.1 LIMPEZA DO LOCAL E CONSTRUÇÃO DAS LEIRAS

Às 8 horas da manhã do dia 21 de novembro de 2020 foi dado início à implementação do projeto no terreno da plantação, o qual foi encontrado de modo impróprio para a realização do trabalho, pela falta de segurança aos membros do projeto, pela dificuldade na locomoção e pelo desenvolvimento da plantação de modo ineficiente. Logo, fez-se necessário fazer uma limpeza de pelo menos uma área que contivesse as leiras e seus espaçamentos devidos.

Para isso foi preciso realizar a retirada de folhas, pedaços de galhos e troncos, e alguns entulhos. Logo em seguida foi passado o ciscador para uma melhor limpeza do solo e também houve o corte de alguns galhos das árvores próximas para evitar sombreamento indesejado nas leiras. As figuras 51 e 52 mostram o antes e o depois, respectivamente.

Figura 51 – Estado inicial do terreno.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Figura 52 – Estado após a limpeza.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

No dia 28 de novembro de 2020 foi iniciada a construção de três leiras com cada uma medindo 5,3 metros de comprimento, 80 centímetros de largura de base e 30

centímetros de altura. A distância entre a borda de uma leira para a outra foi de 40 centímetros e a distância entre o pico de uma leira para a outra foi de 1,1 metros. Claramente as medições não se encaixam perfeitamente devido à não uniformidade que o solo apresenta e assim facilmente seus picos se desfazem. A figura 53 mostra o resultado da construção das leiras.

Figura 53 – Resultado das leiras.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Assim, a área da plantação foi de 5.3 x 3.20 m. Após a construção, o solo foi irrigado e 50 ramas de batatas-doces plantadas, com um espaçamento de 30 centímetros entre elas. O tamanho médio das ramas foi de 30 centímetros de comprimento. A figura 54 apresenta as 50 ramas plantadas.

Figura 54 – Leiras com 50 ramas plantadas.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

O sistema de irrigação por gotejamento não se iniciou no mesmo dia da construção da plantação, por isso nos primeiros 15 dias a irrigação foi feita manualmente

com a abertura do registro presente em um dos canos antes da conexão com as mangueiras gotejadoras, que serão abordadas posteriormente.

Algumas ameaças foram encontradas no local devido à presença de galinhas. Como havia o risco dessas aves se alimentarem das folhas e dos tubérculos e destruírem as leiras, o acesso delas foi bloqueado com uma base de madeira. Infelizmente não foi eficaz e depois de uma semana foi identificado uma parcela da plantação com as ramas destruídas. Para evitar a repetição deste acontecimento foi preciso construir uma cerca de arame que bloqueasse o acesso das galinhas de modo mais amplo. A consequência deste fato foi o retrabalho em plantar novas ramas.

3.2.2 RESERVATÓRIO DE ÁGUA E PAINÉIS SOLARES

Outra estrutura de grande porte construída no local foi a de fixação e posicionamento adequado do reservatório de água e dos painéis solares. Para isso foi erguida uma torre de 10 peças de andaimes, totalizando 5 metros de altura. Em seu topo ficaram posicionados os painéis solares e o reservatório logo abaixo deste. Isso é mostrado nas figuras 55 e 56.

Figura 55 – Estrutura vista de costa.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Figura 56 – Estrutura vista de frente.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Para a fixação do sistema fotovoltaico, foi construída manualmente uma base de duas escadas de madeiras Maçaranduba encontradas no próprio terreno. Então, elas foram unidas e parafusadas com barras do tipo roscadas de 3/8", dessa forma conseguiu-se obter

uma base firme e de material resistente à exposição em ambiente de sol e chuva. As placas solares foram parafusadas na base com uma inclinação de 10° em relação à base, para impedir o acúmulo de sujeiras e facilitar no momento da limpeza. A figura 44 (a) e (b) mostra a construção dessa estrutura.

Figura 57 – Estrutura vista de costa.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Figura 58 – Estrutura vista lateral.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Através de cordas, a estrutura dos painéis solares foi elevada até o topo da torre de andaimes, atingindo uma altura de 5 metros em relação ao chão, aproximadamente. Como as placas já estavam com o ângulo de inclinação correto em relação à horizontal, foi preciso apenas o ajuste do ângulo azimutal na direção Norte geográfico. Posteriormente, os painéis solares foram aterrados em uma haste de aterramento de $\frac{1}{2} \times 1,20$ m, que foi fixada ao solo do terreno.

3.2.3 PASSAGEM DOS CABOS E MONTAGEM DOS EQUIPAMENTOS NO LOCAL

Uma pequena estrutura de cobertura também foi montada para servir de cabana e proteger a placa de circuito impresso, que havia sido desenvolvido inicialmente, e o sistema de controle dos painéis solares. A proteção está ligada tanto às intempéries climáticas, quanto aos possíveis animais da região, pois ambos poderiam danificar o circuito de controle. As figuras 59 e 60 mostram o interior da cabana e seu perfil, respectivamente.

Nesse local foram colocadas a placa de controle do projeto, bateria estacionária, controlador de carga da bateria e inversor de tensão para os acionamentos das lâmpadas

de corrente alternada para iluminar a plantação durante o período noturno, pois no local não tinha iluminação implementada.

Figura 59 – Interior da cabana.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Figura 60 – Cabana em perfil.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Também foi realizada a instalação do cabeamento elétrico da energia solar no local, a qual foi constituída por dois cabos de 4 mm de cobre, representados na figura 61 pela cor preta e verde. Esses cabos foram dispostos, ao longo de 10 m, entre o gerador fotovoltaico e o controlador de carga. A função deste era de controlar a carga e descarga da bateria estacionária, e ambos foram conectados através de 2 cabos representados na cor preta e vermelha da figura 61. A bateria teve a função de alimentar todo o sistema durante os horários noturnos.

Figura 61 – Diagrama do sistema solar.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Para que os fios não ficassem expostos às intempéries climáticas, e aos possíveis animais da região e aos canos com passagem de água, foram introduzidos em 4 eletrodutos flexíveis de cor amarela de 20 milímetros de diâmetro, como mostra as figuras 62 e 63.

Figura 62 – Aplicação do eletroduto.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Figura 63 – Eletroduto finalizado.

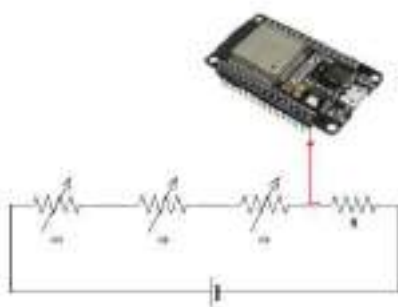


Fonte: Imagem do autor, 2020.

3.2.4 DISPOSIÇÃO DOS SENSORES

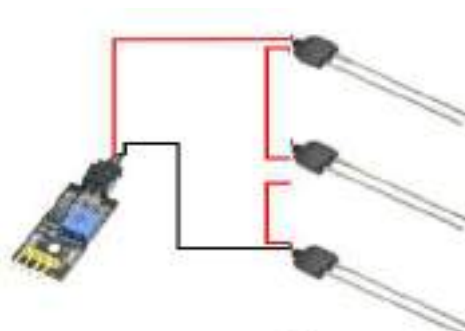
As sondas foram ligadas em série (figuras 64 e 65) e dispostas das seguintes formas: duas foram colocadas a 1 metro de distância de cada extremidade e uma foi posicionada ao centro, ou seja, a 2,5 metros de cada uma das extremidades. Já os sensores de temperatura foram posicionados no início de cada leira.

Figura 64 – Conexão série das sondas.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Figura 65 – Forma como as sondas foram ligadas.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Foram utilizados cabos de 0,75 mm para interligar os sensores, e os outros dispositivos (conectados à parte hidráulica) ao circuito de controle lógico situado na

cabana. No solo, foram utilizadas 9 sondas de sensores de umidade inoxidável e 3 de temperatura.

