

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO ESTADO DO PARÁ
ÁREA DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
BACHARELADO EM ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO

JULIA PAIER GUIMARÃES

SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PARA ESTUFAS RESIDENCIAIS

Belém

2017

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO ESTADO DO PARÁ
ÁREA DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
BACHARELADO EM ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO

JULIA PAIER GUIMARÃES

SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PARA ESTUFAS RESIDENCIAIS

Trabalho de Curso na modalidade Monografia, apresentado como requisito parcial para obtenção do grau em Bacharelado em Engenharia da Computação do Centro Universitário do Estado do Pará – CESUPA, sob orientação do Professor MSc. Johnny Marcus Gomes Rocha.

Belém

2017

Julia Paier Guimarães

SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PARA ESTUFAS RESIDENCIAIS

Trabalho de Curso na modalidade Monografia, apresentado como requisito parcial para obtenção do grau em Bacharelado em Engenharia da Computação do Centro Universitário do Estado do Pará – CESUPA.

Data da Defesa: 07/12/2017

Banca Examinadora:

Prof. Orientador MSc. Johnny Marcus Gomes Rocha - CESUPA

Profa. MSc. Michelle Bitar Lelis dos Santos - CESUPA

Prof. MSc. Diemisom Carlos Romano de Melo - CESUPA

Belém

2017

Dedico este trabalho à minha família, por
todo o apoio.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Ângela e João Carlos pela dedicação e apoio incondicionais e aos meus irmãos Laura e Gustavo pela cumplicidade.

Agradeço aos meus avós pelo exemplo de vida. Em especial, em memória à minha avó Ruth por tudo que ensinou e pelos momentos ao nosso lado.

Agradeço ao meu querido Ricardo por todo o apoio que recebo ao longo desses anos.

Aos meus familiares e amigos pelos bons momentos compartilhados neste período.

Agradeço aos meus amigos Andrey, Bárbara, Bruno e Fabrício pelo companheirismo no decorrer deste curso. Agradeço em especial ao Kayke, pela grande ajuda na reta final deste trabalho.

Aos meus professores pelos conhecimentos transmitidos que contribuíram em minha formação. Agradeço em especial ao professor Johnny Rocha pela ajuda e orientação durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo.”

Albert Einstein

RESUMO

O cultivo de plantas em estufas é uma técnica que possibilita a criação de diversos tipos de cultura, através da geração de microclimas adequados utilizando-se do controle de parâmetros como temperatura, umidade do ar, umidade do solo e luminosidade destes ambientes. Este trabalho propõe a implementação de um sistema de automação para estufas *indoor* utilizando o *Raspberry Pi* e a plataforma *Node-RED* para realizar o monitoramento e controle dos parâmetros com o objetivo de simplificar o cultivo de hortaliças em ambientes internos.

Palavras-chave: Estufa *Indoor*. Automação. *Raspberry Pi*. *Node-RED*.

ABSTRACT

Greenhouse cultivation is a technique that allows the creation of different types of crops, through the generation of microclimates using the control of parameters such as temperature, air humidity, soil moisture and luminosity from the environment. This project proposes the implementation of an automation system for indoor greenhouses using *Raspberry Pi* and the Node-RED platform to obtain control and monitoring of the parameters to simplify the cultivation of vegetables indoors.

Keywords: Indoor Greenhouse. Automation. *Raspberry Pi*. *Node-RED*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estufa Agrícola.....	22
Figura 2 – Estufa de Plantas do Tipo Indoor	23
Figura 3 – Estufa Automatizada Plantário ONE.....	24
Figura 4 – Exemplo de Sensor de Umidade do Solo.....	31
Figura 5 – Comparação do Sinal Analógico e Digital.	32
Figura 6 – Módulo Relé	33
Figura 7 – Microcontrolador	34
Figura 8 – Raspberry Pi 3 Model B.....	35
Figura 9 – Interface do Sistema Supervisório ScadaBR	36
Figura 10 – Fluxo de Execução do Node-Red.....	37
Figura 11 – Sensor de Umidade e Temperatura DHT22.....	41
Figura 12 – Sensor de Luminosidade LDR.....	42
Figura 13 – Sensor de Umidade do Solo Higrômetro.....	43
Figura 14 – Módulo Relé 5V de Dois Canais.....	44
Figura 15 – Bomba d'Água	45
Figura 16 – Lâmpada LED de Espectro Total.....	46
Figura 17 – Cooler 12V	47
Figura 18 – Ambiente de Desenvolvimento do Node-RED	48
Figura 19 – Exemplo de Fluxo de Comunicação com as Portas GPIO.....	49
Figura 20 – Interface do Sistema Supervisório.....	50
Figura 21 – Elementos Gráficos da Interface Gráfica.....	50
Figura 22 – Protótipo da Estufa Automatizada	51
Figura 23 – Montagem do Circuito Eletrônico da Estufa	52
Figura 24 – Esquema Eletrônico.....	53
Figura 25 – Fluxograma do Sistema de Iluminação	55
Figura 26 – Fluxo do Sistema de Iluminação.....	55
Figura 27 – Interface do Estado e Acionamento do Sistema de Iluminação.....	56
Figura 28 – Fluxograma do Sistema de Irrigação.....	57
Figura 29 – Fluxo do Sistema de Irrigação.....	57
Figura 30 – Interface do Estado e Acionamento do Sistema de Irrigação	58

Figura 31 – Fluxograma do Sistema de Ventilação	58
Figura 32 – Interface do Estado e Acionamento do Sistema de Ventilação	59
Figura 33 – Fluxo do Sistema de Ventilação	59
Figura 34 – Fluxo da Interface dos Parâmetros de Temperatura e Umidade	60
Figura 35 – Gráficos de Umidade e Temperatura	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações do Raspberry Pi 3 Modelo B.....	40
Tabela 2 – Especificações do Sensor DHT22	41
Tabela 3 – Especificações do Sensor LDR GL5528	42
Tabela 4 – Especificações do Sensor YL-69	43
Tabela 5 – Especificações do Relé SRD-05VDC-SL-C.....	44
Tabela 6 – Especificações da Bomba D'água IPF-338	45
Tabela 7 – Especificações do Lâmpada GE2728W	46
Tabela 8 – Especificações do Cooler 12V	47
Tabela 9 – Custos do Projeto.....	52
Tabela 10 – Parâmetros de Umidade do Ar e Temperatura Recomendados	61
Tabela 11 – Amostras de Temperatura e Umidade do Ar	62
Tabela 12 – Comparação Entre o Protótipo e Modelo Existente	63

LISTA DE SIGLAS

AC	<i>Alternating Current</i>
A/D	<i>Analógico-digital</i>
ADC	<i>Analogic to Digital Converter</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
ARM	<i>Advanced RISC Machine</i>
CFM	<i>Cubic Feet per Airflow</i>
CI	<i>Circuito Integrado</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
CISC	<i>Complex Instruction Set Computing</i>
DC	<i>Direct Current</i>
DRAM	<i>Dynamic Random Access Memory</i>
DSI	<i>Display Serial Interface</i>
EEPROM	<i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
EPROM	<i>Electrically Programmable Read Only Memory</i>
GPIO	<i>General Purpose Input Output</i>
HDMI	<i>High-Definition Multimedia Interface</i>
IR	<i>Infrared</i>
LDR	<i>Light Dependent Resistor</i>
LED	<i>Light Emitting Diodes</i>
PROM	<i>Programmable Read Only Memory</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RISC	<i>Reduce Instruction Set Computing</i>
ROM	<i>Read Only Memory</i>
SBC	<i>Single Board Computer</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SoC	<i>System on a Chip</i>
SRAM	<i>Static Random Access Memory</i>
UR	<i>Umidade Relativa</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
UV	<i>Ultravioleta</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

Ω	Ohm
k Ω	Quilo-ohm
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
Lux	Intensidade de Iluminação
mA	Miliampère
cm	Centímetros
mm	Milímetros
ms	Milissegundos
nm	Nanômetros
V	<i>Volts</i>
W	<i>Watts</i>
k	Kelvin
Gb	<i>Gigabyte</i>
L/h	Litros por hora

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA	17
1.2	OBJETIVOS	18
1.2.1	Objetivo geral	18
1.2.2	Objetivos específicos	18
1.3	JUSTIFICATIVA	18
1.4	METODOLOGIA	19
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1	CULTIVO EM AMBIENTES PROTEGIDOS E ESTUFAS	21
2.2	FATORES CLIMÁTICOS NO CULTIVO EM ESTUFAS	24
2.2.1	Temperatura	24
2.2.2	Umidade Relativa do Ar	25
2.2.3	Ventilação	25
2.2.4	Luminosidade	26
2.2.5	Irrigação	27
2.3	AUTOMAÇÃO	27
2.3.1	Automação no Cultivo em Estufas	28
2.3.2	Sistemas Embarcados	29
2.3.3	Composição de um Sistema de Automação	31
2.3.3.1	Sensores	31
2.3.3.2	Atuadores	33
2.3.3.3	Microcontroladores	33
2.3.3.3.1	Raspberry Pi	35
2.3.3.4	Sistemas Supervisórios SCADA	36

2.3.3.4.1	<i>Node-RED</i>	37
3	ESPECIFICAÇÃO DE HARDWARE E SOFTWARE	39
3.1	HARDWARE	39
3.1.1	Raspberry Pi 3 Modelo B	40
3.1.2	Sensor De Umidade e Temperatura DHT22	41
3.1.3	Sensor de Luminosidade LDR	42
3.1.4	Sensor de Umidade do Solo Higrômetro	42
3.1.5	Módulo Relé de dois Canais	43
3.1.6	Bomba Para Irrigação	45
3.1.7	Lâmpada LED	45
3.1.8	Cooler	46
3.2	SISTEMA SUPERVISÓRIO	47
3.2.1	Node-Red	47
3.2.2	Comunicação com Sensores	48
3.2.3	Interface do Sistema Supervisório	49
3.3	CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO	51
3.3.1	Materiais	51
3.3.2	Custos	52
3.3.3	Esquema Eletrônico	53
3.4	FUNCIONAMENTO	54
3.4.1	Funcionamento do Sistema de Automação e Supervisão	54
3.4.2	Funcionamento Sistema de Iluminação	54
3.4.3	Funcionamento Sistema de Irrigação	56
3.4.4	Funcionamento Sistema de Ventilação	58
3.5	ANÁLISE E RESULTADOS OBTIDOS	61
3.5.1	Comparação com Modelos Existentes	63
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	64

4.1	DIFICULDADES ENCONTRADAS	64
4.2	PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	65
5	REFERÊNCIAS.....	66

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo será apresentada a problematização do tema, objetivos a serem alcançados, justificativa, metodologia e estrutura dos capítulos.

1.1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Segundo a CNA, Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (2017) o cultivo de hortaliças representa uma parcela significativa na agricultura brasileira, com área cultivada de 837 mil hectares, com produção anual, em 2016, de 63 milhões de toneladas, contemplando mais de uma centena de espécies. O consumo de hortaliças tem grande importância nos hábitos alimentares do brasileiro, principalmente nos centros urbanos onde busca-se uma dieta mais diversificada.

Para o cultivo de plantas, questões como falta de área para plantio, crescente urbanização e variabilidade do clima e de solos afetam a relação de produtividade e consumo de hortaliças. Uma solução que minimizaria os impactos negativos sobre a produção é o cultivo de plantas em estufas. O plantio neste tipo de ambiente é uma estratégia estabelecida para providenciar o microclima favorável para o desenvolvimento das plantas e aumentar a eficiência na produção (AZEVEDO JUNIOR, 2016).

Atualmente, no âmbito da agricultura comercial, as técnicas e estruturas das estufas vem evoluindo, principalmente na área de automação com a implementação de sistemas automatizados com métodos e equipamentos capazes de manipular as variações climáticas, tais como temperatura, iluminação e umidade, gerando produções de maior qualidade (CARVALHO et al., 2014).

Dada a forte demanda da população pelo consumo de hortaliças e as dificuldades encontradas nesse tipo de cultivo, este trabalho busca apresentar uma solução que facilite ou viabilize o cultivo residencial partindo do mesmo princípio de automação utilizado na agricultura comercial, propondo o desenvolvimento de uma estufa automatizada *indoor* voltada para a produção em ambiente residencial.

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos do trabalho são divididos em objetivo geral e objetivos específicos, conforme os tópicos apresentados a seguir.

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver uma estufa automatizada para uso residencial, implementando o monitoramento e controle de luminosidade, irrigação, umidade do ar e temperatura do ambiente utilizando a plataforma *Raspberry Pi* e o software *Node-RED*.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste projeto são:

- Desenvolver sistema de automação com a plataforma *Raspberry Pi*.
- Obter as leituras de sensores de temperatura, umidade do ar e solo e luminosidade.
- Acionar os atuadores, sendo eles ventilador, bomba de irrigação e lâmpadas, baseado nos parâmetros pré-estabelecidos.
- Obter as leituras de sensores de temperatura e umidade do ar do ambiente externo a fim de comparar com os valores internos.
- Utilizar a plataforma *Node-RED* para efetuar o controle do sistema e desenvolver um sistema supervisorio com os dados monitorados.
- Construir um protótipo de estufa em equipada com sensores, atuadores e controlada pelo sistema de automação desenvolvido.
- Testar a funcionalidade da estufa com o cultivo de hortaliças comuns.

1.3 JUSTIFICATIVA

O projeto tem como objetivo apresentar uma solução para as dificuldades encontradas no cultivo de plantas no contexto residencial, buscando otimizar o espaço para produção e providenciar um microclima favorável para a produção a partir da automação de um modelo reduzido de estufa.

Atualmente as estufas automatizadas são encontradas em produções agrícolas de grande escala e alto retorno financeiro, condições que justifiquem o alto investimento necessário para essa modalidade de produção. Para o mercado residencial são encontrados modelos de estufa *indoor* com *timers* para o acionamento de funções como iluminação interna, ventilação e irrigação, sendo poucos modelos que contam com sistemas de monitoramento com sensores. Isso interfere em outra questão específica no cultivo *indoor*, que é a possível falta de tempo do usuário para efetuar manutenções básicas como verificação da temperatura, umidade e iluminação necessárias para o desenvolvimento da cultura.

