

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DO CURSO SUPERIOR EM
TECNOLOGIA EM MANUTENÇÃO INDUSTRIAL**

**ANDRÉ LUIZ BERNARDI
KLEISON PAULO QUITAISKI
PAULO RICARDO DOS SANTOS**

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADO DE HORTALIÇAS

**MEDIANEIRA
2017**

**ANDRÉ LUIZ BERNARDI
KLEISON PAULO QUITAISKI
PAULO RICARDO DOS SANTOS**

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADO DE HORTALIÇAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Manutenção Industrial, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Medianeira.

Orientador: Prof. Edson Andreoli
Co-orientador: Prof. Me. Ivan Werncke

**MEDIANEIRA
2017**



TERMO DE APROVAÇÃO

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADO DE HORTALIÇAS

Por:

ANDRÉ LUIZ BERNARDI

KLEISON PAULO QUITAISKI

PAULO RICARDO DOS SANTOS

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado às 19h00min do dia 19 de junho de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel no Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. Os acadêmicos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho **aprovado**.

Prof. Me. Edson Andreoli
UTFPR – Câmpus Medianeira
(Orientador)

Prof. Me. Paulo Roberto Dulnik
UTFPR – Câmpus Medianeira
Convidado

Prof. Me. Luis Paulo Zanolla Boschetti
UTFPR – Câmpus Medianeira
(Convidado)

Prof. Me. Yuri Ferruzzi
UTFPR – Câmpus Medianeira
Coordenador do Curso

A folha de Aprovação assinada encontra-se na coordenação do Curso de Tecnologia em Manutenção Industrial.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus que nos acompanha lado a lado e que nos dá suporte em nossa vida.

A todos os professores que dedicam seu precioso tempo com o objetivo de transmitir conhecimento na área, principalmente ao nosso orientador, Edson Andreoli, pela valiosa ajuda pelas suas correções e incentivos. A todos os professores que nos orientaram e se dispuseram a auxiliar e tirar dúvidas durante o desenvolvimento deste projeto, principalmente Ivan Werncke.

Aos amigos que fizemos na UTFPR, que foram sinceros, pelo carinho, apoio e dedicação, por acompanharem nossas trajetórias acadêmicas e que estiveram sempre presentes.

A todos os familiares envolvidos neste projeto, que se dispuseram a ajudar de todas as formas possíveis, seja na cobrança, materiais e até mesmo ajuda na escrita e edição do projeto.

“Os três grandes fundamentos para se conseguir qualquer coisa são: primeiro trabalho árduo; segundo perseverança; terceiro senso comum ”

Thomas A. Edson

RESUMO

BERNARDI, André Luiz; QUITAISKI, Kleison Paulo; dos SANTOS, Paulo Ricardo. Sistema de irrigação automatizado de hortaliças. 2017. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso em Tecnologia de Manutenção Industrial - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira 2017.

As estufas são um modelo de proteção ambiental para diversas culturas, trazendo benefícios diversos, uma vez que reduzem a ação das intempéries durante o período de crescimento da cultura. Neste sentido, este trabalho apresenta o projeto e a execução de um sistema de irrigação automatizado. A estrutura da estufa foi construída em madeira com dimensões de 9m de largura x 7m de comprimento x 3m de altura. Para a irrigação das plantas se fez proveito da água proveniente da chuva. O sistema de monitoramento e processamento de informações foi feito através do micro controlador Arduino Mega 2560 R3 sensores de temperatura DHT11, de pressão BMP180, de tempo RTC3231, de radiação UV e uma tela LCD 16x2, com o programa desenvolvido através da Ide Eclipse para arduino. Ao final do processo avaliou-se as variáveis: crescimento, o número de folhas e o peso da massa seca, evapotranspiração de referência da parte interna da estufa e comparou-se com a parte externa.

Palavras-chave: Automação, Arduino, Alface.