As sondas de umidade foram distribuídas igualmente por toda a plantação e implantadas a 20 centímetros abaixo do pico da leira, ficando próximo ao nível onde as batatas cresceram, dessa forma tivemos por leira 3 sondas.

Para uma melhor compreensão do trabalho, olhar o apêndice D, na qual é mostrado o diagrama de toda a parte elétrica e hidráulica.

3.2.5 HIDRÁULICA

Com respeito a parte hidráulica do projeto, essa foi constituída pelos canos de PVC, mangueira gotejadora, bomba hidráulica, reservatório de água. Além de envolver alguns dispositivos eletrônicos adquiridos para o projeto, um balde de 200 litros foi utilizado como reservatório de água e instalado a 4 metros de altura na torre.

No fundo do reservatório foi produzida uma abertura para a, posterior, anexação de um cano que descia ao longo da torre. Na entrada deste mesmo tubo (cano) foi fixada uma tela para filtrar a água do poço. As figuras 66 e 67 mostram o reservatório e o filtro em seu fundo, respectivamente.

Figura 66 – Reservatório.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Figura 67 – Filtro.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Ao chegar ao nível do chão, no mesmo cano foi acoplado um outro cano perpendicularmente. Neste segundo cano foi instalado o registro para o controle manual, a válvula solenoide para controle automatizado e um sensor de fluxo. A figura 68 mostra essa seção na base da torre.

No reservatório de água foram colocados 2 sensores de nível com o objetivo de se obter mais informações sobre o nível da água e dessa forma evitar possíveis problemas como falta de água ou transbordamento. Também foi utilizada uma boia elétrica para realizar o acionamento de uma bomba hidráulica nos momentos em que o reservatório se encontrava vazio.

Figura 68 – Seção com válvula e registro



Fonte: Imagem do autor, 2020.

No início da parte hidráulica se encontra a bomba hidráulica, que pode ser vista na figura 69. Ela possui uma potência de 1 CV, ou melhor 750 W, uma vazão máxima de 3000 L/hora, altura manométrica máxima de 55 mca e uma tensão nominal 127/220 V.

Figura 69 – Bomba de 1CV utilizada no projeto.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

A bomba foi posicionada ao lado de um poço, mostrado na figura 70, com 22 metros de profundidade e com o nível da água a 18 metros de profundidade situado na própria propriedade, a aproximadamente 5 metros de distância da base da torre de andaimes.

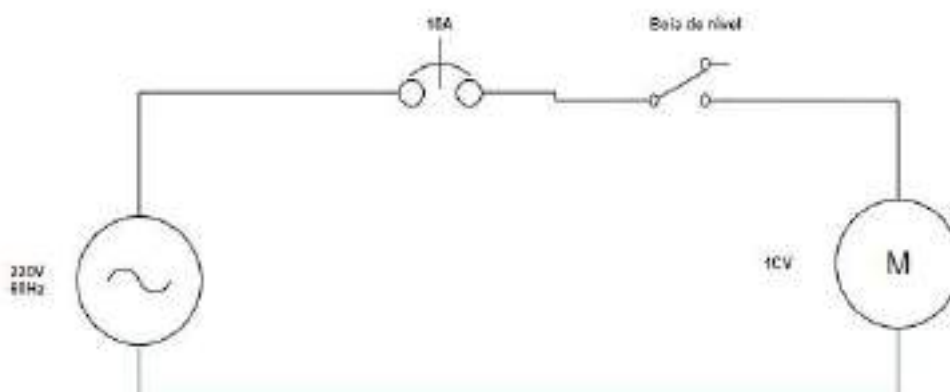
Figura 70 – Bomba de 1CV ao lado do poço.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

A água bombeada era direcionada por um único caminho de canos PVC, onde se encontrava o reservatório da água. A figura 71 apresenta um modelo de circuito utilizado para a instalação da bomba.

Figura 71 – Circuito de acionamento da bomba de 1 CV.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Na saída da bomba foi instalado um sensor de fluxo para medir o fluxo de água. Tanto para a bomba como para a estrutura de andaimes, foi estabelecido um sistema de

aterramento TT através de uma haste de aterramento, de $\frac{1}{2}$ x 1,20m de comprimento, para evitar a circulação indevida de corrente elétrica e garantir a segurança dos membros do projeto durante a construção.

3.2.6 IRRIGAÇÃO

Para a conclusão da montagem, com o uso de mais canos, foi percorrido um único caminho até chegar ao início da plantação, onde foi dividido em três entradas paralelas para a fixação das mangueiras gotejadoras (figura 72). Apesar da mangueira ter sido adquirida de modo inteiro, ela foi dividida em três partes iguais.

Figura 72 – Instalação do sistema de irrigação.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Uma das extremidades foi acoplada na entrada do cano e a outra foi amarrada de modo improvisado numa haste de ferro ao final da plantação, de modo que o único caminho para a saída da água fosse pelos gotejadores. Sendo então instalados um total de 16 metros de mangueira gotejadora. Para um caminho homogêneo e a uma certa altura do solo, foram utilizados pedras e tijolos como suportes improvisados. Na figura 73 pode ser observado o posicionamento das mangueiras durante o desenvolvimento da plantação.

Figura 73 – Sistema de irrigação durante o processo.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão mostrados e discutidos os resultados da irrigação durante todo o período do cultivo, colheita feita nas três leiras, sistema solar e eletrônico desenvolvido, dados dos sensores espalhados na área da planta de trabalho e do aplicativo obtidos no projeto, após a montagem e implementação de todo o sistema.

4.1 IRRIGAÇÃO

Durante os 4 meses, a irrigação ocorreu como esperado, o sistema foi comandado automaticamente e manualmente através do aplicativo. Durante os 20 primeiros dias a irrigação foi feita duas vezes por semana como estabelece a Embrapa, logo percebeu-se que o solo era bastante arenoso possuindo assim mais de 70% de sua composição formada por areia, com essa composição o solo possui uma grande capacidade de escoamento de água para os lençóis freáticos, não dando tempo assim de a planta absorver a água. Na figura 74 é possível ver o cultivo com 30 dias de irrigação.

Figura 74 – Plantação após os 30 dias.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Para sanar o problema do escoamento da água, a irrigação até o final do cultivo foi feita de forma diária, durante o período noturno, com isso a planta teve um melhor desenvolvimento de suas ramas. Isso é mostrado nas figuras 75,76 ,77 e 78.

Figura 75 – Plantação após 45 dias.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Figura 76 – Plantação após 60 dias.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Figura 77 – Plantação após 90 dias.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Figura 78 – Plantação após 105 dias.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

No dia 23 de dezembro de 2020 foi feita uma adubação, a qual se deu da seguinte forma: na superfície da leira foi aplicado esterco de galinha, mais precisamente na altura aproximada de onde estavam as ramas. Tal adubação foi feita uma única vez, o que pode ter provocado um efeito indesejado, devido a sua incorreta aplicação, visto que este suplemento orgânico seria necessário e mais eficaz se aplicado durante a formação das leiras utilizando a técnica de revolvimento do solo.

4.2 COLHEITA

O resultado da plantação foi obtido na manhã do dia 29 de março de 2021. Para cada leira escavada não foi encontrado nenhum tubérculo em seu estágio final, pelo contrário, a maioria ainda estava em seu estágio de crescimento inicial (figura 79). Todavia, o tempo de monitoramento foi satisfatório para estabelecer parâmetros de automação do sistema implantado.

Figura 79 – Tubérculo em desenvolvimento.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Para a leira 1 foram encontrados 13 tubérculos, com massa total de 380g. Para a leira 2 foram encontrados 7 tubérculos, com massa total de 195g. Já para a leira 3, a quantidade de tubérculos foi de 8, com 128g de massa total. A figura 79 apresenta os tubérculos obtidos juntamente com a medição da massa total referente a cada leira. De todo o produto obtido, apenas 4 batatas-doces tiveram um crescimento mais avançado comparado às demais. Dessas 4 batatas, as duas mais avançadas tiveram em média 11,75 cm de comprimento e 3,5 cm de largura. As figuras 80, 81 e 82 apresentam uma visão mais detalhada do obtido.