Dados esses fatos, o projeto busca apresentar uma solução para as dificuldades encontradas no cultivo de plantas no contexto residencial.

1.4 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho foram adotados os seguintes procedimentos: pesquisa bibliográfica referente ao cultivo protegido, parâmetros ambientais necessários para o desenvolvimento de vegetais, automação e componentes utilizados em um sistema automatizado.

A partir da pesquisa realizada, segue a elaboração de um protótipo de estufa automatizada para cultivo residencial, com a realização de testes a fim de verificar a eficiência do modelo de solução apresentado.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho é estruturado da seguinte forma:

Capítulo 1 – Capítulo introdutório do trabalho, contém a apresentação do problema, objetivos, justificativa, metodologia e estrutura do trabalho.

Capítulo 2 – Referencial teórico, descreve o cultivo de plantas em ambiente protegido, a relevância dos fatores climáticos, conceitos de automação e as tecnologias utilizadas para automatizar uma estufa.

Capítulo 3 – Detalha o desenvolvimento do projeto, os componentes e materiais utilizados, criação do *software* e protótipo, funcionamento, testes e resultados obtidos.

Capítulo 4 – Apresenta a análise dos resultados observados, as dificuldades encontradas durante o desenvolvimento e sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 5 – Apresenta as referências bibliográficas consultadas neste trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta os fundamentos teóricos que embasam a elaboração deste trabalho, descrevendo o cultivo de plantas em estufa, os fatores ambientais que interferem na produção, o funcionamento de um sistema de automação e quais componentes serão utilizados no processo de desenvolvimento deste trabalho.

2.1 CULTIVO EM AMBIENTES PROTEGIDOS E ESTUFAS

Segundo Bezerra (2003), a prática da agricultura a céu aberto está sujeita a variações sazonais, limitando o desenvolvimento das plantas a alguns períodos do ano, havendo ainda a possibilidade de exposição a alterações ambientais e maior vulnerabilidade a ataques de pragas e doenças.

O sistema de cultivo protegido é uma solução que proporciona a formação de um microclima favorável ao desenvolvimento da planta. Dessa forma, plantações passam a gerar uma produção de qualidade por maiores períodos de tempo uma vez que fatores ambientais como temperatura, umidade e luminosidade passam a ser controláveis (BEZERRA, 2003).

De acordo com Reis (2005), tais estruturas podem ser de caráter parcial ou pleno. Um exemplo de cultivo protegido de caráter parcial é a instalação de coberturas superiores que proporcionam o efeito “guarda-chuva” a fim de controlar o índice pluviométrico e luminosidade incidentes. Em caráter pleno, a estrutura dos ambientes protegidos é totalmente coberta de forma que haja o controle sobre todos os parâmetros do ambiente. Esse tipo de estrutura é conhecido como estufa, conforme demonstrado na Figura 1:

Figura 1 – Estufa Agrícola



Fonte: Reis (2005, p. 4).

Bezerra (2003, p. 11) define estufa como “estruturas onde se pode criar e/ou manter microclimas favoráveis ao cultivo de qualquer espécie de planta, independente das condições ambientais existentes”. Dessa forma, com o sistema de cultivo protegido obtém-se a redução de riscos e elevação da qualidade do material cultivado.

Existem diferentes tipos de estufa que podem ser utilizadas dependendo de fatores como tipo de cultivo ou região, podendo ser construídas com madeira ou metal, com até cinquenta metros de comprimento e acima de quatro metros de altura. As condições ambientais internas das estufas também podem ser alteradas ou mantidas por meio do uso de equipamentos como ventiladores, lâmpadas, nebulizadores, entre outros. Estes equipamentos também podem ser controlados manualmente ou por meio de sistemas programados e automatizados (BEZERRA, 2003).

Como o modelo de cultivo em estufa permite o controle sobre os aspectos climáticos, é um sistema altamente indicado para viabilizar o cultivo de plantas em ambientes internos (cultivo *indoor*), que podem ter pouco ou nenhum acesso a iluminação, umidade e temperatura adequados para o cultivo de vegetais (PLANTEI, 2017). Um exemplo de estufa *indoor* é demonstrado na Figura 2:

Figura 2 – Estufa de Plantas do Tipo *Indoor*



Fonte: Plantei (2017, online).

Estufas *indoor* podem ser encontradas em diferentes medidas dependendo da quantidade de plantas cultivadas e do espaço onde são instaladas, geralmente com altura de 2 metros e tamanhos de 40 a 60 centímetros a 1 metro ou mais de comprimento. Estufas *indoor* também necessitam de controle dos fatores internos, como iluminação artificial, controle do fluxo de ar, temperatura e irrigação, sendo normalmente utilizados temporizadores para efetuar os acionamentos (JARDINS URBANOS, 2017).

Alguns modelos de estufa *indoor* apresentam sistemas automatizados para controlar os parâmetros internos. Um dos modelos comercializados é o Plantário ONE, apresentado na Figura 3:

Figura 3 – Estufa Automatizada Plantário ONE



Fonte: Plantário (2017, online).

O modelo apresenta controle automático dos processos de iluminação, irrigação e ventilação do ambiente interno e pode acomodar até nove vasos de plantas. O plantário utiliza lâmpadas LED que emitem luz nos comprimentos de onda azul e vermelho, sensor de umidade do solo e bomba d'água para efetuar a irrigação e ventiladores para a troca do ar interno. O produto apresenta luzes indicadoras de nível de água, irrigação e funcionamento para que o usuário acompanhe o funcionamento do sistema (PLANTÁRIO, 2017).

2.2 FATORES CLIMÁTICOS NO CULTIVO EM ESTUFAS

Dentro das estufas é possível obter controle sobre todos os fatores ambientais que influenciam no desenvolvimento de vegetais. Os fatores ambientais que serão controlados nesse trabalho são detalhados a seguir.

2.2.1 Temperatura

No desenvolvimento de vegetais a variação da temperatura interfere em processos como transpiração, respiração, fotossíntese, germinação, crescimento,

floração e frutificação (AZEVEDO JUNIOR, 2016). Cada espécie necessita de faixas de temperatura adequadas para otimizar seu ciclo de desenvolvimento. As variações fora da faixa adequada podem ocasionar a perda de produtividade e até morte da planta. (AZEVEDO JUNIOR, 2016).

No cultivo *indoor*, a temperatura não deve ultrapassar 32° Celsius sob risco de perder os cultivares. Nesse caso é ideal que temperatura interna varie entre 21°C e 27°C, sendo indicado o uso de sistemas de ventilação e exaustão para renovar o ar interno e evitar o excesso de calor. A temperatura do ambiente interno também está relacionada a iluminação, uma vez que o tipo de lâmpada utilizada pode gerar calor durante o funcionamento (PLANTEI, 2017).

2.2.2 Umidade Relativa do Ar

A umidade relativa do ar, expressa em taxa percentual, representa a quantidade de água na forma de vapor presente na atmosfera em relação à quantidade máxima que poderia existir nas mesmas condições de temperatura (AZEVEDO JUNIOR, 2016).

O controle da taxa de umidade é necessário para o desenvolvimento sadio da cultura, já que a escassez resulta na desidratação foliar (AZEVEDO JUNIOR, 2016) e o excesso de umidade ocasiona o desenvolvimento de doenças em folhas, flores e frutos. Para inibir o crescimento de patógenos nos vegetais, é indicado manter a taxa de umidade relativa do ar na faixa de 25% a 70% (PFEUFER et al., 2016).

Para manter a taxa de umidade adequada em estufas são utilizados sistemas de ventilação para que haja a troca do ar úmido interno pelo ar externo (PFEUFER et al., 2016). Outra estratégia adotada é o espaçamento feito entre as plantas. A aproximação com contato foliar direto pode gerar microclimas com taxa de umidade mais alta que o restante da estrutura, ocasionando a proliferação de doenças. O espaçamento entre as plantas é necessário para que o ar tenha passagem. (PFEUFER et al., 2016).

2.2.3 Ventilação

A ventilação consiste na troca do ar entre o ambiente interno e o ambiente externo a fim de controlar a temperatura e umidade no interior da estufa. Segundo

Cardoso (2010), a circulação do ar é fundamental para assegurar uma taxa mínima de gás carbônico para as plantas e evitar o excesso de calor e umidade relativa do ar.

Em estufas convencionais, o processo de ventilação pode ser feito por aberturas nas laterais, paredes ou teto por onde o ar circula livremente. No caso das estufas *indoor*, a ventilação natural pode não ser suficiente para assegurar a troca de ar necessária, sendo indicado a utilização de equipamentos como extratores de ar e ventiladores (PLANTEI, 2017).

2.2.4 Luminosidade

A luz é de extrema importância para o desenvolvimento e produção de vegetais por ser o principal responsável pelo processo de fotossíntese. Através desse processo, as plantas transformam moléculas de água e dióxido de carbono em energia química e liberam o oxigênio no ar.

A luz proveniente do sol é composta por componentes que podem ser classificados por seu comprimento de onda, que é a medida em metros de um período da onda. O período é o tempo em segundos que a onda leva para completar um ciclo antes da repetição.

A luz visível é a energia radiante no espectro de 390 a 700 nanômetros (nm) e é essencial para o desenvolvimento da planta, sendo diretamente influenciadas pela intensidade, duração e distribuição espectral da luz. A resposta do vegetal vai ser afetada especificamente por três regiões do espectro solar: a radiação ultravioleta (290-390nm), a luz visível (390-700nm) e luz infravermelha (700-4000nm).

Dentro do espectro visível, os comprimentos de onda vermelho e azul são os principais para a efetuação da fotossíntese, enquanto a transição do desenvolvimento vegetativo para reprodutivo é controlado pelo comprimento de onda vermelho e infravermelho (CARDOSO, 2010).

Para o cultivo em ambientes internos é imprescindível que iluminação atenda às necessidades de desenvolvimento da planta, uma vez que a iluminação inadequada irá prejudicar ou inviabilizar o seu crescimento. Os tipos de iluminação mais indicados para cultivo *indoor* são lâmpadas LED (*Light Emitting Diodes*), lâmpadas fluorescentes ou lâmpadas de vapor de alta pressão. As lâmpadas LED têm maior custo de aquisição, porém têm o benefício de serem duráveis, eficientes, consumir menos energia e gerar menos calor (PLANTEI, 2017).

2.2.5 Irrigação

A vegetação depende da água para sobreviver sendo essencial para cumprir seu ciclo de fotossíntese. Além de nutrir a vegetação, a água também tem papel na manutenção da temperatura e umidade do ambiente de plantio.

O excesso de água, por outro lado, pode reduzir a respiração das raízes, limitar a fotossíntese e favorecer o aparecimento de doenças foliares e do solo (BEZERRA 2003). Por meio da implementação de sistemas de irrigação, o manejo da água pode ser controlado mais facilmente.

Os métodos de irrigação utilizados variam, sendo que os principais métodos de irrigação em estufas são (BEZERRA, 2003):

- Subirrigação: Distribuição de água diretamente sobre o solo, gerando maior economia de água, mantendo a folhagem seca e diminuindo incidência de doenças.
- Microaspersão: A água é liberada em forma de círculo ou semicírculo em torno da plantação, sendo um método eficaz, porém com maior nível de desperdício de água.
- Nebulização: A água é liberada no ambiente em forma de gotículas, havendo melhor distribuição e controle de temperatura e umidade relativa.

A escolha de um método depende da disponibilidade de água, tipo de plantio desejado, estágio de desenvolvimento e recursos disponíveis. No caso de estufas *indoor*, é mais aconselhado o método de subirrigação por ser o método que tem menos impacto sobre a umidade relativa do ar.

2.3 AUTOMAÇÃO

Segundo Pazos (2002, p. 1), a automação, em contexto industrial, pode ser definida como “a tecnologia que se ocupa da utilização de sistemas mecânicos, eletro-eletrônicos e computacionais na operação e controle da produção”.

De forma geral, a automação é a construção de sistemas capazes de atuar sobre o processo de forma eficiente através do uso de informações recebidas no meio, efetuando ações corretivas em função dos dados recebidos de sensores ligados ao processo (RIBEIRO, 2014).

2.3.1 Automação no Cultivo em Estufas

A partir do século XX a agricultura brasileira começou a automatizar seus processos (EMBRAPA, 2017), reduzindo o trabalho do homem, melhorando as taxas de retorno e aumentando a produção.

Atualmente, a aplicação desse tipo de tecnologia abrange cada vez mais o setor industrial de estufas, por meio do controle climático e irrigação. Este tipo de tecnologia é empregado em diferentes tipos de estufa, desde jardins de pequeno porte a estufas de alta produção comercial (PERDIGONES; BENEDICTO; GARCIA, 2015).

A automação aplicada a agricultura permite o acompanhamento direto sobre a produção, como por exemplo, a rastreabilidade por meio de informações adquiridas pelo processo de atuação. A automação em estufas pode ser dividida em dois parâmetros: controle climático e fertirrigação (PERDIGONES; BENEDICTO; GARCIA, 2015).

De acordo com Perdignes, Benedicto e Garcia (2015), o controle climático faz uso de diferentes sensores, normalmente sendo temperatura interior, umidade relativa do ar interior, velocidade do vento externo e chuva. Os dados obtidos são utilizados para efetuar o controle de janelas ou de sistemas de ventilação e exaustão a fim de proteger os cultivares das variações climáticas externas ou ajustar o microclima interno. O sensor de chuva costuma ser empregado no cultivo de plantas ornamentais, uma vez que a entrada de chuva pelos telhados ou janelas da estufa pode danificar os cultivares e tornar inviável a comercialização. Em locais onde o vento exterior atinge grandes velocidades, os sensores de vento acionam o fechamento de janelas para evitar que a estrutura da estufa e as plantas sejam danificadas. São utilizados ainda sensores de umidade relativa do ar para evitar que os níveis de umidade no interior da estufa ultrapassem o nível mínimo, acionando a abertura de janelas ou de sistemas de ventilação caso seja necessário.