ABSTRACT

BERNARDI, André Luiz; QUITAISKI, Kleison Paulo; dos SANTOS, Paulo Ricardo. Automated irrigation system of vegetables. 2017. 71p f. Trabalho de Conclusão de Curso em Tecnologia de Manutenção Industrial – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2017.

The greenhouses are a model of environmental protection for diverse crops, bringing diverse benefits, as prevent the action of the intemperies during the period of growth of the culture. In this sense, this work presents the design and execution of an automated irrigation system. The structure of the greenhouse was constructed in wood with dimensions of 9m wide x 7m long x 3m high. For the irrigation of the plants, rainwater was used. The system for monitoring and processing information was done through a micro controller, with the program developed through Ide Eclipse for the Arduino. At the end of the process, the growth, leaf number and dry mass weight were higher in the internal part of the greenhouse when compared to the outside.
Automated horticultural irrigation system.

Keywords: Automation, Arduina, Lettuce.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estufa modelo espanhola.....	17
Figura 2 – Visão aérea das estruturas.	18
Figura 3 – Circulação de ar.	19
Figura 4 – Exaustor.	19
Figura 5 – Reservatório de água.	21
Figura 6 – Captação de água da chuva.	22
Figura 7 – Válvulas mecânicas.....	22
Figura 8 - Sensor de nível elétrico.....	23
Figura 9 – Funcionamento do sensor elétrico.	23
Figura 10 – Funcionamento de um solenoide.	24
Figura 11 – Eletroválvula.....	24
Figura 12 – Bomba hidráulica.....	27
Figura 13 – Características manométricas.....	27
Figura 14 – Sistema de movimentação.	28
Figura 15 – Sistema de transmissão.	29
Figura 16 – Estrutura da barra de irrigação.....	30
Figura 17 – Micro controlador Arduino Mega 2560 R3.....	32
Figura 18 – Programa Sloeber.	33
Figura 19 – Sensor DHT 11.....	34
Figura 20 – Sensor BMP 180.	35
Figura 21 – Relógio de tempo real.	36
Figura 22 – Sensor de radiação solar.	37
Figura 23 – Fim de curso Reed Swithc	37
Figura 24 – LCD 16x2	38
Figura 25 – Esquema Rele.....	39
Figura 26 – Estrutura do Mosfet.....	40
Figura 27 – Fonte 12V.....	41
Figura 28 – Carregador	42

Figura 29 – Bateria 12 V.....	43
Figura 30 – Ponte H	43
Figura 31 – Componentes da placa.	44
Figura 32 - Exemplo de entradas, saídas e variáveis do código	46
Figura 33 – Void Setup.....	47
Figura 34 – Void loop	47
Figura 35 – Void temperatura máxima e mínima.....	49
Figura 36 - Cálculo de evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith-FAO	50
Figura 37 – Coeficiente de cultura (Kc) em diferentes estágios de desenvolvimento, em função da umidade relativa e velocidade do vento, para diversas hortaliças.....	51
Figura 38 – Trecho do void cálculo ETO	51
Figura 39 – Trecho do void irrigação.....	52
Figura 40 – Trecho do void imprime LCD.....	53
Figura 41 - Plantio das mudas na área interna (a); Plantio das mudas na área externa (b).	57
Figura 42 - Ganho de folhas e tamanho das plantas ao final de 30 dias na parte interna da estufa (a) e na parte externa (b).....	58
Figura 43 - Diferença visual entre 1 amostra aleatória de cada área (a) e entre 2 amostras aleatórias.....	58

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Temperaturas internas a estufa (a) e externas a estufa (b).	54
Gráfico 2 - Dados de evapotranspiração da cultura de alface.....	55
Gráfico 3 - Quantidade de água usada na rega da cultura interna.....	56
Gráfico 4 - Tamanho das plantas durante 30 dias para a parte interna	59
Gráfico 5 - Número de folhas das plantas durante 30 dias para a parte	60
Gráfico 6 - Peso da raiz úmida e seca no interior da estufa (a) e no exterior (b). Peso total do pé úmido.....	61
Gráfico 7 – Número de folhas de 8 plantas da parte interna e externa	62