Figura 80 – Resultado da pesagem das leiras.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Figura 81 – O melhor resultado obtido.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Figura 82 – Tubérculos obtidos



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Na tabela 3, encontra-se o quantitativo de batatas obtidas a partir do sistema de irrigação por gotejamento e, notadamente, essa produção poderia ser bem maior se o cultivo permanecesse por mais dias.

Tabela 3 – Resultado final das leiras.

Produção da Batata	Leira 1	Leira 2	Leira 3
Quantidade	13	7	8
Massa total (g)	380	195	128

Fonte: Imagem do autor, 2020.

Conforme a justificativa supramencionada, os resultados no tocante a produção não foram os desejados e, isto pode ter sido obtido devido a alguns fatores ocorridos durante a execução do projeto. Um deles se trata do período de duração da plantação que, naturalmente, pode ter sido insuficiente para o tipo de solo da região. Foi estipulado um tempo de 16 semanas (4 meses) para o cultivo da batata-doce com base em pesquisas realizadas em artigos, pesquisas e sites específicos como, por exemplo, o da Embrapa e também na experiência com relação a um projeto anteriormente executado na área de irrigação pela mesma equipe.

Por mais que o resultado da colheita não tenha sido conforme o esperado, a grande quantidade de ramas desenvolvidas na plantação, serviria como alimentação bastante nutritiva para os animais bovinos, caprinos e ovinos.

4.3 ENERGIA SOLAR E ELETRÔNICA

Durante os 120 dias de desenvolvimento da batata doce, o sistema solar funcionou de forma eficiente, fornecendo potência para todo o sistema de irrigação. Para comprovar isso, medições foram realizadas no local às 11 horas do dia 12 de maio de 2021. Para tal medição foi utilizado o multímetro digital RM102 da RICHMETERS, cujas incertezas são mostradas no apêndice E.

Nesse horário a tensão fornecida pelos 2 painéis solares ao controlador de carga foi de aproximadamente 13.5V como é possível ver na figura 83. Já a tensão de circuito de circuito aberto, a qual foi medida após desconectar os painéis do controlador de carga, ficou na faixa dos 20V, como mostrado na figura 84. Esse dado é muito importante, pois através dele é possível saber se todas as células estão funcionando de forma adequada e se estão próximas do que foi estabelecido pelo fabricante. Também foi realizada a medição da tensão nos terminais da bateria, com as cargas conectadas normalmente e obteve-se um valor de tensão próximo 14.5 V (figura 85). Esse resultado foi obtido com a bateria 100% carregada e com apenas os painéis solares alimentando o sistema.

Figura 83 – Medição da tensão dos painéis.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Figura 84 – Tensão de circuito aberto.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Figura 85 – Tensão da bateria.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Utilizando o mesmo multímetro, realizou-se medições de correntes na entrada do sistema de automação sem a ativação da válvula solenoide (figura 86) e com a ativação da válvula solenoide (figura 87).

Figura 86 – Corrente do sistema sem a solenoide. Figura 87 – Corrente do sistema com a solenoide.



Fonte: Imagem do autor, 2020.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Também foram realizadas medições de tensões nas saídas dos reguladores LM7812, LM7805 e LM1117-3.3 V para constatar se estes estavam funcionando como esperado e de forma eficiente. O resultado obtido nessas medições é apresentado na figura 88. O Resultado de todas as medições do sistema são apresentadas na tabela 4.

Figura 88 – Medição da tensão dos reguladores, LM7812, LM7805 e LM1117-3.3V.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Tabela 4 – Resultado das medições realizadas no local.

Tensão com carga painéis	13.5 V	LM7812	11.76 V
Tensão de circuito aberto	20.18 - 20.55 V	LM7805	4,75 V
Tensão da bateria	14.48 V	LM1117	3.28 V
Corrente do sistema (sem solenoide)	830 mA	Corrente do sistema (com solenoide)	1.36 A

Fonte: Imagem do autor, 2020.

4.4 DADOS DOS SENSORES

Em relação ao armazenamento da temperatura e da umidade no *thingspeak*, os gráficos abaixo (figura 89) ilustram as variações em cada leira nos mesmos horários para estes dois parâmetros. Comparando as três leiras, observa-se que a leira 1 tem uma variação crescente de 46% a 60% ao longo do dia, a leira 2, por sua vez, varia de uma forma mais aleatória entre 60 e 70% de umidade, enquanto que a leira 3 tem uma variação menor, em torno do valor 70%. Esses dados foram de 21 a 22 de março de 2021, período em que houve muita chuva na região, o que contribuiu para a variação da umidade entre as leiras, uma vez que existe um certo desnível entre elas, ou seja, a leira 1 está no ponto mais alto, a leira 3 no ponto mais baixo e a leira 2 no ponto intermediário. Dessa forma, a água que cai na leira 1 esco lentamente pelas demais.

Figura 89 – Gráficos da umidade das leiras 1, 2 e 3 durante 24 horas.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Assim como os gráficos da umidade, os da temperatura (figura 90) se referem aos mesmos dias do mês de março. Analisando os três gráficos, percebe-se uma semelhança nas suas variações. Ao meio-dia às três leiras ficam com seus valores próximos de 28 °C, isto é, a leira 1 fica com 27,69 °C, a leira 2 com 28,6 °C, e a leira 3 com 27,62 °C. Essa variação entre as leiras é totalmente esperada, visto que, desconsiderando outras incertezas, o *datasheet* do próprio sensor de temperatura estabelece uma incerteza de medição de 0,5 °C

Figura 90 – Gráficos da temperatura das leiras 1, 2 e 3 durante 24 horas.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

4.5 APLICATIVO

No que concerne ao aplicativo desenvolvido na execução do projeto, tivemos um ótimo resultado, pois desde sua implementação foi possível acompanhar o projeto de forma virtual. Isso foi de grande importância para o monitoramento de todos os parâmetros do projeto, visto que houve um momento em que a bomba parou de encher o reservatório de água e esse problema só foi detectado e corrigido porque foram verificadas as respostas dos sensores de umidade do solo, dos sensores de nível e dos sensores de

fluxo. Nas figuras 91, 92, 93, 94, 95 e 96 abaixo é possível observar as telas da interface do aplicativo.

Figura 91 – Tela de ajustes.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Figura 92 – Tela de umidade e temperatura.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Figura 93 – Barra lateral.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Figura 95 – Tela de hidráulica.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Figura 94 – Tela principal.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

Figura 96 – Tela sobre.



Fonte: Imagem do autor, 2020.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados obtidos, é possível afirmar que ocorreu uma ambiguidade no produto final. Logo, a execução do sistema elétrico e eletrônico funcionou devidamente como era esperado e, tanto o monitoramento quanto a irrigação automatizada foram realizadas de modo eficiente.

Como mostrado nos resultados, o sistema fotovoltaico foi motivo de grande sucesso, pois funcionou como previsto, fornecendo energia elétrica para todo o sistema durante os 120 dias da cultura, transformando assim o sistema em autônomo e trazendo sustentabilidade para o projeto.

A implantação desse sistema de monitoramento, seja no cultivo da batata-doce ou de outras culturas, pode favorecer o agricultor e trazer vários benefícios, tais como: a otimização de custo com mão-de-obra, facilidade de monitorar em tempo real todo o período de cultivo, agilidade na correção de deficiência hídrica e crescimento da planta, controle total da umidade no solo do perímetro irrigado, tanto em períodos de seca quanto de chuva intensa.

No tocante à produtividade, a colheita de batata doce não foi como esperada e, tal fato foi decorrente de motivos como, poucos nutrientes no solo e tempo de cultivo. A correção destes fatores supramencionados no tempo hábil poderia empregar qualidade e tamanho no produto obtido. Não é um exagero ao afirmar que a análise da composição do solo tem grande potencial para a obtenção de resultados mais proveitosos no tocante a produtividade e, a correção com adubação orgânica tornaria a plantação mais eficiente porque estaria eliminando alguma carência de nutrientes.