A automação aplicada aos sistemas de fertirrigação efetua a irrigação e fertilização do cultivo. O controle da irrigação pode ser feito em função de diferentes fatores como a definição de horários fixos de rega conforme a experiência do produtor ou ajustada à necessidade dos cultivares por meio do sensoriamento da umidade do solo. No caso do sistema fertilização, o controle é feito a partir da leitura dos valores de pH e condutividade da água. De acordo com os valores recebidos, o sistema de

controle ajusta a quantidade de nutrientes que são adicionados à água da irrigação (PERDIGONES; BENEDICTO; GARCIA, 2015).

Segundo Martin Neto (2013), o manejo de plantio, fertilização, irrigação e colheita demandam cada vez mais o desenvolvimento e aplicação de equipamentos e automação, levando novas alternativas ao produtor rural com a diminuição de custos, aumento de produtividade e sustentabilidade no setor.

2.3.2 Sistemas Embarcados

Segundo Barros e Cavalcante (2010 p. 1), um sistema embarcado (SE) pode ser definido como “um sistema computacional especializado que faz parte de uma máquina ou sistema maior”. Sistemas computacionais embarcados são encontrados em grande parte dos equipamentos eletrônicos utilizados no dia a dia, tais como telefones celulares, câmeras digitais, computadores pessoais, eletrodomésticos em geral, automóveis, entre outros.

De acordo com Oliveira e Andrade (2010, p. 25), sistemas embarcados são compostos por um circuito integrado fixado a um circuito impresso e definidos como “sistemas que possuem uma capacidade de processamento de informações vinda de um *software* que está sendo processado internamente nessa unidade”. O *software* armazenado na unidade de processamento de um sistema embarcado é denominado *firmware*.

Um sistema embarcado utiliza diferentes tipos de memória para armazenar informações como *firmware*, instruções básicas do processador ou mesmo dados temporários obtidos de processamentos. Segundo Oliveira e Andrade (2010) os principais tipos de memória utilizados em sistemas embarcados são:

- Memória RAM (*Random Access Memory*): Memória aleatória, ou seja, pode acessar um endereço diretamente sem a necessidade de percorrer todos os endereços anteriores. É caracterizada pela volatilidade, perdendo seus dados quando há a interrupção de energia elétrica. Em sistemas embarcados é denominada memória de dados e tem a função de armazenar os registros, variáveis e espaços reservados para o processamento temporário.
- Memória ROM (*Read Only Memory*): Memória não volátil de leitura, pré-programada pelo fabricante. Não possibilita a escrita, sendo utilizada para

armazenar o conjunto de rotinas básicas de sistemas operacionais e modelos de letras em calculadoras e impressoras.

- Memória PROM (*Programmable Read Only Memory*): É um tipo de memória ROM comercializado em branco pelo fabricante, para ser programado pelo projetista de dada aplicação, podendo ser escrita apenas uma vez.
- Memória EPROM (*Electrically Programmable Read Only Memory*): Tipo de memória PROM que pode ter seu conteúdo apagado quando submetido a processos elétricos como, por exemplo, a aplicação de luz ultravioleta. Permite ser reprogramada um número limitado de vezes. Em sistemas embarcados é utilizado para armazenar de forma segura dados importantes ou parâmetros de funcionamento.
- Memória EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*): Tipo de memória PROM que pode ser apagada e programada repetidamente por meio de processos elétricos. A escrita da memória é mais lenta em comparação à leitura.
- Memória *Flash*: Memória com elevada capacidade de armazenamento que pode ser apagada e programada eletricamente em velocidades superiores à memória EEPROM. É geralmente utilizada para armazenar a memória de programa do sistema embarcado, que contém o *firmware* responsável pelo funcionamento do sistema.

A conexão entre as memórias e componentes dos sistemas embarcados é realizado por canais de informação por onde passam os dados para leitura e gravação. Estes canais são chamados de barramentos, e podem ter suas estruturas definidas por dois tipos de arquitetura: a arquitetura Harvard e de Von Neumann.

De acordo com Oliveira e Andrade (2010) os dois tipos de arquitetura se diferem no modo em que os dados provenientes da memória de dados e da memória de programa são processados. Na arquitetura Von Neumann os dados da memória de programa e de dados passam por apenas um barramento enquanto que na memória Harvard os dados passam por barramentos diferentes, o que permite o acesso simultâneo às memórias de dados e de programa.

Os parâmetros de projeto de sistemas embarcados podem ainda se diferenciar quanto a filosofia básica de desenvolvimento do conjunto de instruções, que podem ser do tipo RISC (*Reduce Instruction Set Computing*) e CISC (*Complex Instruction Set*

Computing). A principal diferença é que na arquitetura RISC o conjunto de instruções é reduzido, sendo encontrados em microprocessadores ARM (*Advanced RISC Machine*) e na CISC o conjunto de instruções é mais complexo, utilizado na arquitetura x86 da Intel (OLIVEIRA; ANDRADE, 2010).

Uma aplicação de sistemas embarcados amplamente utilizadas são os microcontroladores, dispositivos microprocessados que tem como objetivo realizar uma função específica (ROQUE, 2014).

2.3.3 Composição de um Sistema de Automação

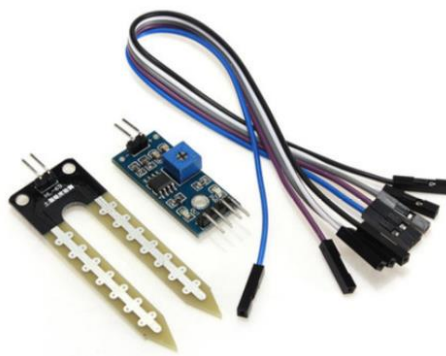
Segundo Roque (2014), os sistemas modernos de automação podem ser divididos em três elementos: sensores, atuadores e microcontroladores.

2.3.3.1 Sensores

São dispositivos que detectam a magnitude de um parâmetro físico e o modifica para um sinal elétrico para que possa ser processado pelo sistema (ALCIATORE; HISTAND, 2014).

Sensores são necessários para o monitoramento e controle de sistemas automatizados para medir grandezas físicas como posição, força, temperatura, luminosidade, entre outros ou a propriedade de algum de seus componentes (ROQUE, 2014). O elemento ativo de um sensor é chamado de transdutor, responsável por transformar a grandeza física em outra variável para facilitar sua medição. A Figura 4 apresenta um exemplo de sensor de umidade do solo:

Figura 4 – Exemplo de Sensor de Umidade do Solo



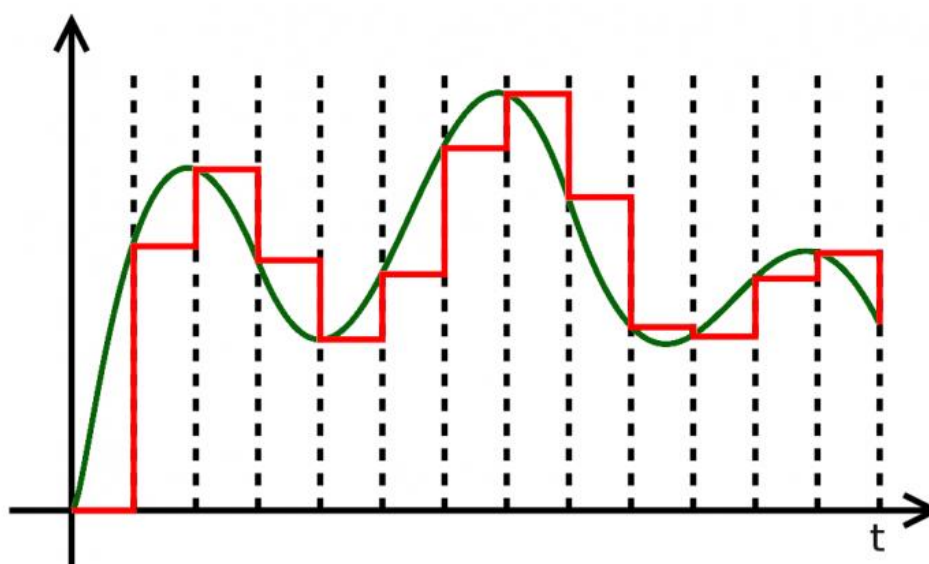
Fonte: FilipeFlop (2017, online)

Sensores podem reproduzir sinais do tipo analógico ou digital. Os de tipo analógico podem assumir qualquer valor contínuo no sinal de saída ao longo do tempo enquanto estiver dentro da sua faixa de operação. Sensores do tipo digital reproduzem apenas valores discretos no sinal de saída ao longo do tempo, podendo ser interpretados como zero e um, determinando se uma grandeza física atingiu um valor pré-determinado (WENDLING, 2010).

Em alguns casos, os sinais produzidos por sensores analógicos precisam passar por um processo de transformação para a forma digital a fim de serem processados por sistemas computacionais. Este processo é chamado de conversão analógico-digital (A/D) e envolve os passos de quantização e codificação.

Quantização é a transformação da entrada do sinal contínuo em um conjunto de estados de saída discreta, enquanto que a codificação é a atribuição da palavra do código digital ao sinal convertido (ALCIATORE; HISTAND, 2014). A Figura 5 demonstra a onda senoidal analógica e a sua equivalente digital obtida a partir da conversão, representada pela onda quadrada.

Figura 5 – Comparação do Sinal Analógico e Digital.



Fonte: Embarcados (2015, online)

O processo de transformação de uma tensão analógica para um código digital é realizado por um conversor analógico-digital. O conversor transforma o sinal analógico contínuo em um sinal amostrado discreto no tempo. O sinal é quantizado em um número finito de valores inteiros, que depende da resolução em *bits* do

conversor, por exemplo, um conversor de 8 *bits* transforma o sinal de entrada em amostras de valor entre 0 e 255 (EMBARCADOS, 2015).

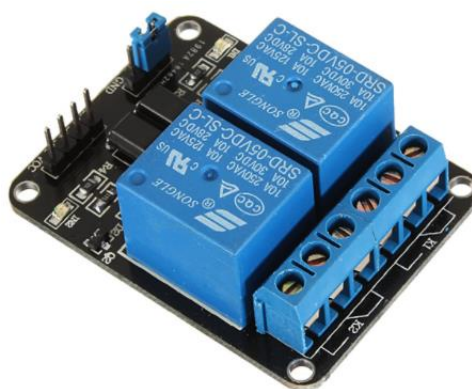
A saída de um conversor A/D pode ser ligada a dispositivos digitais como computadores e microcontroladores para a transmissão dos sinais convertidos.

2.3.3.2 Atuadores

São conectados à saída do controlador no sistema de automação, convertendo os sinais elétricos em uma condição física para acionar ou desligar um componente específico. (ROQUE, 2014).

Os atuadores produzem variações físicas como deslocamento angular e linear e modulam a taxa e potência que são associados a essas variações. Alguns dos atuadores mais utilizados são: motores elétricos, cilindros hidráulicos e pneumáticos, relés, entre outros (ALCIATORE; HISTAND, 2014). Um exemplo de atuador que será utilizado neste trabalho é o relé, conforme apresentado na Figura 6:

Figura 6 – Módulo Relé



Fonte: FilipeFlop (2017, online)

2.3.3.3 Microcontroladores

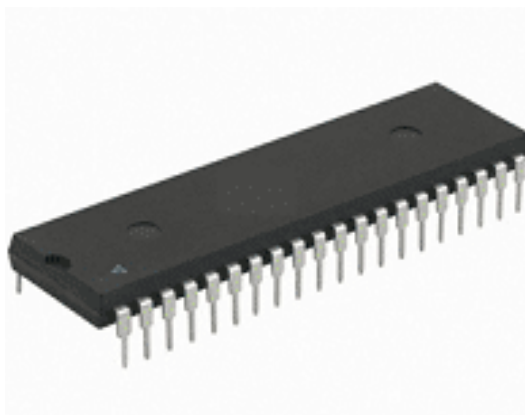
De forma geral, microcontroladores podem ser descritos como circuitos integrados destinados ao tratamento de sinais digitais. São caracterizados por possuir em um único *chip* todos os periféricos necessários para efetuar suas operações, tais como memórias, barramentos, portas de comunicação, entre outros (OLIVEIRA; ANDRADE, 2010).

Sobre a composição do microcontroladores, Gimenez (2002, p.4), afirma:

Dispositivo semicondutor em forma de CI, que integra todas as partes básicas de um microcomputador - microprocessador (CPU), memórias não-voláteis (ROM/PROM/EPROM/EEPROM), memórias voláteis (RAM, SRAM, DRAM, *Flash* RAM), portas de entrada e saída (portas de comunicação paralela, portas de comunicação serial, conversores analógicos/digitais, conversores digitais/analógicos, etc.).

Podem ser considerados ideais para aplicações de menor dimensão, custos e tempo, sendo utilizados em aplicações onde seja necessário controlar dispositivos de sinais eletrônicos, tais como eletrodomésticos e eletrônicos em geral. São extensivamente utilizados no controle de sistemas de automação industrial, residencial e predial (OLIVEIRA; ANDRADE, 2010).

Figura 7 – Microcontrolador



Fonte: Embarcados (2016, online).

Em um sistema de automação, os microcontroladores são programados para efetuar o controle de processos com vários níveis de complexidade. O microcontrolador recebe as informações provenientes de sensores, efetua uma comparação com os valores pré-estabelecidos e a partir dessa análise, efetua o acionamento dos atuadores no sistema (ROQUE, 2014).

Segundo Barros e Cavalcante (2010), microcontroladores são projetados especificamente para sistemas embarcados e desenvolvidos em famílias que apresentam um conjunto específico desses dispositivos periféricos, cabendo ao projetista escolher o modelo mais adaptável à aplicação desejada.