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A	Ampères
A.C	Antes de Cristo
Agric.Agrícola	
AISI	Sistema Americano para a classificação dos aços
BSP	British Standart port
°C	Graus Celsius
CA	Corrente alternada
CC	Corrente continua
CV	Cavalo Vapor
cm	Centímetro
ETO	Evapotranspiração
EToPMF	Evapotranspiração pelo método Penmam-Monteith-FAO
g	Gramas
hHora	
Hz	Hertz
Hpa	Hectopascal
IDE	Ambiente de Desenvolvimento Integrado
I2C	Protocolo de Comunicação entre Placas para a Diminuição de Cabos
I-P	Índice de proteção
KC	Coeficiente da cultura
Kgf/cm ²	quilograma força por centímetro quadrado
LB	libra
Kb	kilobyte
l	Litro
LCD	Liquid Crystal Display
m	Metro
m ²	Metros quadrados

ml	mililitros
mm	Milímetros
Min	Minutos
mA	miliampères
m.c.a	Metro de coluna de água
MHz	Mega-hertz
ms	Milissegundos
Max	Máximo
Min	Mínimo
Mosfet	Metal-oxide semiconductor fued effect transistor
N	Negativo
P	Positivo
Pol	polegada
PWM	pulse-widht modulation (modulação de largura de pulso)
RTC	Relógio de tempo real (real time clock)
Temp	Temperatura
µA	Microampères
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
UV	Ultravioleta
V	Volts
VCA	Tensão alternada
VCC	Tensão continua
W	Watts

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVO	13
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3 JUSTIFICATIVA	14
3.1 AMBIENTE PROTEGIDO.....	14
3.1.1 Vantagens do Cultivo em Ambiente Protegido	15
4 ESTUFA	17
4.1 MODELO DE ESTUFA UTILIZADO NO SISTEMA	17
4.2 ESTRUTURA DA ESTUFA	17
4.3 ENTRADAS DE AR	18
4.3.1 Exaustor	19
4.4 ENTRADA DO AMBIENTE.....	20
5 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	21
5.1 CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA	21
5.2 MONITORAMENTO DO VOLUME DE ÁGUA.....	22
5.2.1 Eletroválvula	24
5.2.1 Acionamento da Válvula de Entrada de Água	25
6 BOMBA HIDRÁULICA ELÉTRICA	26
6.1 BARRA DE IRRIGAÇÃO	28
7 SISTEMA DE CONTROLE	31
7.1 MICRO CONTROLADOR.....	31
7.2 PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO	32
7.3 SENSORES	33
7.3.1 Sensor de Temperatura e Umidade	33
7.3.2 Sensor de Pressão Atmosférica	34
7.3.3 Relógio de Tempo Real (RTC)	35
7.3.4 Sensor de Radiação Solar.....	36
7.3.5 Sensor Fim de Curso Reed Switch	37
7.4 DISPLAY LCD 16X2.....	38
7.4.1 Reles	38
7.4.2 Mosfet.....	39
8 FONTES DE ALIMENTAÇÃO	41
8.1 FONTE 12 VOLTS	41
8.1.1 Fonte 12 Volts com Bateria	42
8.2 Circuito Elétrico/Eletrônico	43
9 O PROGRAMA	45
10 RESULTADOS DA CULTURA	54
10.1 CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS DA CULTURA	54
10.2 RENDIMENTO DA CULTURA	56
11 CONCLUSÃO	63
REFERÊNCIAS	64
ANEXO A - DIAGRAMA DE COMANDO E FORÇA	69

ANEXO B – ESTRUTURA DA ESTUFA	70
ANEXO C – DETALHES IRRIGAÇÃO	71

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, há um crescente aumento pela procura por verduras e legumes, uma vez que estes trazem diversos benefícios à saúde, principalmente com relação ao auxílio no emagrecimento e na melhoria da qualidade de vida. Porém, uma das maiores dificuldades do produtor é realizar um cultivo de boa qualidade, levando em conta, principalmente, a variável clima, uma vez que, em meio à sua produção pode haver intempéries durante o processo, como stress hídrico e térmico, fatores que interferem na qualidade do produto final.