Por outro lado, avalia-se que o monitoramento do plantio da batata-doce aconteceu em tempo real de forma automatizada e sem interferência, comprovando assim, a eficiência do sistema proposto. Esta realidade favorece a resolução do problema trazido na premissa básica do trabalho, que era encontrar o equilíbrio no controle do plantio da batata-doce durante o monitoramento remoto. Portanto, a modernização da agricultura por meio da tecnologia de monitoramento remoto traz economia hídrica e menor custo de mão-de-obra quando o sistema de irrigação é controlado a distância por aplicativos. Este fato revela que o projeto está alinhada com a proposta de levantar o nível produtivo por meio da técnica da agricultura moderna.

Nesse sentido, a implementação e criação de uma placa de circuito impresso com a tecnologia SMD (Dispositivo de Montagem Superficial), com o intuito de diminuir o

tamanho da placa e deixá-la mais compacta, pode ser adotada como uma melhoria futura, para aplicações dessa tecnologia comercialmente. Outra melhoria que também pode e deve ser adotada é um melhor ajuste dos parâmetros durante a cultura da planta que esteja sendo cultivada, tendo assim melhores resultados na colheita.

REFERÊNCIAS

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE ENERGIA ELÉTRICA 2022. Brasil: EPE, 2021-. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Fact%20Sheet%20%20Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202022.pdf>>. Acesso em 10 de outubro de 2022.

APPINVENTOR. **Sobre o appinventor**. 2022. Disponível em: <<https://appinventor.mit.edu/about-us>>. Acesso em 5 de novembro de 2022.

BARBOSA, José Wilian. **Sistema de Irrigação Automatizado Utilizando Plataforma Arduino**. Orientador: Osmar Aparecido Machado. 2013. 57f. TCC(Graduação)- Curso de Ciências da Computação, Fundação Educacional Município Assis. 2013. Disponível em: <<https://cepein.femanet.com.br/BDigital/arqTccs/1011330043.pdf>>. Acesso em 01 outubro de 2020.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, C. E. **Manual de irrigação**. 8. Ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2008.

BLOG DA CURTA. **Conhecendo o ESP32**: Conhecendo a placa DOIT ESP32. 2018. Disponível em: <<https://curtocircuito.com.br/blog/Categoria%20IoT/conhecendo-esp32>>. Acesso em 17 de agosto de 2021.

BOYLESTAD, R.; NASHELSKY, L. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**, 11. Ed. São Paulo: Pearson Education, 2013.

CHRISTOFIDIS, D. Como obter a sustentabilidade dos recursos hídricos na agricultura irrigada? Irrigação & Tecnologia Moderna. Brasília, DF, v. 64, p. 30-31, 2004.

COELHO, Eugênio F. et al. **Sistemas e Manejo de Irrigação de Baixo Custo para Agricultura Familiar**. Cruz das Almas, BA: EMBRAPA, 2014. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1005748/sistemas-e-manejo-de-irrigacao-de-baixo-custo-para-agricultura-familiar>> Acesso em 17 de agosto de 2020.

CPT CURSOS PRESENCIAIS. **Saiba mais sobre irrigação por gotejamento e seus benefícios**. 2021. Disponível em: <<https://www.cptcursospresenciais.com.br/blog/irrigacao-por-gotejamento/>>. Acesso em 17 de agosto de 2022.

EMBRAPA. **Água na agricultura**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agua-na-agricultura/perguntas-e-respostas#:~:text=Dados%20do%20Programa%20Mundial%20de,percentual%20pode%20chegar%20a%2090%25>>. Acesso em 17 de outubro de 2022.

EMBRAPA. **O desafio do uso da água na agricultura brasileira** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agua-na-agricultura/sobre-o-tema>>. Acesso em 19 de junho de 2020.

FUENTES, Rodrigo Cardozo. *In: Sensores*. FUENTES, Rodrigo Cardozo. **Apostila de Automação Industrial**. Santa Maria, RS:UFSM,2005. Disponível em:<http://w3.ufsm.br/fuentes/index_arquivos/CA03.pdf>. Acesso em 24 de novembro de 2020.

HAGGE, Cesar. V. M. **Dimensionamento de sistema fotovoltaico conectado à rede**. 1. Ed. Brasil, 2019.

HIDRO SISTEMAS. **Gotejamento**. Disponível em:<<http://www.hidrosistemas.com/irrigacao-agricola/gotejamento/>> Acesso em 19 de junho de 2020.

JUNIOR, R. N. F.; ZARPELON, L. M. C.; SERNA, M. M. **Baterias Recarregáveis: Introdução aos materiais e cálculos**. 1. Ed. São Paulo: Artliber Editora Ltda, 2014.

MALVINO, A.P.; BATES, J. D. **Eletrônica: volume 1**. 7. ed. São Paulo: Makron Books, 2007.

MATHIAS, João. **GLOBORURAL: Como plantar batata-doce**. 2017. Disponível em:<<https://revistagloborural.globo.com/vida-na-fazenda/como-plantar/noticia/2017/02/como-plantar-batata-doce.html>>. Acesso em 24 de junho de 2020.

MAXIMINTEGRATED. **Datasheet: DS18B20**. Disponível em:<<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>> Acesso em 17 de agosto de 2020.

NISE, N. S. **Engenharia de sistemas de controle**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017. 772 p. ISBN 8521634358.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de Controle Moderno**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

OLIVEIRA, Carlos A.S.; VALADÃO, Lúcio T. **Comunicado-Técnico da Embrapa 3: Hortaliças Manejo da água do solo no cultivo da batata**. 1997

QUEIROZ, D. M. *et al.* **Sensores aplicados à Agricultura Digital: Uma revisão**. Fortaleza, CE: UFC, 2020. Disponível em:<<https://www.scielo.br/j/rca/a/wpRcKwcN4kmzQXYC8fNLJWv/?lang=en&format=pdf>>. Acesso em 24 de novembro de 2020.

REBOUÇAS, C. A. **Água e desenvolvimento rural**. Brasil: Scielo, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142001000300024&script=sci_arttext&tlng=es>. Acesso em 25 de junho de 2020.

SEDRA, A.S.; SMITH, K.C. **Microeletrônica**. 5. Ed. São Paulo: Pearson Education, 2007.

SILICON NPN POWER TRANSISTORS. **Datasheet: TIP31/31A/31B/31C.**

Disponível em: <<https://www.hobbytronics.co.uk/datasheets/TIP31.pdf>> Acesso em 17 de julho de 2020.

THINGSPEAK. **ThingSpeak para projetos de IoT.** 2022. Disponível em: <<https://thingspeak.com/>>. Acesso em 10 de novembro de 2022.

THOMSEN, Adilson. **Medindo temperatura debaixo d'água com DS18B20.** 2015. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/blog/sensor-de-fluxo-de-agua-arduino-como-sensor-de-vazao-para-projetos/>>. Acesso em 17 de agosto de 2020.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e aplicações, Sistemas Isolados e Conectado à Rede.** 1. Ed. São Paulo: Editoria Érica Ltda, 2013.