2.3.3.3.1 *Raspberry Pi*

Segundo Richardson e Wallace (2013), o *Raspberry Pi* é um computador compacto de baixo custo e alto poder de processamento. O *hardware* possui um microprocessador ARM que possibilita a instalação de sistemas operacionais como o Raspbian, sistema Linux baseado no sistema operacional Debian. Por padrão o Raspbian conta com diferentes programas básicos pré-instalados, como ambientes de programação, navegadores, jogos, editores de texto, entre outros.

Figura 8 – Raspberry Pi 3 Model B



Fonte: Raspberry Pi (2017, online).

O *Raspberry Pi* pode ser considerado um *Single Board Computer* (SBC), ou seja, um computador que possui todos os seus componentes em uma única placa eletrônica, cujas funções são controladas por um sistema integrado (*System on a Chip* - SoC) Broadcom. A placa pode ser acoplada a diferentes periféricos através de pinos de entrada e saída de uso geral (*General Purpose Input Output* - GPIO), além de possibilitar conexão à internet por meio de adaptadores integrados Ethernet, Wi-Fi e conexão Bluetooth (RASPBERRY PI, 2017).

Quanto a comunicação com periféricos, o *Raspberry Pi* possui pinos de entrada e saída digitais, sendo necessário o uso de um conversor analógico-digital caso seja utilizado um sensor que produza sinais analógicos (RICHARDSON; WALLACE, 2013).

Devido a configuração de software e hardware em uma só placa, o *Raspberry Pi* pode ser utilizado tanto como um computador *desktop* quanto como um microcontrolador por ser um dispositivo de pequenas dimensões, baixo custo, programável e ter a capacidade de integração com sensores e atuadores através dos

pinos GPIO. Dessa forma, *Raspberry Pi* pode ser considerado uma ótima opção para projetos de controle e automação.

2.3.3.4 Sistemas Supervisórios SCADA

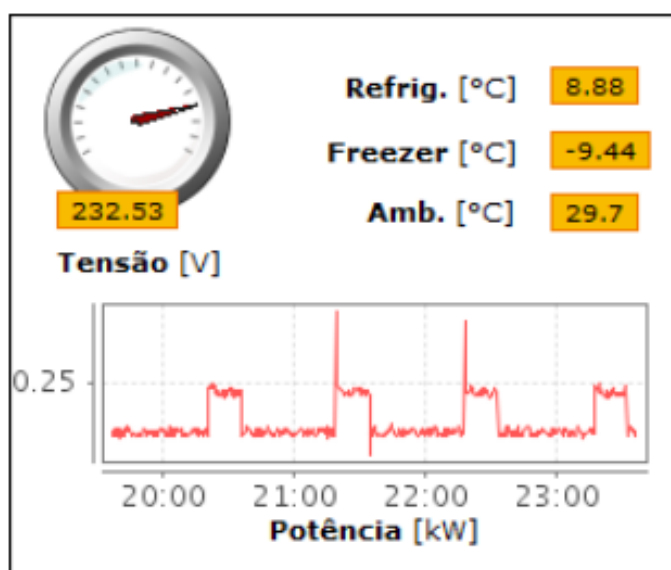
Vianna (2008, p. 5) afirma que o termo SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) se refere a “sistemas de supervisão, controle e aquisição de dados composto por um ou mais computadores monitorando e controlando processos.

Segundo Roque, (2014, p. 228) Sistemas Supervisórios SCADA têm como objetivo “gerar a visualização gráfica em tempo real dos processos de automação”, melhorando a interface homem-máquina e facilitando o monitoramento de processos industriais. Através de quadros de visualização animados, um operador pode monitorar variáveis envolvidas no processo (tais como temperatura, volume e pressão), controlar processos, adquirir e gerenciar dados.

Alguns dos sistemas SCADA conhecidos são o ScadaBR e o Mango Automation, ambos são sistemas *open-source*, gratuitos que utilizados em diferentes tipos de projeto de automação.

A Figura 9 apresenta um exemplo de interface gráfica gerada pelo sistema supervisório ScadaBR:

Figura 9 – Interface do Sistema Supervisório ScadaBR



Fonte: Viva o Linux (2011, online)

A implementação de sistemas supervisórios pode variar de configurações simples a instalações de grande porte, sendo utilizados em diferentes tipos de indústrias para manter a eficiência, auxiliar na tomada de decisões e informar sobre possíveis problemas no sistema (INDUCTIVE AUTOMATION, 2017).

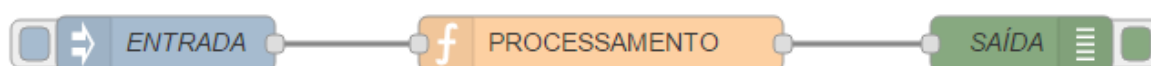
2.3.3.4.1 Node-RED

O *Node-RED* é uma ferramenta multiplataforma que utiliza uma abordagem de programação gráfica para o desenvolvimento de aplicações em sistemas embarcados, além de possibilitar a conexão entre as aplicações desenvolvidas e serviços *online* como APIs e *websites* (FILIPEFLOP, 2017).

O ambiente de programação gráfica do *Node-RED* consiste na conexão de blocos de função conhecidos como nós, basicamente divididos em três tipos: nós de entrada, que permitem a inserção de dados na aplicação; nós de processamento, que efetuam a manipulação de dados e os disponibilizam para a função seguinte; e nós de saída, que permitem o lançamento dos dados para dada saída da aplicação (FILIPEFLOP, 2017).

A estrutura de nós conectados para executar uma função é denominada fluxo, que pode ser exemplificada na Figura 10:

Figura 10 – Fluxo de Execução do Node-Red



Fonte: FilipeFlop (2017, online).

A aplicação apresenta blocos de função com aplicações específicas como, por exemplo, nós para captura e publicação de dados na *web*, nós que permitem a interação direta com sistemas embarcados, nós para interface gráfica, comunicação com sensores específicos, entre outros. Novas bibliotecas de blocos podem ser adicionadas à plataforma pelos usuários, ampliando as funcionalidades das aplicações desenvolvidas na plataforma (NODE-RED, 2017).

O *Node-RED* apresenta integração direta com o *Raspberry Pi*, contando com uma biblioteca de nós específica para acessar diretamente os pinos GPIO e efetuar a

captura ou transmissão de dados, simplificando o desenvolvimento de aplicações que funcionem diretamente no controlador (NODE-RED, 2017).

Dadas as funcionalidades do sistema, o *Node-RED* é a plataforma utilizada para o desenvolvimento do sistema de controle e supervisão deste trabalho, integrado diretamente ao controlador *Raspberry Pi*.

3 ESPECIFICAÇÃO DE HARDWARE E SOFTWARE

O capítulo apresenta o processo de elaboração do protótipo, os componentes e materiais utilizados, suas especificações técnicas, funcionamento e testes realizados.

3.1 HARDWARE

A parte prática do projeto é composta pela simulação do ambiente controlado a fim de verificar seu efeito no desenvolvimento das plantas. Para isso, foi estipulado o desenvolvimento de um protótipo de estufa *indoor* automatizada, utilizando um modelo de vidro de 45cm de comprimento, 40cm de altura e 25cm de profundidade. As medidas do protótipo foram estimadas considerando o espaço necessário para abrigar até duas plantas envasadas com até 25cm de altura.

A estufa foi equipada com o sistema de monitoramento e automação, composto pelos sensores, atuadores e a central de controle de automação, composta pela plataforma *Raspberry Pi* e sistema *Node-RED*.

Para detectar os parâmetros de condições ambientais, foram utilizados sensores de umidade e temperatura DHT22, sensor de luminosidade LDR e sensor de umidade do solo YL-69. O controle dos parâmetros ambientais será efetuado por uma bomba d'água, lâmpadas LED e *cooler*.

O sensor de luminosidade foi posicionado no interior da estufa a fim de determinar se a iluminação natural é suficiente para o desenvolvimento das plantas. As lâmpadas de LED serão utilizadas para complementar a iluminação caso a luminosidade externa não seja suficiente para suprir as necessidades mínimas dos cultivos.

O sensor de umidade e temperatura no interior da estufa fornecerá as informações utilizadas para efetuar o acionamento do sistema de ventilação. Caso o nível de temperatura seja maior que o estipulado, o sistema efetuará o acionamento de um cooler instalado no teto da estufa, a fim de injetar ar fresco externo e amenizar o calor e umidade acumulados.

O parâmetro de umidade do interior da estufa será utilizado apenas para monitoramento, não influenciando no processo de tomada de decisão do sistema. Da mesma forma, os dados captados pelo segundo sensor de umidade e temperatura

posicionado no exterior da estufa serão utilizados apenas para fins de comparação com os valores internos.

O sensor de umidade do solo deve ser posicionado no vaso em contato direto com o substrato a fim de monitorar a taxa de umidade presente. Caso o nível de umidade esteja abaixo do indicado, o sistema acionará a bomba d'água para reestabelecer o nível correto de umidade.

O sistema de automação é acionado pelo *Raspberry Pi*. O monitoramento dos sensores e controle dos atuadores é feito por meio do *software Node-RED*. As condições ambientais da estufa serão monitoradas em tempo real pelo usuário por meio de uma página *web* gerada pelo *software*, onde os dados dos sensores podem ser visualizados.

Os testes do sistema serão feitos com mudanças sobre os parâmetros ambientais para verificar a leitura dos sensores e acionamento dos atuadores para obter os valores ideais pré-determinados.

3.1.1 Raspberry Pi 3 Modelo B

No projeto o *Raspberry Pi* tem a função de efetuar controle sobre os atuadores da estufa. O microcomputador utiliza o sistema operacional *Raspbian* e as suas portas GPIO serão acionadas pelo sistema de automação e supervisão desenvolvido na plataforma *Node-Red*.

A escolha do *Raspberry Pi* 3, modelo B se deve as especificações listadas na Tabela 1 (FILIFELOP, 2017):

Tabela 1 – Especificações do Raspberry Pi 3 Modelo B

Fabricante	Raspberry Pi
Processador	Broadcom 1.2GHz 64-bit ARMv8
Memória RAM	1Gb
Conexão à Rede	Ethernet, Adaptador 802.11n
Portas USB	4
Saída de Vídeo	HDMI, DSI
Pinos de Entrada e Saída de Uso Geral	40
Conexão Bluetooth	Adaptador 4.1

Fonte: Adaptado de FilipeFlop (2017, online)

3.1.2 Sensor De Umidade e Temperatura DHT22

O sensor DHT22 é composto por um sensor de umidade capacitivo e um termistor para medir a temperatura do ar, enviando as leituras em forma de sinal digital. No protótipo são utilizados dois sensores DHT22, posicionados no interior e no exterior da estufa. A Figura 11 demonstra o sensor posicionado no exterior da estufa:

Figura 11 – Sensor de Umidade e Temperatura DHT22



Fonte: Autora (2017)

As especificações do sensor são disponibilizadas pelo fornecedor FilipeFlop (2017):

Tabela 2 – Especificações do Sensor DHT22

Fabricante	Aosong Electronics
Tensão de Operação	3V a 5,5V
Faixa de Medição de Umidade Relativa	0 a 100% UR
Faixa de Medição de Temperatura	-40°C a +80°C
Consumo de Corrente	2,5mA (Máximo)
Precisão Umidade	± 2,0% UR
Precisão Temperatura	± 0,5 °C
Dimensões	14mm x 18mm x 5,5mm

Fonte: Adaptado de FilipeFlop (2017, online)

3.1.3 Sensor de Luminosidade LDR

Os sensores LDR (*Light Dependent Resistor*) são utilizados para detectar a intensidade de luz no ambiente. O sistema fará o acionamento das lâmpadas de LED a partir dos dados de intensidade de luz detectadas pelo sensor.

O módulo LDR utilizado tem saída de dados analógico e digital e pode ter a sensibilidade ajustável por um potenciômetro. O sensor utiliza um comparador de tensão para comparar a leitura analógica com o valor de tensão regulável. O valor é ajustado pelo potenciômetro para produzir um sinal lógico 0 ou 1 representando, respectivamente, a presença ou ausência de dada intensidade de luz. As especificações do sensor são descritas abaixo pelo distribuidor FilipeFlop:

Figura 12 – Sensor de Luminosidade LDR



Fonte: Autora (2017)

Tabela 3 – Especificações do Sensor LDR GL5528

Fabricante	CdS
Tensão de Operação	3 a 5V
Tipo de Saída	Digital e Analógica
Comparador de Tensão	LM393
Dimensões	30mm x 13mm

Fonte: Adaptado de FilipeFlop (2017, online)

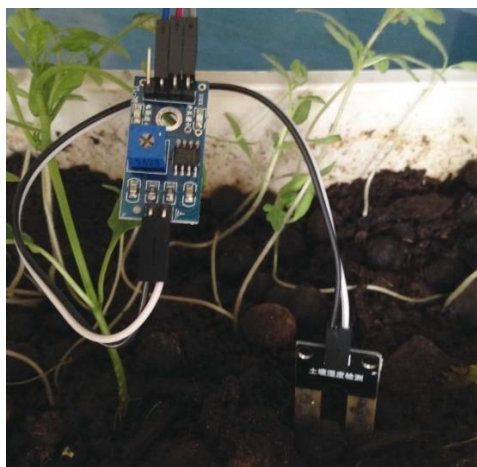
3.1.4 Sensor de Umidade do Solo Higrômetro

O sensor higrômetro detecta as variações na umidade do solo, ficando em estado alto quando a umidade está baixa e estado baixo quando detecta a presença

de umidade. Caso a leitura do sensor indicar níveis de umidade muito baixas no solo, o sistema fará o acionamento da bomba d'água por um tempo determinado.

Os dados do sensor podem ser transmitidos por uma saída analógica ou digital. A regulação da saída digital é realizada pelo potenciômetro para ajustar a diferença de intensidade de umidade, reproduzindo o estado “1” quando o valor detectado for abaixo do que foi regulado e “0” quando o valor for igual ou acima do valor regulado.