As culturas protegidas em estufas tornaram-se um sistema de produção de grande difusão na agricultura devido à necessidade de fornecer produtos *in natura* e de boa qualidade durante longos períodos do ano. Nas últimas décadas o cultivo em ambiente protegido no Brasil apresentou crescimento significativo, principalmente para a produção de hortaliças (KLAR et al., 2006). Para Andriolo (1999), a técnica de manejar uma cultura consiste em modificar o funcionamento natural das plantas que compõem a cultura, objetivando ajustar e melhorar seu desempenho visando os objetivos agronômicos pretendidos.

Atualmente o crescente interesse pela redução do impacto no meio ambiente e a produção eficiente e com qualidade, tem feito com que as casas de vegetação utilizem a agricultura de precisão. O uso da automação traz benefícios como a melhoria da qualidade do produto final, redução das perdas e dos custos, diminuindo assim o tempo de retorno do investimento, aumento da produtividade, e ainda, diminuição do impacto ao meio ambiente, facilitando o trabalho e melhorando a qualidade de vida do produtor (TERUEL, 2010).

Neste sentido, buscou-se elaborar e montar um sistema que vise o melhor aproveitamento dos recursos hídricos e de mão-de-obra, buscando otimizar o tempo como processo de controle de temperatura e umidade do solo ideal para a cultura escolhida, através de um sistema controlado automaticamente, cabendo ao produtor, somente efetuar o plantio dos legumes e, se necessário, manter o controle sobre ervas daninhas.

2 OBJETIVOS

Construir e utilizar uma estufa para o cultivo de hortaliças com irrigação através de águas pluviais por meio de um sistema automatizado de irrigação e controle de temperatura e umidade do solo.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Implantar um sistema de cultivo de alface lisa automatizado, a nível doméstico;
- b) Desenvolver um sistema de captação e armazenagem da água das chuvas;
- c) Adaptara horta convencional para estufa;
- d) Desenvolver e dimensionar um sistema de irrigação automatizado;
- e) Instalar um sistema de aquisição de dados de umidade do solo, umidade do ar e de temperatura;
- f) Instalar um sistema de ventilação natural e forçada com atuação automatizada;
- g) Estimara perda de água do solo por meio de variáveis climatológicas e reposição através do sistema de irrigação;
- h) Realizar um sistema de armazenamento de informações climatológicas em cartão de memória;
- i) Validar o modelo proposto.

3JUSTIFICATIVA

Os vegetais e legumes se caracterizam pela necessidade de grande volume de água para que ocorra seu desenvolvimento com qualidade. Levando-se em conta a alface, foco do estudo, o seu consumo médio de água por metro quadrado é, em média de 3 litros diários, sendo que a quantidade varia de acordo com a idade da planta e época do ano. Neste sentido, a irrigação desempenha papel crucial para evitar o estresse hídrico, especialmente durante a formação da “cabeça” da planta. O estresse hídrico pode ocorrer em uma cultura quando a umidade do solo é excessiva ou deficiente.

O estresse hídrico pode levar a dois problemas principais:

- Baixo rendimento e produtos de má qualidade (em termos de firmeza, tamanho da cabeça e cor).
- Apodrecimento das raízes.

A quantidade de água é variável no verão, onde, devido a maior evaporação de água do solo comprova-se a necessidade de maior frequência e maior volume na irrigação, o que torna o serviço pesado para o produtor, uma vez que a irrigação é feita de forma manual. Neste sentido, com a automatização da irrigação diminui-se drasticamente o tempo em que o produtor terá que se dedicar nos cuidados com as hortaliças.