APÊNDICE A – PROGRAMAÇÃO DA ESP32

```
//INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAIBA
//Campus João Pessoa
//Bacharelado em Engenharia elétrica
//SISTEMA MONITORADO DE GOTEJAMENTO E FERTIRRIGAÇÃO
//AUTOMATIZADOS NA CULTURA DE BATATA DOCE
//Ultima modificação 09/12/2020

#include <OneWire.h> //Biblioteca de comunicação de apenas 1 fio
#include <DallasTemperature.h> //Biblioteca do Sensor DS18B20
#include <WiFiClient.h> //Biblioteca da wifi
#include <WiFi.h> //Biblioteca da WIFI
#include "ThingSpeak.h" //Biblioteca do ThingSpeak

#define SSID "INET TELECOM 98800-7937 JOSE" //Nome da Wifi
#define PASSWORD "17091962" //Senha da Wifi

//define SSID "brisa-931137" //Nome da WiFi
//define PASSWORD "qvx8rof" //Senha da Wifi

String apiKeyumi = "YNUH28STA6M9GBCM" ; // Chave de acesso para o ThingSpeak envio de dados 1
String apiKeygeral = "OE2IKIPS5IY3HW4B"; // Chave de acesso para o ThingSpeak envio de dados 2
String apiKeyretorno = "6KLN6DIZKODCVVCK"; // Chave de acesso para o ThingSpeak envio de dados 3
const char* chave_leitura = "OMWS0EEQOIZTQ5E1"; // Chave de acesso para o ThingSpeak leitura dos dados 1
const char* chave_leitura_retorno = "NFRV057T7HKXOA89"; // Chave de acesso para o ThingSpeak leitura dos dados 2
unsigned long numero = 1246187; // ID de acesso para o ThingSpeak Leitura dos dados 1
unsigned long idretorno = 1262845; // ID de acesso para o ThingSpeak Leitura dos dados 2
const char* server = "api.thingspeak.com"; //Servidor thingspeak

WiFiClient client;

//Definindo porta dos sensores
#####
const int portaVazao_1 = GPIO_NUM_19; //Definindo porta do 1º sensor de vazão
const int portaVazao_2 = GPIO_NUM_21; //Definindo porta do 2º sensor de vazão
const int oneWireBus_1 = 4; //Definindo porta do 1º sensor de temperatura
const int oneWireBus_2 = 5; //Definindo porta do 2º sensor de temperatura
const int oneWireBus_3 = 18; //Definindo porta do 3º sensor de temperatura
int nivel_1 = 23; //Definindo porta do 1º sensor de nível
int nivel_2 = 22; //Definindo porta do 2º sensor de nível
int sensor_umidade_1 = 35; //Definindo porta do 1º sensor de umidade
int sensor_umidade_2 = 34; //Definindo porta do 1º sensor de umidade
int sensor_umidade_3 = 32; //Definindo porta do 1º sensor de umidade
int ldr = 33; //Definindo sensor de luminosidade
int rele = 2; //Definindo porta do relé
#####

hw_timer_t *timer = NULL; //faz o controle do temporizador (interrupção por tempo)

static void atualizaVazao();
volatile int pulsos_vazao_1 = 0;
float vazao_1 = 0;
volatile int pulsos_vazao_2 = 0;
float vazao_2 = 0;

void IRAM_ATTR gpio_isr_handler_up_1(void* arg)
{
    pulsos_vazao_1++;
    portYIELD_FROM_ISR();
}

void IRAM_ATTR gpio_isr_handler_up_2(void* arg)
{

```

```

pulsos_vazao_2++;
portYIELD_FROM_ISR();
}

//função que o temporizador irá chamar, para reiniciar o ESP32
void IRAM_ATTR resetModule(){
  ets_printf("watchdog reiniciar\n"); //imprime no log
  esp_restart(); //reinicia o chip
}
// Inicializando o 1º sensor de vazão com interrupção na subida de um pulso
#####
void iniciaVazao_1(gpio_num_t Port) {
  gpio_set_direction(Port, GPIO_MODE_INPUT);
  gpio_set_intr_type(Port, GPIO_INTR_NEGEDGE);
  gpio_set_pull_mode(Port, GPIO_PULLUP_ONLY);
  gpio_intr_enable(Port);
  gpio_install_isr_service(0);
  gpio_isr_handler_add(Port, gpio_isr_handler_up_1, (void*) Port);
}
#####

// Inicializando o 2º sensor de vazão com interrupção na subida de um pulso
#####
void iniciaVazao_2(gpio_num_t Port) {
  gpio_set_direction(Port, GPIO_MODE_INPUT);
  gpio_set_intr_type(Port, GPIO_INTR_NEGEDGE);
  gpio_set_pull_mode(Port, GPIO_PULLUP_ONLY);
  gpio_intr_enable(Port);
  gpio_install_isr_service(0);
  gpio_isr_handler_add(Port, gpio_isr_handler_up_2, (void*) Port);
}
#####

void tingspeak(String chave, float var, float var2, float var3, float var4, float var5, float var6) {
  String postStrU = chave;
  postStrU += "&field1="; // Leira 1
  postStrU += String(var);
  postStrU += "\r\n\r\n";
  postStrU += "&field2="; // Leira 2
  postStrU += String(var2);
  postStrU += "\r\n\r\n";
  postStrU += "&field3="; // Leira 3
  postStrU += String(var3);
  postStrU += "\r\n\r\n";
  postStrU += "&field4="; // Leira 1
  postStrU += String(var4);
  postStrU += "\r\n\r\n";
  postStrU += "&field5="; // Leira 2
  postStrU += String(var5);
  postStrU += "\r\n\r\n";
  postStrU += "&field6="; // Leira 3
  postStrU += String(var6);
  postStrU += "\r\n\r\n";
  client.print("POST /update HTTP/1.1\n");
  client.print("Host: api.thingspeak.com\n");
  client.print("Connection: close\n");
  client.print("X-THINGSPEAKAPIKEY: " + chave + "\n");
  client.print("Content-Type: application/x-www-form-urlencoded\n");
  client.print("Content-Length: ");
  client.print(postStrU.length());
  client.print("\n\n");
  client.print(postStrU);
}

}

void conectaWiFi() {

```

```

if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
  return;
}

Serial.print("Conectando-se na rede: ");
Serial.print(SSID);
Serial.println(" Aguarde!");

WiFi.begin(SSID, PASSWORD); // Conecta na rede WI-FI
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  delay(1000);
  Serial.println(".");
}
}

OneWire oneWire_1(oneWireBus_1); // Define uma instancia do oneWire para comunicacao com o sensor
OneWire oneWire_2(oneWireBus_2); // Define uma instancia do oneWire para comunicacao com o sensor
OneWire oneWire_3(oneWireBus_3); // Define uma instancia do oneWire para comunicacao com o sensor

DallasTemperature sensors1(&oneWire_1);
DallasTemperature sensors2(&oneWire_2);
DallasTemperature sensors3(&oneWire_3);

int rele_valor = 0;

float por cento_umidade_1; //Declarando variável para salvar o valor da umidade do 1° sensor de umidade em
porcentagem
float por cento_umidade_2; //Declarando variável para salvar o valor da umidade do 2° sensor de umidade em
porcentagem
float por cento_umidade_3; //Declarando variável para salvar o valor da umidade do 3° sensor de umidade em
porcentagem
float media_umidade = 0; //Declarando variável para salvar o valor da umidade média dos sensores de umidade

float temperatureC1; //Declarando variável para salvar o valor da temperatura do 1° sensor
float temperatureC2; //Declarando variável para salvar o valor da temperatura do 2° sensor
float temperatureC3; //Declarando variável para salvar o valor da temperatura do 3° sensor

int N1; //Declarando variável para salvar o valor do nível do 1° sensor
int N2; //Declarando variável para salvar o valor do nível do 2° sensor

float LDR; //Declarando variável para salvar o valor da luminosidade

unsigned long tempo_inicial_loop = 0; //Declarando variável para salvar o tempo inicial do loop
long tempo_loop = 0; //Declarando variável para salvar o tempo de cada loop
long tempo_total = 0; //Declarando variável para salvar o tempo total dos loop's

int aux2 = 1;
int aux = 0;

void setup()
{
  Serial.begin(115200); // iniciando a comunicação serial
  ThingSpeak.begin(client);

  iniciaVazao_1((gpio_num_t) portaVazao_1); //Inicializando o 1° sensor de vazão
  iniciaVazao_2((gpio_num_t) portaVazao_2); //Inicializando o 2° sensor de vazão
  sensors1.begin(); //Inicializando o 1° sensor de Temperatura
  sensors2.begin(); //Inicializando o 2° sensor de Temperatura
  sensors3.begin(); //Inicializando o 3° sensor de Temperatura
  pinMode(sensor_umidade_1, INPUT); //Declarando o 1° sensor de umidade como entrada
  pinMode(sensor_umidade_2, INPUT); //Declarando o 2° sensor de umidade como entrada
  pinMode(sensor_umidade_3, INPUT); //Declarando o 2° sensor de umidade como entrada