Figura 13 – Sensor de Umidade do Solo Higrômetro



Fonte: Autora (2017)

As especificações técnicas do sensor são detalhadas na Tabela 4, de acordo com o fornecedor FilipeFlop:

Tabela 4 – Especificações do Sensor YL-69

Distribuidor	FilipeFlop
Tensão de Operação	3 a 5V
Tipo de Saída	Digital e Analógica
Comparador de Tensão	LM393
Dimensões Sonda	60mm x 20mm
Dimensões PCB	30mm x 15mm

Fonte: Adaptado de FilipeFlop (2017, online)

3.1.5 Módulo Relé de dois Canais

Segundo Roque (2014, p. 9), relés são “dispositivos eletromecânicos que se comportam como chaves, cujo acionamento é realizado eletricamente, sem a

necessidade de intervenção humana”. O relé é utilizado para acionar ou desativar as saídas dos atuadores a partir do processamento dos dados de entrada proveniente dos sensores.

Figura 14 – Módulo Relé 5V de Dois Canais



Fonte: Autora (2017)

De acordo com o fornecedor FilipeFlop (2017), módulo relé de dois canais pode ser utilizado para acionar até dois circuitos independentes. As principais especificações do modelo são:

Tabela 5 – Especificações do Relé SRD-05VDC-SL-C

Fabricante	Songle Relay
Tensão de Operação	5V DC
Tempo de Resposta	5ms a 10ms
Pinagem	Normal aberto, Normal Fechado, Comum
Consumo de Corrente	15mA a 20mA
Tensão de Saída	30V DC a 10A ou 250V AC a 10A
Dimensões	51mm x 38mm x 20mm

Fonte: Adaptado de FilipeFlop (2017, online)

3.1.6 Bomba Para Irrigação

A irrigação será feita pela bomba d'água submersível Jeneca IPF-338, utilizada em aquários. A bomba será utilizada sem o filtro de espuma, que é destacável. Modelo é especificado abaixo pelo fornecedor Mercado Livre:

Figura 15 – Bomba d'Água



Fonte: Autora (2017)

Tabela 6 – Especificações da Bomba D'água IPF-338

Fabricante	Jeneca
Tensão de Operação	110V
Potência	5W
Vazão	300 L/h
Dimensões	40mm x 110mm x 30mm

Fonte: Adaptado de Mercado Livre (2017, online)

3.1.7 Lâmpada LED

Para a iluminação da estufa foram utilizadas duas lâmpadas compostas por 16 LEDs vermelhos, 8 LEDs azuis, 2 LEDs brancos quentes, 1 LED Infravermelho e 1 LED ultravioleta, conferindo a faixa de luz de espectro total necessário para o desenvolvimento de vegetais.

Figura 16 – Lâmpada LED de Espectro Total



Fonte: Autora (2017)

Os dados do modelo GE2728W são disponibilizados pelo fornecedor Plant Life (2017):

Tabela 7 – Especificações do Lâmpada GE2728W

Distribuidor	PlantLife
Potência	28W
Voltagem	110V e 220V
Base	E27
Chip de LED	SMD5730
Comprimento de Onda Vermelho	660nm
Comprimento de Onda Azul	445nm
Comprimento de Onda UV	295nm
Comprimento de Onda IR	750nm
Temperatura de Luz Branca	6000k
Dimensões	64mm x 49mm

Fonte: Adaptado de Mercado Livre (2017, online)

3.1.8 Cooler

A ventilação da estufa é feita com um *cooler* para computador, demonstrado na Figura 17:

Figura 17 – Cooler 12V

Fonte: Autora (2017)

O atuador é especificado de acordo com o distribuidor MXT Informática, apresentado na Tabela 8:

Tabela 8 – Especificações do Cooler 12V

Distribuidor	MXT Informática
Tensão de Operação	12V
Velocidade	2500 CFM
Dimensões	80mm x 80mm x 25mm

Fonte: Adaptado de MXT Informática (2017, online)

3.2 SISTEMA SUPERVISÓRIO

Os tópicos seguintes apresentam a ferramenta Node-RED, que foi utilizada para desenvolver o sistema que controla e supervisiona o funcionamento da estufa automatizada.

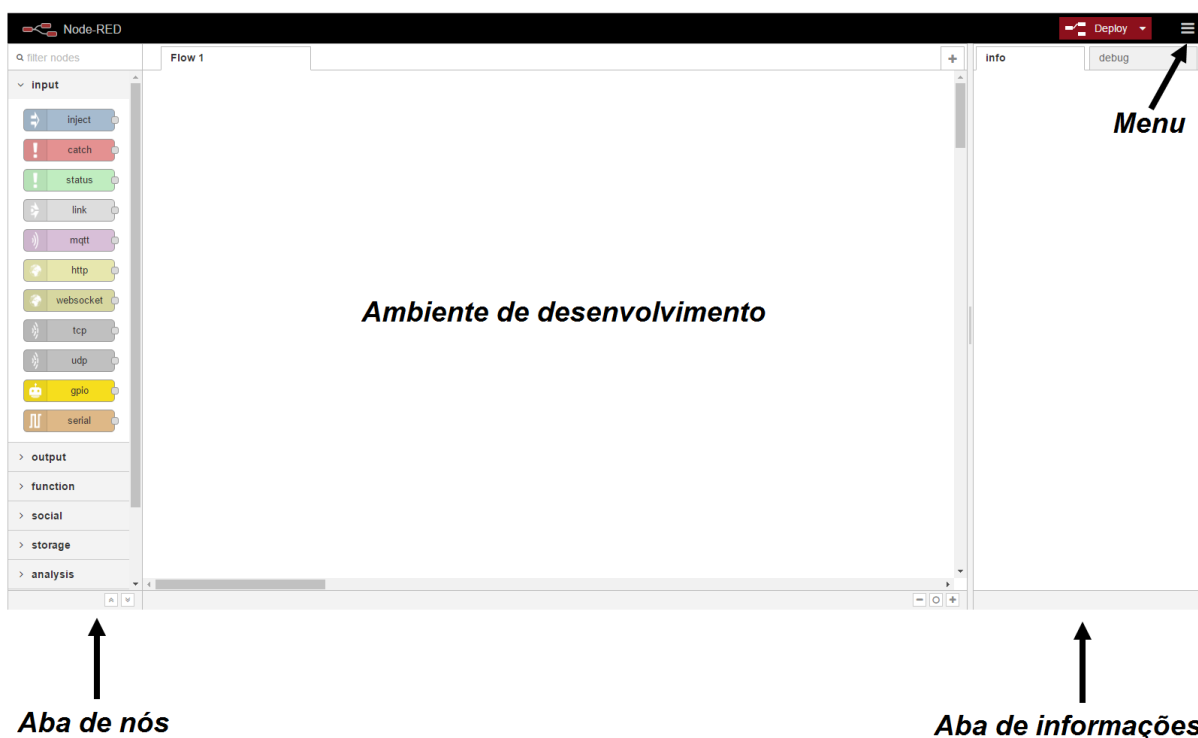
3.2.1 Node-RED

O programa responsável por acionar o sistema de automação foi desenvolvido na plataforma *Node-RED* instalado diretamente do *Raspberry Pi*, uma vez que a aplicação permite o controle direto sobre as portas GPIO. O sistema de automação foi desenvolvido por meio da programação gráfica do *software* e através da mesma

aplicação, foi gerada uma interface gráfica com a visualização dos dados capturados e o estado dos acionamentos.

A página de desenvolvimento do *Node-RED* funciona diretamente no navegador do *Raspberry Pi*, sob o endereço *localhost:1880*, enquanto a interface gráfica gerada para supervisionar o sistema é acessada pelo endereço *localhost:1880/ui*. O ambiente de desenvolvimento é apresentado na Figura 18:

Figura 18 – Ambiente de Desenvolvimento do Node-RED



Fonte: FilipeFlop (2017)

Na aba de nós do programa, os blocos são divididos em diferentes tipos. Neste trabalho os principais tipos de bloco utilizados foram os nós de *Input*, *Output*, *Function*, *Advanced*, *Boolean Logic*, *Raspberry Pi* e *Dashboard*.

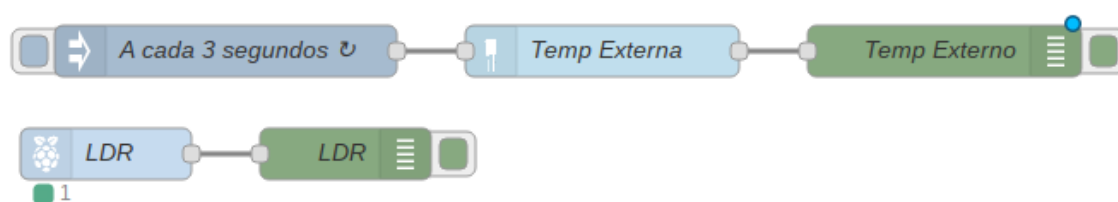
3.2.2 Comunicação com Sensores

A comunicação do sistema com os sensores ligados às portas GPIO foi feita diretamente pelo nós do tipo *Raspberry Pi*, que tem a função de se comunicarem com os periféricos acoplados ao controlador. Os blocos utilizados foram os nós de *input* e

output das portas GPIO e um bloco específico para receber os dados do sensor de temperatura e umidade DHT22.

Os demais sensores e atuadores foram ligados por meio de blocos padrão de entrada ou saída GPIO. Um fluxo simples que mostra como é feita a ligação dos blocos especificados é demonstrado na Figura 19:

Figura 19 – Exemplo de Fluxo de Comunicação com as Portas GPIO



Fonte: Autora (2017)

O primeiro bloco de entrada indica que os dados do sensor DHT22 serão requisitados a cada 3 segundos e o terceiro bloco recebe o valor numérico enviado pelo sensor, que é impresso na aba de informações. Abaixo, o bloco de *input* representa o sensor de luminosidade e indica o estado das grandezas. Da mesma forma, o bloco *output* recebe os valores e os imprime na aba de informações da página.

3.2.3 Interface do Sistema Supervisório

Através dos nós do tipo *dashboard*, os estados e valores recebidos e enviados pelas portas GPIO podem gerar uma representação gráfica, como gráficos, textos indicativos, entre outros. Para gerar a visualização dos dados supervisionados, foram utilizados os nós *chart*, *gauge* e *label*, geram representações visuais de gráficos e texto.

Um exemplo de interface do sistema supervisório é demonstrado na Figura 20:

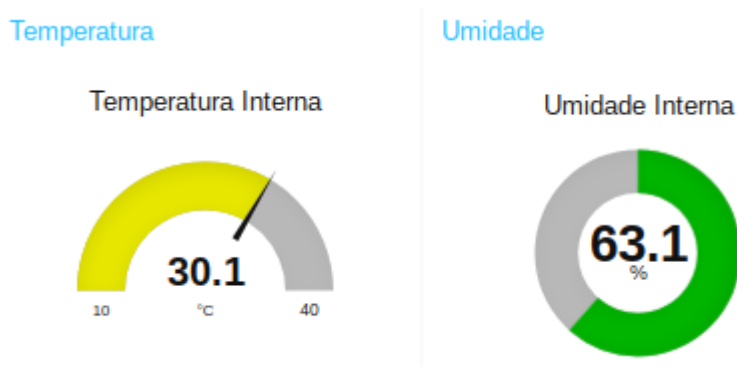
Figura 20 – Interface do Sistema Supervisório



Fonte: Autora (2017)

Além do indicativo em texto e gráficos em linha de tempo que exibem o estado e variação dos parâmetros, os elementos gráficos *gauge* e *donut chart* são os principais indicativos do nível dos parâmetros. Os elementos são respectivamente ilustrados na Figura 21.

Figura 21 – Elementos Gráficos da Interface Gráfica



Fonte: Autora (2017)

O elemento *gauge*, semelhante a um velocímetro, é utilizado para verificar o comportamento de variáveis analógicas por meio de um ponteiro que percorre um ângulo de 180°, entre um número mínimo e máximo configurados.

O *donut chart* é um gráfico em 360° que é preenchido com o valor recebido que esteja entre os valores máximo e mínimo configurados.

Em ambos os elementos, quando o valor exibido se aproxima dos valores máximos ou mínimos determinados, essa aproximação é exibida por meio da mudança de cor, onde verde indica que o valor recebido dos sensores é adequado, amarelo indica que está acima no nível indicado e vermelho indica que valor recebido se aproxima do valor máximo estipulado. Isso auxilia o usuário a verificar a adequação dos parâmetros climáticos.

3.3 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

O desenvolvimento e construção do protótipo é detalhada nos tópicos seguintes.