3.1 AMBIENTE PROTEGIDO

As condições climáticas são preocupações constantes do produtor, principalmente com relação às altas temperaturas, excesso de chuvas ou secas, granizo e geadas. As intempéries climáticas prejudicam a qualidade e o rendimento da produção, podendo diminuir drasticamente a rentabilidade do negócio. Para fazer frente a estes riscos uma alternativa a ser considerada é o cultivo em ambiente protegido (CEPEA-ESALQ/USP, 2014).

O cultivo protegido é uma técnica que possibilita controle sobre variáveis climáticas como temperatura, umidade do ar, radiação solar e vento, trazendo benefícios de eficiência produtiva, além de reduzir o efeito da sazonalidade. As regiões com clima frio se caracterizam pela maior produção, devido ao calor acumulado dentro das estufas o que viabiliza a produção de culturas fora de época ideal, além de encurtar o ciclo de produção (CEPEA-ESALQ/USP, 2014).

De acordo com Avelino (2010), estima-se que em cultivo protegido o ganho mínimo é de 40% quando comparado ao cultivo a céu aberto. Tal fator se deve a concentração das plantas e a utilização da área sob cobertura plástica, ambiente propício para as mesmas. A própria proteção oferecida pela estrutura elimina fatores de riscos como, pragas e doenças que infestam a lavoura desprotegida.

Os primeiros experimentos da Embrapa com hortaliças em cultivo protegido foram realizados em 1980. Ao longo dos anos, tem aumentado o número de pesquisas neste sentido, porém, apesar disso, a representatividade ainda é pequena frente ao potencial de crescimento dessa atividade, em termos de regiões exploradas no país, culturas envolvidas e fatores de produção (EMBRAPA HORTALIÇAS, 2002).

O cultivo de hortaliças em condições protegidas, utilizando o próprio solo como substrato, é a forma mais utilizada no mundo, principalmente nos países em desenvolvimento (SILVA & MAROUELLI, 1998). Dentre as hortaliças mais cultivadas em ambiente protegido no Brasil, destacam-se o pimentão, a alface, o tomate e o pepino (VECCHIA & KOCH, 1999).

3.1.1 Vantagens do Cultivo em Ambiente Protegido

Nas últimas duas décadas, a adoção do cultivo protegido se expandiu rapidamente pelo mundo. Na década de 1990, estimativas indicavam uma área de 716 mil hectares com estufas; em 2010, este valor subiu para 3,7 milhões de hectares. A maior parte desses plantios é de hortaliças, sendo que a China concentra a maior área de cultivos protegidos, uma vez que em 2010, eram 3,3 milhões de hectares de estufa. Naquele país,

a produtividade das hortaliças em estufas é o dobro da realizada em campo aberto (CEPEA-ESALQ/USP, 2014).

Entre as vantagens do cultivo em estufas, pode-se citar (CEPEA-ESALQ/USP, 2014):

- a) Aumenta a produtividade da cultura;
- b) Possibilita o controle do ambiente, permitindo a produção de diversas culturas em diferentes regiões e épocas do ano;
- c) Diminui o ciclo da planta;
- d) Reduz o consumo de água, uma vez que o sistema fechado reduz a evapotranspiração;
- e) Proteção contra chuva, granizo e geadas.
- f) Controle do vento e da radiação solar;
- g) Melhor condição de trabalho para os funcionários.

4 ESTUFA

4.1 MODELO DE ESTUFA UTILIZADO NO SISTEMA

A estufa utilizada no projeto realizado é a do tipo espanhola, construída com maior caimento para facilitar o escoamento da água da chuva. A Figura 1 ilustra a estrutura da estufa.



Figura 1 – Estufa modelo espanhola.
Fonte: LENZ, 2016.

4.2 ESTRUTURA DA ESTUFA

A estrutura da estufa foi construída aproveitando bases que já existiam, pés direito de concreto, sendo que o restante foi construído basicamente em madeira com dimensões de 9m de largura x 7m de comprimento x 3m de altura do telhado e 2,3m de altura das paredes, o que resultou em uma superfície útil de 166,95m³, e 63m² de área de base em solo.