```

```

pinMode(rele, OUTPUT); //Declarando o relé como saída
pinMode(ldr, INPUT); //Declarando o sensor de luminosidade como entrada
pinMode(nivel_1, INPUT); //Declarando o 1º sensor de nível como entrada
pinMode(nivel_2, INPUT); //Declarando o 2º sensor de nível como entrada
#####

//hw_timer_t * timerBegin(uint8_t num, uint16_t divider, bool countUp)
/*
  num: é a ordem do temporizador. Podemos ter quatro temporizadores, então a ordem pode ser [0,1,2,3].
  divider: É um prescaler (reduz a frequência por fator). Para fazer um agendador de um segundo,
  usaremos o divider como 80 (clock principal do ESP32 é 80MHz). Cada instante será T = 1/(80) = 1us
  countUp: True o contador será progressivo
*/
timer = timerBegin(0, 80, true); //timerID 0, div 80
//timer, callback, interrupção de borda
timerAttachInterrupt(timer, &resetModule, true);
//timer, tempo (us), repetição
timerAlarmWrite(timer, 20000000, true);
timerAlarmEnable(timer); //habilita a interrupção

Serial.println("Reinciando.....");
}
void loop()
{
  timerWrite(timer, 0); //reseta o temporizador (alimenta o watchdog)
  conectaWiFi();
  tempo_inicial_loop = millis(); //Pegando tempo inicial do loop;

  long speak_tempo_irrigacao = ThingSpeak.readLongField (numero, 1, chave_leitura); //ler o tempo definido no
ThingSpeak
  long speak_umidade = ThingSpeak.readLongField (numero, 2, chave_leitura); //ler aumidade definida no
ThingSpeak
  long speak_luminosidade = ThingSpeak.readLongField (numero, 3, chave_leitura); //ler luminosidade definida no
ThingSpeak
  long speak_rele = ThingSpeak.readLongField (numero, 4, chave_leitura); // Ativar relé pelo ThingSpeak

  por cento_umidade_1 = map(analogRead(sensor_umidade_1), 4095, 0, 0, 100); //Lendo o sensor de umidade e
transformando para porcentagem do 1ºsensor
  por cento_umidade_2 = map(analogRead(sensor_umidade_2), 4095, 0, 0, 100); //Lendo o sensor de umidade e
transformando para porcentagem do 2ºsensor
  por cento_umidade_3 = map(analogRead(sensor_umidade_3), 4095, 0, 0, 100); //Lendo o sensor de umidade e
transformando para porcentagem do 3ºsensor

  media_umidade = (por cento_umidade_1 + por cento_umidade_2 + por cento_umidade_3) / 3; //Calculando média da
umidade

  sensors1.requestTemperatures();
  sensors2.requestTemperatures();
  sensors3.requestTemperatures();

  temperatureC1 = sensors1.getTempCByIndex(0); //Lendo o 1º sensor de temperatura
  temperatureC2 = sensors2.getTempCByIndex(0); //Lendo o 2º sensor de temperatura
  temperatureC3 = sensors3.getTempCByIndex(0); //Lendo o 3º sensor de temperatura

  LDR = (analogRead(ldr) / 40.95); //Lendo o sensor de luminosidade e transformando para porcentagem

  N1 = digitalRead(nivel_1); //Lendo o valor do sensor do 1º sensor de nível
  N2 = digitalRead(nivel_2); //Lendo o valor do sensor do 2º sensor de nível

  // Transformação dos pulsos para correspondente vazao
  vazao_1 = pulsos_vazao_1 / 5.5;
  pulsos_vazao_1 = 0;
  vazao_2 = pulsos_vazao_2 / 5.5;
  pulsos_vazao_2 = 0;

  //Printando variaveis
  Serial.print(por cento_umidade_1);

```

```

Serial.println("%: Sensor de Umidade 1 ");
Serial.print(porcento_umidade_2);
Serial.println("%: Sensor de Umidade 2");
Serial.print(porcento_umidade_3);
Serial.println("%: Sensor de Umidade 3");
Serial.print(media_umidade);
Serial.println("%: Média dos Sensores de Umidade");

Serial.print(temperatureC1);
Serial.println("°C :Sensor de temperatura 1");
Serial.print(temperatureC2);
Serial.println("°C :Sensor de temperatura 2");
Serial.print(temperatureC3);
Serial.println("°C :Sensor de temperatura 3");

Serial.print(LDR);
Serial.println(" % :LDR");

Serial.print(N1);
Serial.println(" :Sensor de nivel 1");
Serial.print(N2);
Serial.println(" :Sensor de nivel 2");

Serial.print(vazao_1);
Serial.println(" :L/m Sensor 1 de Vazao");

Serial.print(vazao_2);
Serial.println(" :L/m Sensor 2 de Vazao:");

#####
Serial.print(speak_tempo_irrigacao);
Serial.println(" Tempo de irrigação thingspeak");
Serial.print(speak_umidade);
Serial.println(" Umidade thingspeak");
Serial.print(speak_luminosidade);
Serial.println(" Luminosidade thingspeak");
Serial.print(speak_rele);
Serial.println(" Ativar rele pelo thingspeak");
int DELAY = 500;
#####
//imprime o tempo desde que o programa iniciou, em milissegundos

tempo_loop = millis() - tempo_inicial_loop; //Pegando o tempo de cada loop
tempo_total += tempo_loop + DELAY; //somando o tempo dos loop's

int tempo_esperado = 60000 * speak_tempo_irrigacao; //1 minuto

if ((media_umidade <= speak_umidade && LDR <= speak_luminosidade && aux2 == 1) || speak_rele == 1 ) {
  aux = 1;
  tempo_total = 0;
}

// Acionando o relé

if (aux == 1 && tempo_total <= tempo_esperado ) {

  digitalWrite(rele, HIGH);
  rele_valor = 1;
  Serial.print("Ligado");
  Serial.println(" :relé");

  aux2 = 0;
}