3.3.1 Materiais

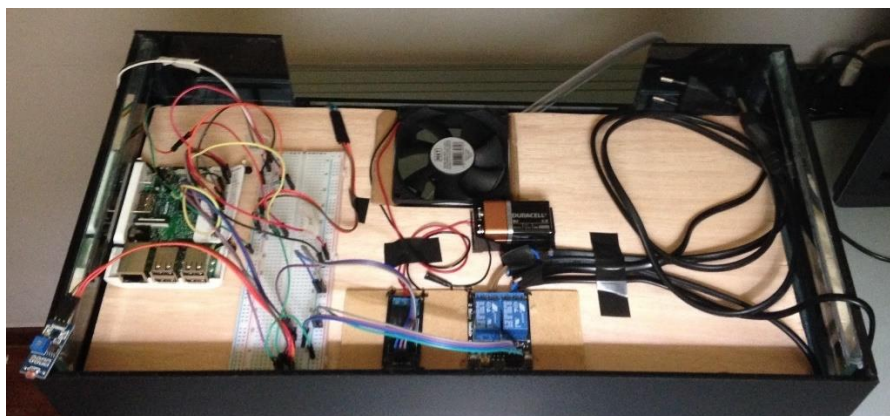
Para a confecção do protótipo de estufa foi utilizado um aquário de vidro nas medidas de 45cm de comprimento, 40cm de altura e 25cm de profundidade. Para a instalação do sistema elétrico foi adaptado uma tampa feita com compensado onde todos os componentes do circuito eletrônico foram instalados, conforme demonstrado nas Figuras 22 e 23:

Figura 22 – Protótipo da Estufa Automatizada



Fonte: Autora (2017)

Figura 23 – Montagem do Circuito Eletrônico da Estufa



Fonte: Autora (2017)

3.3.2 Custos

O projeto teve um custo de R\$ 417,00 (quatrocentos e dezessete reais), onde os mais altos são representados pelo *Raspberry Pi*, o aquário e as lâmpadas utilizadas. Todos os componentes adquiridos são detalhados na Tabela 9:

Tabela 9 – Custos do Projeto

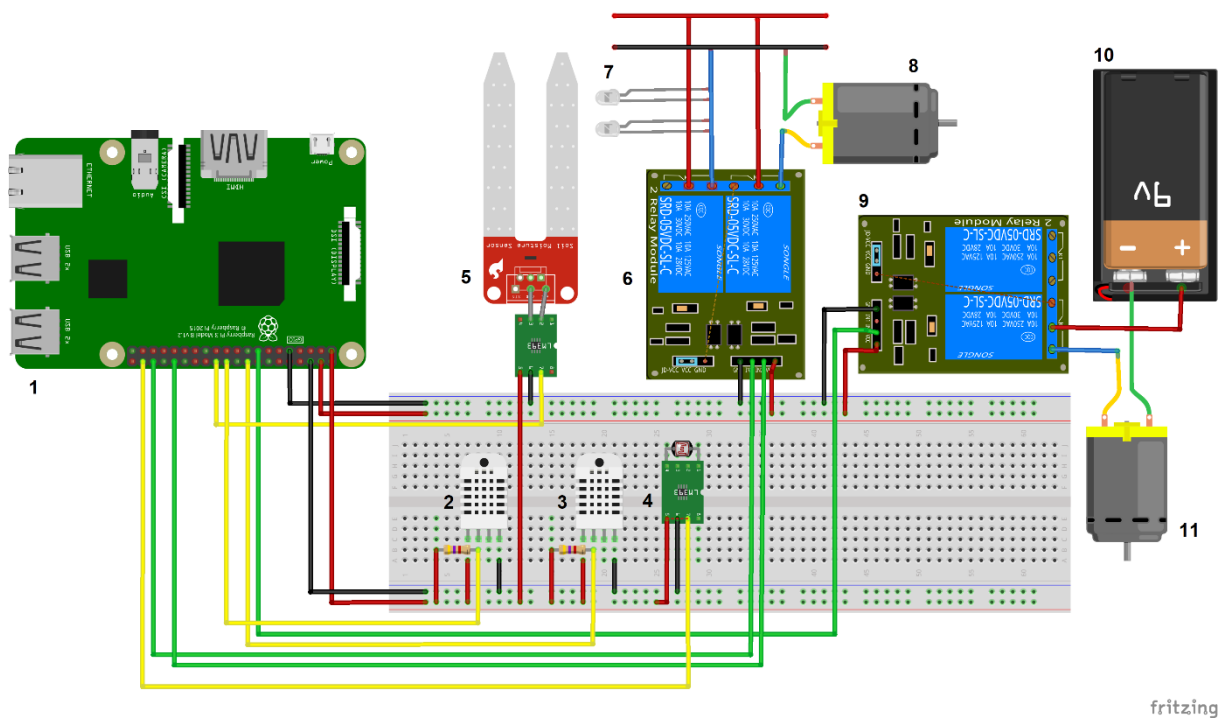
Item	Valor	Quantidade	Valor Total
Raspberry Pi 3 Model B	R\$150,00	1	R\$150,00
Sensor de Luminosidade	R\$9,00	1	R\$9,00
Sensor de Umidade do Solo	R\$10,00	1	R\$10,00
Sensor de Umidade e Temperatura	R\$14,00	2	R\$28,00
Módulo de Relés	R\$7,00	1	R\$7,00
Lâmpada LED	R\$39,00	2	R\$78,00
Bomba d'água	R\$40,00	1	R\$40,00
Aquário 45x40x25cm	R\$85,00	1	R\$85,00
Cooler	R\$10,00	1	R\$10,00
Total			R\$417,00

Fonte: Autora (2017)

3.3.3 Esquema Eletrônico

O esquema eletrônico pode ser visualizado na Figura 24:

Figura 24 – Esquema Eletrônico



Fonte: Autora (2017)

O circuito acima é ligado da seguinte forma:

1. *Raspberry Pi*.
2. DHT22 posicionado no interior da estufa, ligado à GPIO 25 e resistor de 4.7kΩ.
3. DHT22 posicionado no exterior da estufa, ligado à GPIO 24 e resistor de 4.7kΩ.
4. Módulo LDR ligado à GPIO 20.
5. Sensor de Umidade do Solo YL-69, ligado à GPIO 11.
6. Relé com módulo IN1 ligado ao GPIO 16 e IN2 ligado ao GPIO 12.
7. Lâmpadas LED ligadas à saída IN1 do relé 6.
8. Bomba d'água ligada à saída IN2 do relé 6.
9. Relé com módulo IN1 ligado à GPIO 22.
10. Bateria 9V.
11. Cooler ligado à saída IN1 do relé 9 e à bateria de 9V.

3.4 FUNCIONAMENTO

O funcionamento da estufa é realizado pelo *Raspberry Pi* e controlado pelo programa desenvolvido no *Node-RED*, que é responsável por realizar a supervisão do sistema de automação. O funcionamento do sistema é detalhado nos tópicos a seguir.

3.4.1 Funcionamento do Sistema de Automação e Supervisão

Ao ser inicializado, o sistema recebe em tempo real os dados coletados pelos sensores DHT22 interno e externo, LDR e YL-60, recebendo os valores de umidade e temperatura, nível de iluminação e nível de umidade presente no solo, respectivamente.

Estes dados passam pelas funções de processamento, onde os valores obtidos são comparados aos valores pré-estabelecidos para que os sistemas de ventilação, iluminação e irrigação sejam acionados ou desabilitados. As informações referentes aos dados obtidos e ao estado de acionamento dos atuadores são reproduzidas em uma interface gráfica para que o usuário visualize os dados coletados e o estado dos acionamentos.

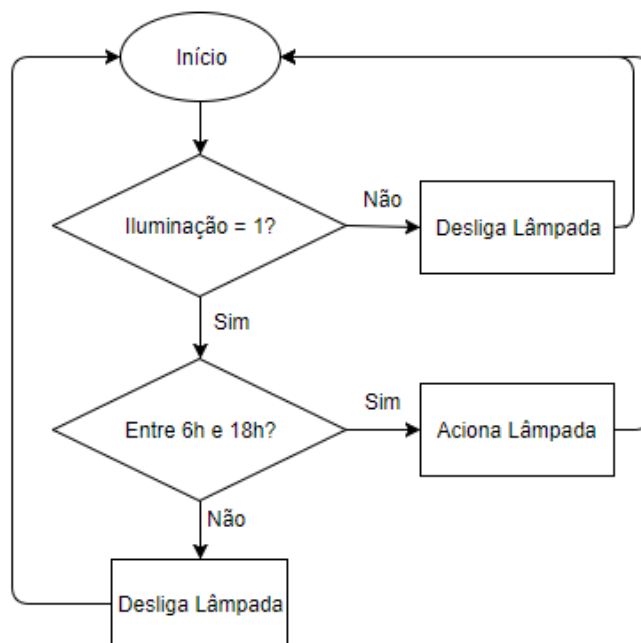
3.4.2 Funcionamento Sistema de Iluminação

O acionamento das lâmpadas LED é feito a partir da leitura do sensor LDR. As leituras captadas pelo sensor são processadas pelo programa onde a baixa intensidade de luz natural provocará o acionamento das lâmpadas e a intensidade adequada acionará o desligamento das lâmpadas. Por estar sendo utilizado um sensor com saída digital, o nível de intensidade é reproduzido pelos estados “1” ou “0” que indicam, respectivamente, nível de intensidade abaixo do estipulado e nível de intensidade igual ou acima do estipulado. O nível utilizado para parâmetro é regulado manualmente por meio de um potenciômetro.

Testes realizados com um luxímetro indicaram que a intensidade de luz considerado insatisfatório é quando o valor é inferior a 800 lux. Dessa forma, o LDR teve seus parâmetros ajustados para que um valor igual ou menor a 800 lux seja considerado insatisfatório, acionando o funcionamento das lâmpadas.

Para que o período de exposição à luz siga o padrão de 12 horas diárias, o programa responsável pelo controle funcionará pelo período do dia para que o sistema de iluminação não seja acionado durante a noite e os cultivos não tenham o ciclo de desenvolvimento afetado.

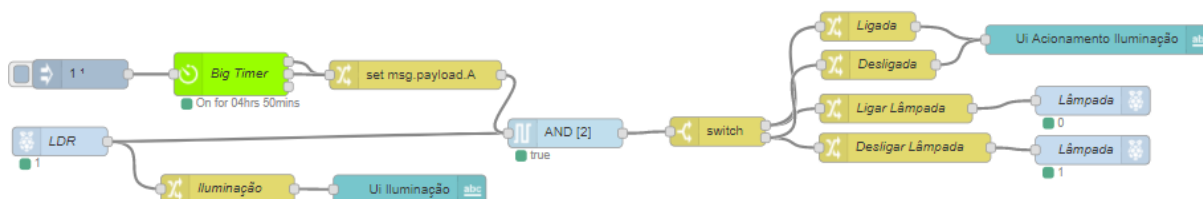
Figura 25 – Fluxograma do Sistema de Iluminação



Fonte: Autora (2017)

Através do nó *Big Timer* do sistema *Node-RED*, o acionamento do sistema de iluminação foi configurado para funcionar a partir das 6h até as 18h, horário em que a execução é interrompida e o sistema de iluminação é desativado. O fluxo desenvolvido no *Node-RED* é visualizado na Figura 26:

Figura 26 – Fluxo do Sistema de Iluminação



Fonte: Autora (2017)

O valor “1” captado pelo sensor indica que o nível de luminosidade não está adequado, acionando o estado “0” para efetuar o acionamento das lâmpadas. Quando é detectado um nível de luminosidade suficientes, o estado do sensor é alterado para “0” e o estado de acionamento das lâmpadas é alterado para “1”, indicando seu desligamento. O nó *AND* realiza a operação lógica em que o comando de acionamento só é transmitido caso o nó *Big Timer* determine que o horário do acionamento está apropriado.

Medições baseadas nos dados captados são reproduzidos na interface gráfica do sistema supervisor, onde é reproduzida a adequação da intensidade de luz recebida e o status do acionamento das lâmpadas. A interface gráfica do acionamento do sistema de iluminação é apresentada na Figura 27:

Figura 27 – Interface do Estado e Acionamento do Sistema de Iluminação

Sensoriamento		Acionamentos	
Iluminação	Insuficiente	Lâmpada	Ligada
Irrigação	Suficiente	Bomba d'Água	Desligada
Temperatura	Inadequada	Cooler	Ligado

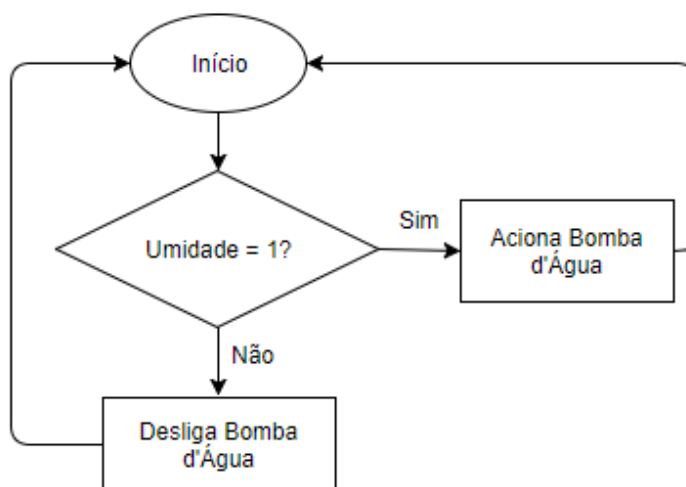
Fonte: Autora (2017)

3.4.3 Funcionamento Sistema de Irrigação

A bomba d'água é acionada a partir da leitura do sensor de higrômetro YL-69, que possui saída digital. Caso seja detectado umidade do solo abaixo do que foi estipulado, a bomba será acionada até que haja o reestabelecimento do nível de umidade adequado.

Testes realizados utilizando a porta analógica da plataforma *Arduino* acoplada no sensor, que percentual de umidade mínima para ativar a bomba de irrigação é equivalente a 80%. Valores acima de 80% determinam que o sistema de irrigação permanecerá desligado.

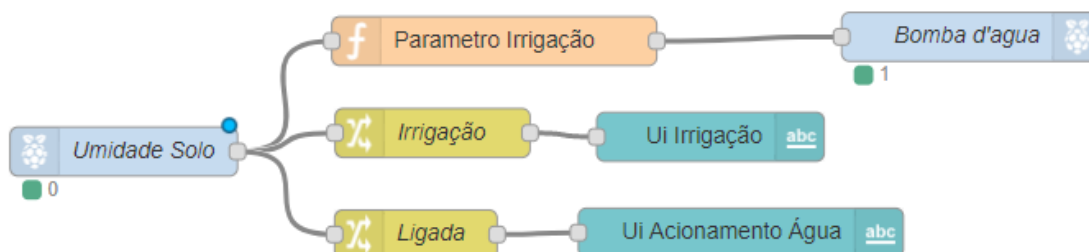
Figura 28 – Fluxograma do Sistema de Irrigação



Fonte: Autora (2017)

O acionamento do sistema de irrigação desenvolvido no *Node-RED* é demonstrado na Figura 29:

Figura 29 – Fluxo do Sistema de Irrigação



Fonte: Autora (2017)

Durante o acionamento, o estado “1” indica que o solo não está úmido suficiente para a planta em questão. O bloco de parâmetro processa o valor recebido e envia um comando de acionamento para a bomba d’água, representado pelo estado “0” no bloco. Ao ser estabelecido o nível de umidade indicado, o estado do sensor volta a ser “0”, indicando que o nível de umidade é suficiente e bomba d’água apresenta o estado “1”, indicando que está desabilitada.

O programa voltará a verificar a leitura do sensor, mantendo a bomba desligada até que seja novamente detectado o nível baixo de umidade. O sistema supervisório

exibe o status do acionamento do sistema de irrigação, como é demonstrado na Figura 30:

Figura 30 – Interface do Estado e Acionamento do Sistema de Irrigação

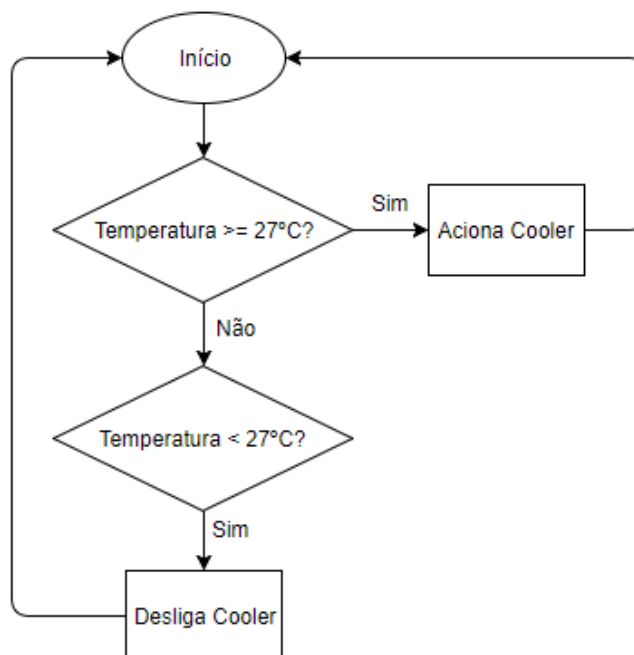
Sensoriamento		Acionamentos	
Iluminação	Insuficiente	Lâmpada	Ligada
Irrigação	Suficiente	Bomba d'Água	Desligada
Temperatura	Inadequada	Cooler	Ligado

Fonte: Autora (2017)

3.4.4 Funcionamento Sistema de Ventilação

A temperatura e umidade internos e externos da estufa são monitoradas através dos sensores DHT22. Os parâmetros de temperatura internos são controlados através do sistema de ventilação.

Figura 31 – Fluxograma do Sistema de Ventilação



Fonte: Autora (2017)

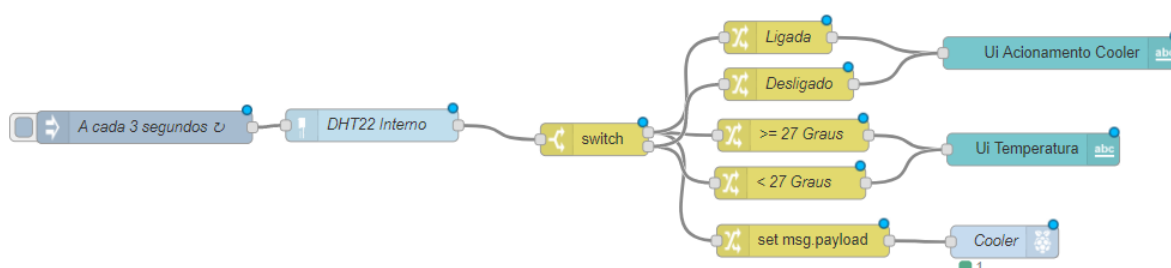
O protótipo desenvolvido utiliza um sistema de ventilação utilizando um *cooler* que é acionado quando o nível de temperatura interna estiver acima do valor estipulado de 27°C. Caso os parâmetros estejam no nível aceitável, o cooler será desabilitado. A Figura 32 destaca a interface gráfica do sistema de ventilação e a Figura 33 demonstra o fluxo do sistema:

Figura 32 – Interface do Estado e Acionamento do Sistema de Ventilação

Sensoriamento		Acionamentos	
Iluminação	Insuficiente	Lâmpada	Ligada
Irrigação	Suficiente	Bomba d'Água	Desligada
Temperatura	Inadequada	Cooler	Ligado

Fonte: Autora (2017)

Figura 33 – Fluxo do Sistema de Ventilação

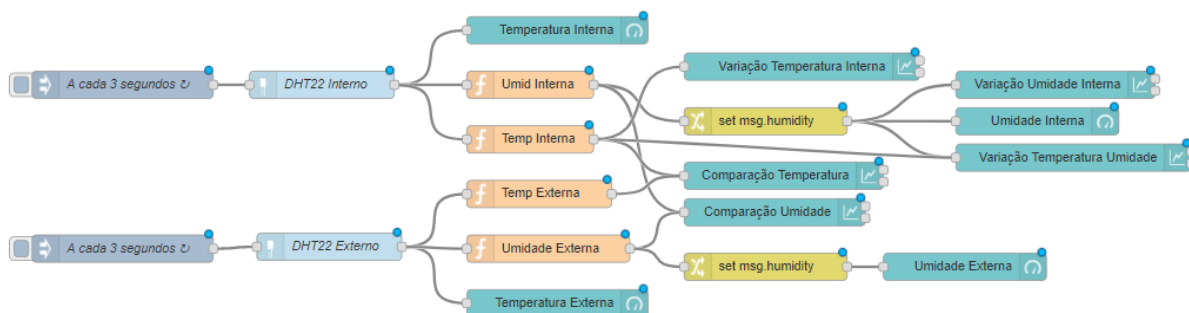


Fonte: Autora (2017)

Um segundo sensor DHT22 é posicionado no exterior da estufa para verificar a temperatura e umidade externa do ambiente. A medição dos parâmetros externos servirá apenas para fins de comparação com os parâmetros internos e indicativo de alguma disfunção no funcionamento da estufa, caso os dois valores apresentem uma diferença muito grande. Isso pode indicar algum problema como calor e umidade excessivo gerado pelas lâmpadas ou baixa eficiência do sistema de ventilação.

A medição de umidade no interior da estufa também será utilizada apenas para fins de supervisão do microclima interno, não sendo utilizada para a tomada de decisão do sistema. O fluxo do monitoramento de umidade e temperatura externos e internos é demonstrado na Figura 34:

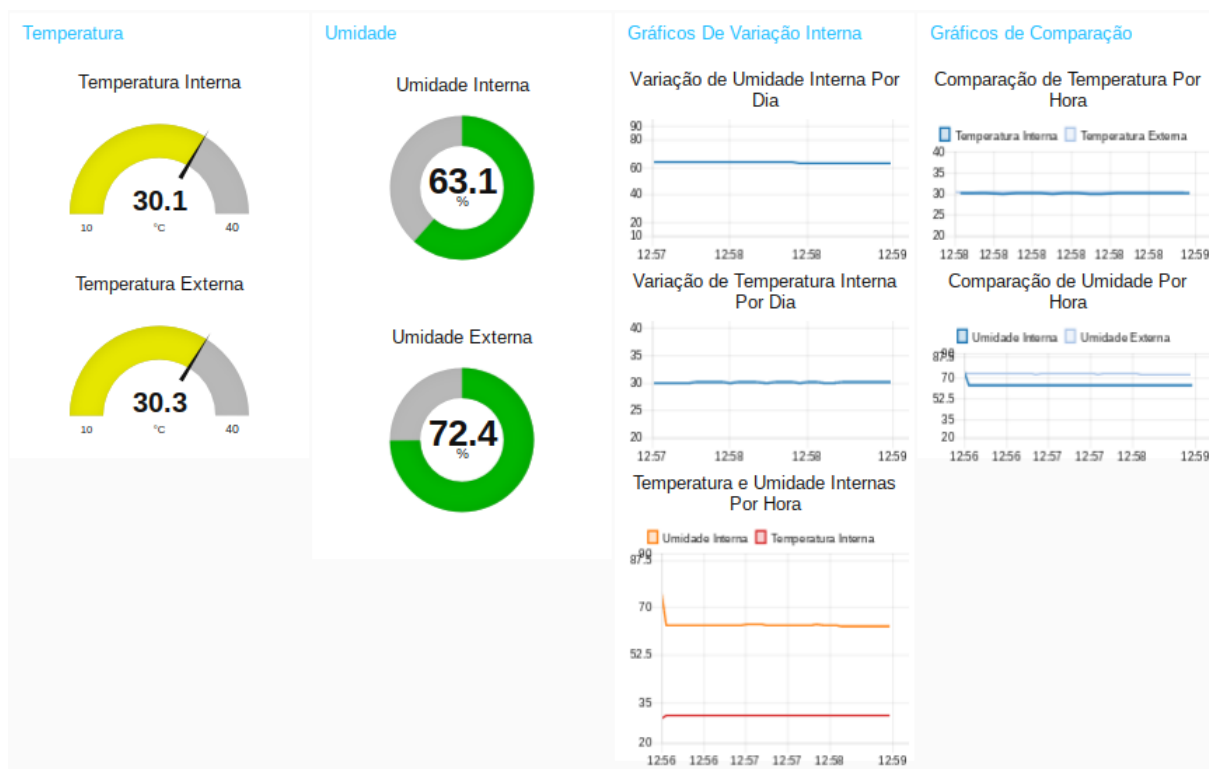
Figura 34 – Fluxo da Interface dos Parâmetros de Temperatura e Umidade



Fonte: Autora (2017)

O sistema supervisorio exibirá os valores obtidos dos ambientes interno e externo através de gráficos indicativos dos valores captados e gráfico que exibem a distribuição dos valores ao longo das horas e dias. Também é exibido em texto o acionamento do sistema de ventilação.

Figura 35 – Gráficos de Umidade e Temperatura



Fonte: Autora (2017)

3.5 ANÁLISE E RESULTADOS OBTIDOS

Os testes foram realizados com mudas de tomate (*Solanum lycopersicum*) e pimentão (*Capsicum annuum*) e demonstraram que a estufa manteve o microclima apropriado para as espécies, com a umidade relativa do ar de 60% a 85% e temperatura de 27°C a 30°C., de forma que não houveram variações prejudiciais dos parâmetros climáticos para o desenvolvimento de vegetais. De acordo com Brandao Filho e Callegari (1999), os parâmetros climáticos apropriados para o cultivo das espécies citadas são definidos na Tabela 10:

Tabela 10 – Parâmetros de Umidade do Ar e Temperatura Recomendados

Hortaliça	Umidade do Ar	Temperatura
Tomate	50% a 70%	10°C a 30°C
Pimentão	50% a 70%	15°C a 30°C

Fonte: Adaptado de Brandao Filho e Callegari (1999)

A medição da temperatura indicou valores constantes internos e externos acima de 27°C, que pode ser explicada pela temperatura alta da região. Da mesma forma, o nível de umidade interna no valor de 85% pode ser considerado elevado, mas ainda dentro da faixa de adequação geral para o desenvolvimento das plantas, uma vez valores a partir de 90% são considerados prejudiciais. Este resultado foi verificado devido à alta taxa de umidade relativa do ar da região, especialmente nos dias chuvosos.

Os valores de teste foram coletados ao longo de três dias, nos períodos da manhã, tarde e noite. Durante o período da manhã e tarde, o sistema de iluminação foi mantido ligado para que pudessem ser observados possíveis variações na temperatura causados pelo calor emitido pelas lâmpadas. A Tabela 11 exibe os valores de temperatura e umidade do ar coletados durante o período de testes:

Tabela 11 – Amostras de Temperatura e Umidade do Ar

Dia e Horário	Sistema de Iluminação	Umidade Externa	Umidade Interna	Temperatura Externa	Temperatura Interna
Dia 1 – 9h	Ativado	72,4%	63,0%	29,3 °C	29,0 °C
Dia 1 – 15h	Ativado	83,4%	72,5%	30,0 °C	30,5 °C
Dia 1 – 21h	Desativado	72,2%	67,8%	30,4 °C	29,2 °C
Dia 2 – 9h	Ativado	84,0%	73,7%	29,0 °C	28,7 °C
Dia 2 – 15h	Ativado	83,8%	77,1%	29,2 °C	29,3 °C
Dia 2 – 21h	Desativado	84,2%	77,6%	28,6 °C	27,7 °C
Dia 3 – 9h	Ativado	85,8%	76,3%	28,2 °C	28,0 °C
Dia 3 – 15h	Ativado	88,3%	77,2%	27,6 °C	28,9 °C
Dia 3 – 21h	Desativado	87,8%	77,8%	28,0 °C	27,1 °C

Fonte: Autora (2017)

Apesar dos valores elevados, os parâmetros gerados na estufa mantiveram-se abaixo do limite de inadequação para o desenvolvimento de hortaliças em geral, cujos valores são a partir de 32°C de temperatura e acima de 90% para a umidade relativa do ar.

Nos testes também foi verificado que o sistema de ventilação não foi suficiente para diminuir os valores de temperatura e umidade citados acima. O problema foi definido pela tensão inadequada da ventoinha, que funciona na faixa de 12 Volts mas era alimentada pela tensão de 5 Volts fornecida pela porta GPIO do *Raspberry Pi*. O problema foi resolvido com a mudança do acionamento para um relé alimentado por uma bateria 9 Volts. Apesar de ainda estar abaixo da tensão indicada, houve relativa melhoria na eficiência do sistema de ventilação, mantendo a temperatura interna equivalente ou abaixo da temperatura externa, na faixa de 0,5°C a 1°C de diferença. Os melhores resultados foram obtidos com o sistema de iluminação desabilitado, o que demonstrou a influência de aproximadamente 1°C na temperatura interna causada pelo calor emitido pelas lâmpadas.

A partir dos testes pôde-se observar que as plantas não tiveram seu crescimento interrompido após serem colocadas no ambiente da estufa e desenvolveram-se dentro do parâmetro esperado para as espécies, uma vez que o sistema foi capaz controlar o clima ideal.