```

```

else {
  digitalWrite(rele, LOW);
  rele_valor = 0;
  Serial.print("Desligado");
  Serial.println(" :relé");
  aux2 = 1;
  aux = 0;
  if ( tempo_total > tempo_esperado + 5000) {
    tempo_total = 0;
  }
}

Serial.println("");
Serial.println(".....");
Serial.println("");

float retorno_tempo = speak_tempo_irrigacao;
float retorno_umidade = speak_umidade;
float retorno_luminosidade = speak_luminosidade;
float retorno_rele = speak_rele;

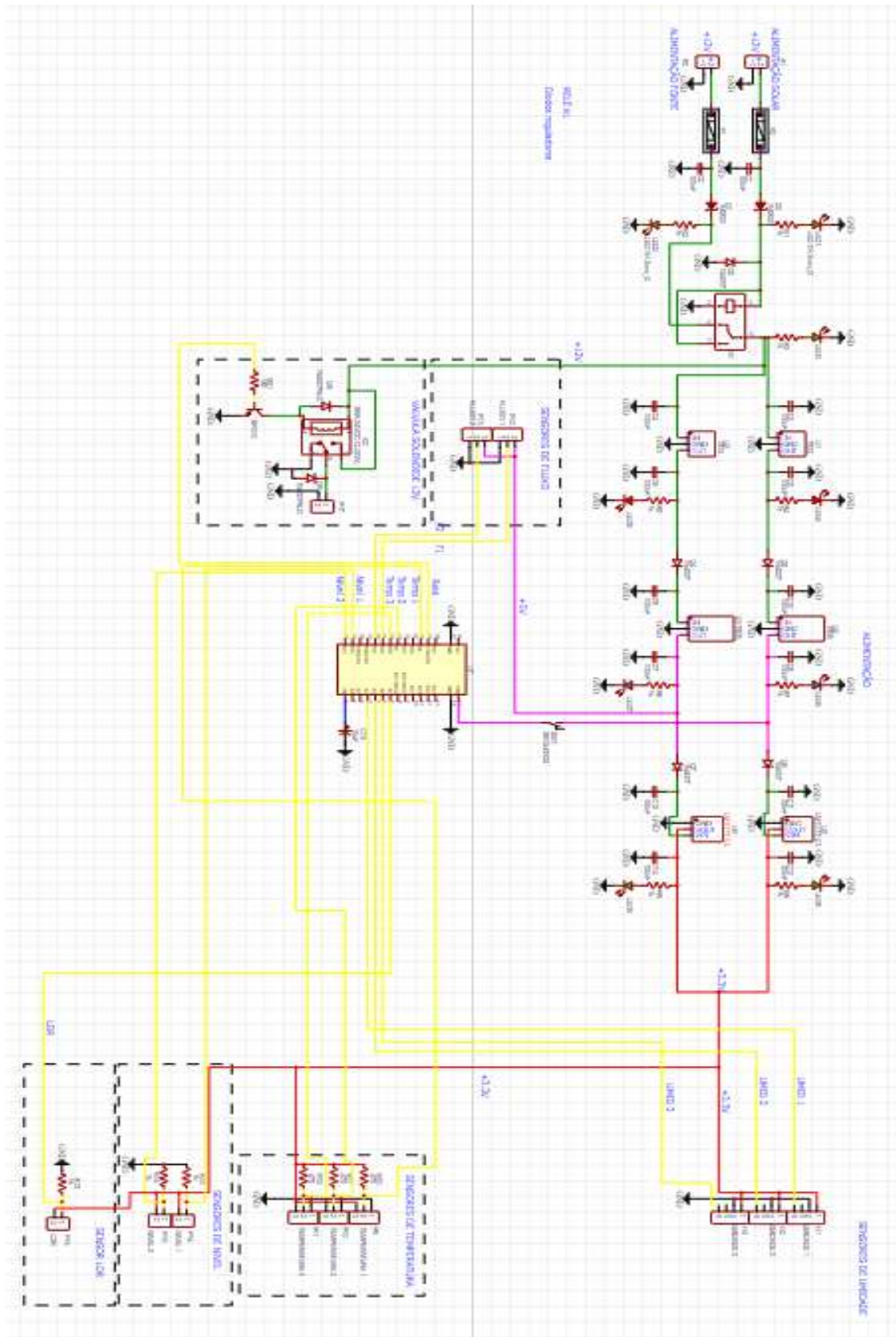
if (client.connect(server, 80)) {
  tingspeak(apiKeyumi, por cento_umidade_1, por cento_umidade_2, por cento_umidade_3, temperatureC1,
temperatureC2, temperatureC3 );
}
if (client.connect(server, 80)) {
  tingspeak(apiKeygeral, vazao_1, vazao_2, N1, N2, rele_valor, LDR );
}

if (client.connect(server, 80)) {
  tingspeak(apiKeyretorno,retorno_tempo, retorno_umidade, retorno_luminosidade, retorno_rele,1,1 );
}

delay(DELAY);
}

```

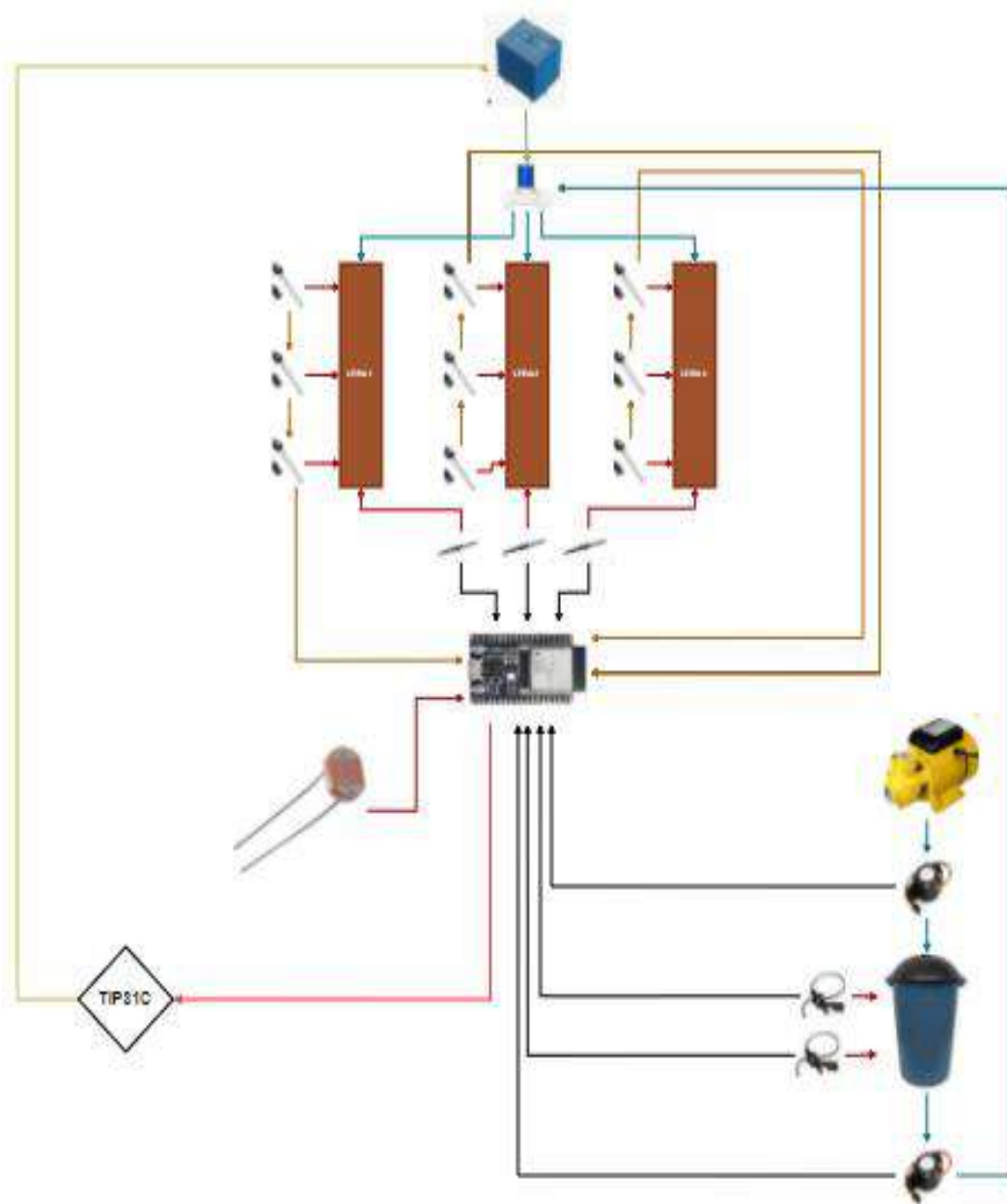
APÊNDICE B – CIRCUITO ELETRÔNICO



APÊNDICE C – USO DE CADA PINO NO MÓDULO DOIT ESP32 DEVKIT

Uso de cada pino no módulo DOIT Esp32 DevKit							
Pino	Função	Pino	Função	Pino	Função	Pino	Função
Vin	+15V Alimentação	GPIO33 ADC1_CH5	LDR 5mm	GPIO23	Bóia de nível 1	GPIO17	-
GND_1	GND Malha	GPIO32 ADC1_CH4	Sensor de umidade 1	GPIO22	Bóia de nível 2	GPIO16	-
GPIO13 ADC2_CH4	-	GPIO35 ADC1_CH7	Sensor de umidade 2	GPIO01	-	GPIO04 ADC2_CH0	Sensor de temperatura 1
GPIO12 ADC2_CH5	-	GPIO34 ADC1_CH6	Sensor de umidade 3	GPIO03	-	GPIO02 ADC2_CH2	Base do transistor
GPIO14 ADC2_CH6	-	GPIO39 ADC1_CH3	-	GPIO21	Sensor de vazão 1	GPIO15 ADC2_CH3	-
GPIO27 ADC2_CH7	-	GPIO36 ADC1_CH0	-	GPIO19	Sensor de vazão 2	GND_2	GND Malha
GPIO26 ADC2_CH9	-	EN	Capacitor 10 μ F	GPIO18	Sensor de temperatura 3	3,3V	-
GPIO25 ADC2_CH8	-	-	-	GPIO05	Sensor de temperatura 2	-	-