3.5.1 Comparação com Modelos Existentes

A partir do modelo de estufa automatizada Plantário ONE, apresentada no tópico 2.1, pode-se fazer algumas comparações de funcionalidades com o protótipo desenvolvido neste trabalho. As principais características de cada modelo são apresentadas na tabela 12:

Tabela 12 – Comparação Entre o Protótipo e Modelo Existente

Funcionalidades	Plantário ONE	Protótipo
Dimensões	69 x 44,6 x 48,4 cm	40 x 45 x 25 cm
Sistema Supervisório	Não	Sim
Parâmetros de Acionamento	Não configurável	Configurável
Número de Vasos	9 vasos	2 vasos
Método de Irrigação	Subirrigação	Subirrigação
Sensor de Umidade do Solo	Sim	Sim
Sensor de Temperatura e Umidade	Não	Sim
Sensor de Iluminação	Não	Sim
Período de Iluminação	12h ou 18h por dia	12h por dia
Tipo de Iluminação	Lâmpadas LED	Lâmpadas LED
Ligação na Rede Hidráulica	Sim	Não
Reservatório de Água	Sim	Sim

Fonte: Adaptado de Plantário (2017, online) e Autora (2017).

As principais diferenças se deram na possibilidade de visualização dos dados, alteração nos parâmetros de acionamento e monitoramento dos fatores climáticos.

O modelo Plantário ONE possui parâmetros pré-estabelecidos para que seus atuadores sejam acionados, possuindo apenas sensores de solo para acionar o sistema de irrigação. O sistema de iluminação possui duas opções de período de funcionamento, que pode funcionar por um período de 12 horas, semelhante ao protótipo, ou por um período de 18 horas por dia. Outro aspecto é a ausência de monitoramento dos parâmetros climáticos, uma vez o modelo não possui sensores para obter os valores de umidade, temperatura e luminosidade do ambiente.

Em comparação, o modelo Plantário ONE funciona a partir de acionamentos pré-programados para gerar um microclima adequado independente do clima local, enquanto o protótipo utiliza os valores adquiridos no ambiente para manter o clima interno da estufa.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram a eficiência no uso de uma estufa indoor automatizada, conforme o objetivo desta monografia. A utilização dos conceitos de automação aplicados ao cultivo de hortaliças em ambiente residencial, propicia a redução do tempo e mão de obra necessários no processo de cultivo, além de viabilizar o cultivo caso o ambiente não apresente parâmetros climáticos adequados.

Através da plataforma *Raspberry Pi* em conjunto com a aplicação *Node-RED*, o sistema de automação pode ser desenvolvido de forma que os parâmetros climáticos da estufa puderam ser monitorados e controlados adequadamente pelo sistema supervisor.

Em geral, o sistema demonstrou eficiência para gerar um microclima adequado para o desenvolvimento de cultivares, com valores de temperatura e umidade adequados. O sistema de iluminação apresentou ótimo desempenho com a aplicação de uma rotina de funcionamento, e o sistema de irrigação foi capaz de manter os cultivares hidratados sem ocasionar o desperdício de água. Verificou-se também que sistema de ventilação foi suficiente para manter a temperatura interna da estufa constante, evitando variações ou aumento excessivo da temperatura.

Durante a realização deste projeto, também foi verificado o potencial que o sistema apresenta em aplicações de maior escala a um custo reduzido, que pode auxiliar produtores de pequeno e médio porte.

4.1 DIFICULDADES ENCONTRADAS

No desenvolvimento do trabalho foram encontradas algumas dificuldades. Uma delas se deu na elaboração do protótipo da estufa que sofreu algumas alterações devido a mudanças no tipo de material que seria confeccionado.

Também foram encontradas algumas dificuldades com o funcionamento do sensor LDR, que apresentou algumas falhas na leitura durante a inicialização do programa, o que ocasionou o acionamento indevido das lâmpadas em alguns momentos. O LDR e o sensor de umidade de solo foram utilizados com suas saídas digitais, o que dificultou a implementação de parâmetros numéricos de iluminação e umidade e impossibilitou uma leitura precisa das grandezas especificadas.

Houveram algumas dificuldades com o sistema supervisório que inicialmente seria efetuado pelo *software* ScadaBR. O programa apresentou incompatibilidades na instalação nos sistemas operacionais *Windows 10* e *Raspbian*, o que ocasionou a sua substituição pelo *Node-RED* como sistema supervisório utilizado neste trabalho.

4.2 PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

Para a realização de trabalhos futuros propõe-se a implementação de funcionalidades como monitoramento e controle de acionamento realizado a partir de uma aplicação móvel, além de melhorias na interface homem máquina.

Também é proposto a mudança de alguns sensores e atuadores que tiveram o desempenho não ideal. O sensor LDR teve desempenho abaixo do esperado, sendo indicado a substituição por sensores capazes de captar a intensidade da luz com mais precisão, como o sensor de Luminosidade TSL2561, capaz de efetuar medições do espectro da luz e valores em Lux. O sensor de umidade teve desempenho satisfatório, porém é proposto a utilização de um conversor analógico-digital para que haja mais precisão no monitoramento do nível de umidade do solo.

O *cooler* utilizado no sistema de ventilação teve um desempenho bom para regular a temperatura e umidade da estufa, ainda assim, verificou-se que há a necessidade de acrescentar um segundo *cooler* como exaustor, auxiliando na expulsão de vapor e ar quente acumulados.

Também é proposto o monitoramento da corrente elétrica para que o usuário seja informado na interface o consumo de energia, uma vez que o sistema deve operar continuamente.

5 REFERÊNCIAS

ALCIATORE, David G.; HISTAND, Michael B. **Introdução à Mecatrônica e Aos Sistemas de Medição**. Tradução de Aniel Silva de Moraes e Márcio José da Cunha. 4. ed. Porto Alegre: AMGH Editora LTDA, 2014.

AZEVEDO JUNIOR, Amber L. **Sistema de Monitoramento e Climatização de Estufa de Pequeno Porte em um Contexto Doméstico**. 84f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia da Computação, Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2016.

BARROS, Edna; CAVALCANTE, Sérgio. **Introdução aos Sistemas Embarcados**. Disponível em: < <http://www.cin.ufpe.br/~vba/periodos/8th/s.e/aulas/STP%20-%20Intro%20Sist%20Embarcados.pdf>>. Acesso em: 16 out. 2017.

BEZERRA, Fred Carvalho. **Produção de Mudanças de Hortaliças em Ambiente Protegido**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2003. 22 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 72). Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/425185/1/doc72.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2017.

BRANDÃO FILHO, José Usan Torres; CALLEGARI, Osni. **Cultivo de Hortaliças de Frutos em Solo em Ambiente Protegido**. Informe: Agropecuário, Belo Horizonte, v.20, n.200/201, p.64-68, set./dez. 1999.

CARDOSO, Marcelo Aparecido. **Controle Automatizado para Ambientes Protegidos**. 46 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia da Computação, Universidade São Francisco, Itaíba, 2010.

CARVALHO, Renon S.; HOFFMANN, Ane Fernanda; FIAMONCINI, Gabriel; NETO, João V. **Desenvolvimento de Protótipo Automatizado para o Cultivo Protegido de Hortaliças**. 2014. Disponível em: <<https://ocs.araquari.ifc.edu.br/index.php/micti/micti2014/paper/viewFile/179/54>>. Acesso em: 12 set. 2017.

CNA. **Hortaliças**. 2017. Disponível em: < http://www.cnabrazil.org.br/sites/default/files/sites/default/files/uploads/11_hortalicas.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2017.

EMBARCADOS. **Trazendo o Mundo Real para Dentro do Processador: Conversor A/D**. 2015. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/conversor-a-d/>>. Acesso em: 26 out. 2017.

_____. **CLP Versus Microcontrolador**. 2016. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/clp-versus-microcontrolador/>> Acesso em: 04 dez. 2017.

EMBRAPA. **Automação e Agricultura de Precisão**. 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-mecanizacao-e-agricultura-de-precisao/nota-tecnica>>. Acesso em: 05 nov. 2017.

FILIFELOP. **Sensor de Umidade e Temperatura AM2302 DHT22**. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-umidade-e-temperatura-am2302-dht22/>>. Acesso em: 13 out. 2017.

_____. **Módulo Relé 5V 2 Canais**. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/modulo-rele-5v-2-canais/>>. Acesso em: 17 out. 2017.

_____. **Raspberry Pi 3 Model B**. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/raspberry-pi-3-model-b/#tab-description>>. Acesso em: 22 out. 2017.

_____. **Sensor de Luz LDR (Light Dependent Resistor)**. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-luz-ldr/>>. Acesso em: 22 out. 2017.

_____. **Sensor de Umidade do Solo Higrômetro**. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-umidade-do-solo-higrometro/>>. Acesso em: 02 nov. 2017.

_____. **Primeiros passos com o Node-RED e Arduino UNO**. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/primeiros-passos-node-red-arduino-uno/>>. Acesso em: 24 nov. 2017.

_____. **Usando o Node-Red para ler portas do Arduino**. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/dashboard-para-arduino-no-node-red/>>. Acesso em: 24 nov. 2017.

GIMENEZ, Salvador P. **Microcontroladores 8051**. 1 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2002.

GRUPO MXT. **Produtos Informática**. Disponível em: <<http://grupomxt.com.br/produtos/menu-informatica>>. Acesso em: 27 out. 2017.

INDUCTIVE AUTOMATION. **Scada Explained**. Disponível em: <<https://inductiveautomation.com/what-is-scada>>. Acesso em: 07 set. 2017.

JARDINS URBANOS. **Começando um Cultivo Indoor**. 2017. Disponível em: <<http://blog.jardinsurbanos.com.br/cultivo-indoor-tudo-que-voce-precisa-para-comecar/>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

MARTIN NETO, Ladislau. **A Automação Agropecuária**. 2013. Disponível em: <<http://www.senar.org.br/agricultura-precisao/artigo-a-automacao-agropecuaria/>>.: Acesso em: 28 out. 2017.

McROBERTS, Michael. **Arduino Básico**. Tradução de Rafael Zanolli. 4. ed. São Paulo: Novatec, 2011.

MERCADO LIVRE. **Lâmpada Led Grow 28w Crescimento Floração De Plantas Aquário**. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-893373854-Impada-led-grow-28w-crescimento-floraco-de-plantas-aquario-_JM>. Acesso em: 13 out. 2017.

_____. **Filtro com Bomba Interna**. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-930971816-filtro-int-c-bomba-aleasjeneca-ipf-338-300lh-110v-aquario-_JM>. Acesso em: 28 out. 2017.

NODE-RED. **Documentation**. 2017. Disponível em: <<https://nodered.org/docs/>>. Acesso em: 26 nov. 2017.

OLIVEIRA, André S. de; ANDRADE, Fernando S. **Sistemas Embarcados: Hardware e Firmware na Prática**. 2 ed. São Paulo: Érica, 2010.

PAZOS, Fernando. **Automação de Sistemas e Robótica**. 1 ed. Rio de Janeiro: Editora Axcel Books do Brasil, 2002.

PERDIGONES, Alicia; BENEDICTO, Susana; GARCIA, José L. **Automatização da Estufas: A Evolução das Tecnologias**. Tradução de Inês Anacleto. Universidade Politécnica de Madrid. 2015. Disponível em: <<http://www.agronegocios.eu/noticias/automatizacao-de-estufas-a-evolucao-das-tecnologias/>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

PFEUFER, Emily; GAUTHIER, Nicole W.; KONOPKA, Philip. **Managing Greenhouse & High Tunnel Environments to Reduce Plant Diseases**. University of Kentucky. 2016. Disponível em <<https://www.controlledenvironments.org/wp-content/uploads/sites/6/2017/06/Managing-Greenhouse-High-Tunnel-Environments-to-Reduce-Plant-Diseases.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2017.

PLANTÁRIO. **Plantário ONE**. 2017. Disponível em: <www.plantario.com.br/one>. Acesso em: 8 dez. 2017.

PLANTEI. **Tudo o que Você Precisa Saber Sobre Cultivo Indoor**. 2017. Disponível em: < <https://blog.plantei.com.br/cultivo-indoor/>>. Acesso em: 22 set. 2017.

RASPBERRY PI. **Raspberry Pi 3 Model B**. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>>. Acesso em 15 set. 2017.

_____. **Raspberry Pi Hardware**. Disponível em: < <https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/raspberrypi/> >. Acesso em: 28 out. 2017.

REIS, Neville V. B. dos. **Construção de estufas para produção de hortaliças nas Regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2005. 16 p. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 38). Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/425185/1/doc72.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2017.

RIBEIRO, Fabiano. **Automação do Processo de Furação de Pequenas Peças**. 2014. 46f. Dissertação (Especialização em Automação Industrial) – Departamento Acadêmico de Eletrônica da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

RICHARDSON, Matt; WALLACE, Shawn. **Primeiros Passos com o Raspberry Pi**. Tradução de Patricia Tieme Maeda. 1. ed. São Paulo: Novatec, 2013.

ROQUE, Luiz Alberto Oliveira Lima. **Automação de Processos com Linguagem Ladder e Sistemas Supervisórios**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

VIANNA, William da Silva. **Sistema SCADA Supervisório**. Instituto Federal Fluminense de Educação Ciência e Tecnologia. Campo dos Goytacazes, Rio de Janeiro. 2008. Disponível em: <<https://docslide.com.br/documents/apostila-supervisorio-scada.html>>. Acesso em: 07 out. 2017.

VIVA O LINUX. **Automação e Sensoreamento Remoto utilizando Software Livre "SCADA"**. 2011. Disponível em: <<https://www.vivaolinux.com.br/artigo/Automacao-e-Sensoreamento-Remoto-utilizando-Software-Livre-SCADA>>. Acesso em: 04 dez. 2017.

WENDLING, Marcelo. **Sensores**. Disponível em: <<http://www2.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/4---sensores-v2.0.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2017.