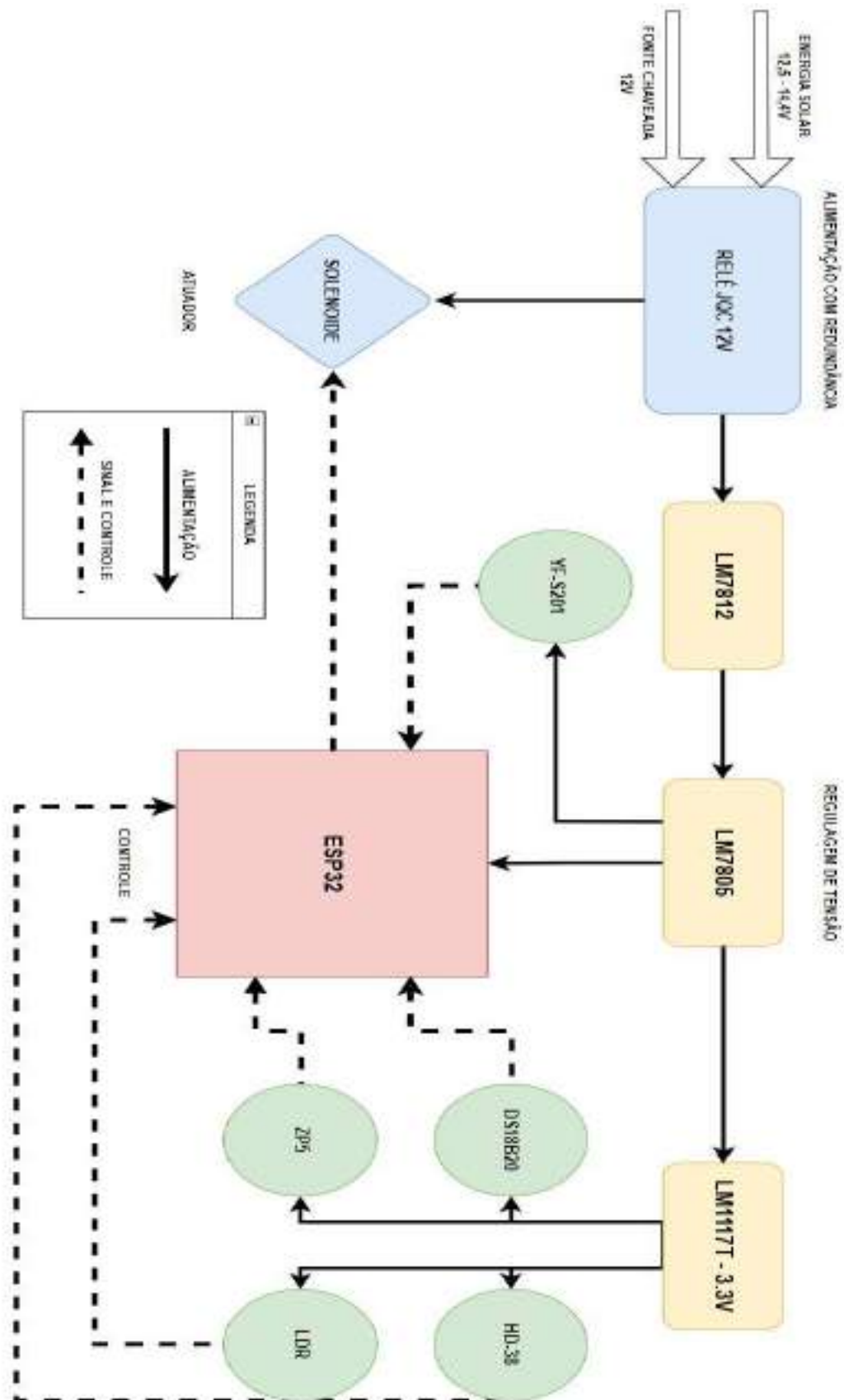
APÊNDICE D – DIAGRAMA DA PARTE ELÉTRICA E HIDRÁULICA

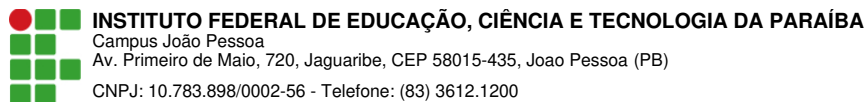


APÊNDICE E – INCERTEZA DO MULTÍMETRO DIGITAL RM102 DA RICHMETERS

Electrical Specifications							
Function	Range	Resolution	Accuracy	MAX.Value	Other		
DC Voltage (V)	6.000V	0.001V	$\pm(0.5\%+3)$	1000V	Input Resistance:10M Ω		
	60.00V	0.01V					
	600.0V	0.1V					
	1000V	1V					
DC Voltage (mV)	60.00mV	0.01mV		600mV			
	600.0mV	0.1mV					
AC Voltage (V)	6.000V	0.001V		$\pm(1.0\%+3)$		750V	Input Resistance:10M Ω (600mV range, >60M Ω) Frequency Response: 40Hz-1kHz
	60.00V	0.01V					
	600.0V	0.1V					
	750V	1V					
AC Voltage (mV)	60.00mV	0.01mV	600mV				
	600.0mV	0.1mV					
DC Current (A)	6.000A	0.001A	$\pm(1.2\%+3)$		10A	MAX.Current: 10A (no more than 15 seconds) No Voltage input at this mode Frequency Response(AC): 40Hz-1kHz	
	10.00A	0.01A					
DC Current (mA)	60.00mA	0.01mA		600mA			
	600.0mA	0.1mA					
AC Current (A)	6.000A	0.001A	$\pm(1.5\%+3)$	10A			
	10.00A	0.01A					
AC Current (mA)	60.00mA	0.01mA		600mA			
	600.0mA	0.1mA					

APÊNDICE F – DIAGRAMA DE ALIMENTAÇÃO, SINAL E CONTROLE





Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

TCC com ficha cartográfica

Assunto: TCC com ficha cartográfica
Assinado por: Jonas Saraiva
Tipo do Documento: Anexo
Situação: Finalizado
Nível de Acesso: Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência: Cópia Simples

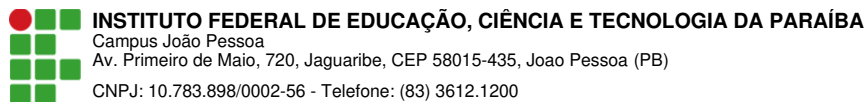
Documento assinado eletronicamente por:

- Jonas Saraiva da Silva, ALUNO (20172610015) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA - JOÃO PESSOA, em 14/06/2023 20:00:57.

Este documento foi armazenado no SUAP em 14/06/2023. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 854557
Código de Autenticação: cb95c9b4ef





Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

TCC com ficha cartográfica e folha de aprovação

Assunto: TCC com ficha cartográfica e folha de aprovação
Assinado por: Jonas Saraiva
Tipo do Documento: Anexo
Situação: Finalizado
Nível de Acesso: Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência: Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Jonas Saraiva da Silva, ALUNO (20172610015) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA - JOÃO PESSOA, em 04/07/2023 18:39:29.

Este documento foi armazenado no SUAP em 04/07/2023. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 870066
Código de Autenticação: bb55071c48