Para a proteção do ambiente se fez a utilização de um filme plástico transparente. Segundo Furlani (2014) a espessura do plástico está diretamente relacionada com a sua resistência, neste sentido, foi utilizada um filme plástico de 150 micra de espessura, por

ter uma resistência apropriada a estrutura montada. Esse filme envolve toda a estrutura da estufa, ficando apenas algumas entradas de ar nas laterais.

Para o plantio das hortaliças foram construídos 5 canteiros com dimensões de 1m de largura x 6m de comprimento, separados por estrutura de tijolos. Na parte externa da estufa foi construído um canteiro testemunha de 1m de largura x 3m de comprimento como apresentado na Figura 2.

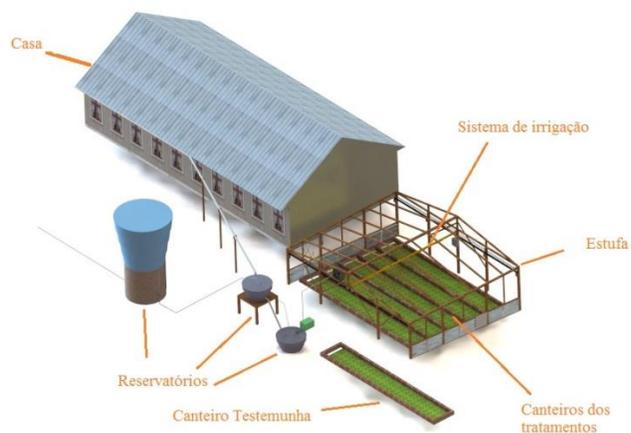


Figura2 – Visão aérea das estruturas.
Fonte: AUTOR (2017).

4.3 ENTRADAS DE AR

Para que o ar possa circular no interior do ambiente foram construídas duas aberturas nas laterais da estufa com dimensões de 0,5m de altura x 6m de comprimento, efetivando 3m² de área livre em cada lado da estrutura, conforme a Figura 3.



Figura3 – Circulação de ar.
Fonte: AUTOR (2017).

4.3.1 Exaustor

Para que fosse possível fazer uma circulação de ar dentro da estufa foi instalado um exaustor de 50 cm de diâmetro e vazão de $5000\text{m}^3.\text{h}^{-1}$. Para a escolha deste equipamento foi levado em consideração o volume da estufa que é de $166,95\text{m}^3$. Dessa forma, o exaustor leva aproximadamente 2 minutos para fazer a troca de ar da estufa. A Figura4 nos mostra o modelo de exaustor usado.



Figura4 – Exaustor.
Fonte: VENTISOL (2016).

Especificações técnicas do exaustor:

- a) Tensão de alimentação: 127V
- b) Potência: 150w;
- c) Rotação: 1200rpm;
- d) Frequência: 50/60Hz;

4.4 ENTRADA DO AMBIENTE

Para que se possa adentrar no ambiente e desenvolver as atividades necessárias foi construída uma porta, dimensionada em função das máquinas e equipamentos que serão usadas no interior da estufa com dimensões de 0,7m de largura x 2m de altura (1,4m²).

A porta de entrada é equipada com um sistema de segurança para que não se faça a irrigação das plantas quando a porta estiver aberta. Este sistema conta com um sensor do tipo fim de curso que envia um sinal de bloqueio para o micro controlador deixando entender que a porta está aberta e provavelmente haja alguém no interior do ambiente.

5 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

O sistema de distribuição de água principal é fornecido por uma caixa central de 10 m³ abastecida por poço artesiano, a uma altura de 2,2m. Porém o sistema faz o reaproveitamento da água da chuva, sendo que a água proveniente dessa caixa d'água central só será utilizada quando esgotadas as reservas de água pluvial, como mostra a Figura5.

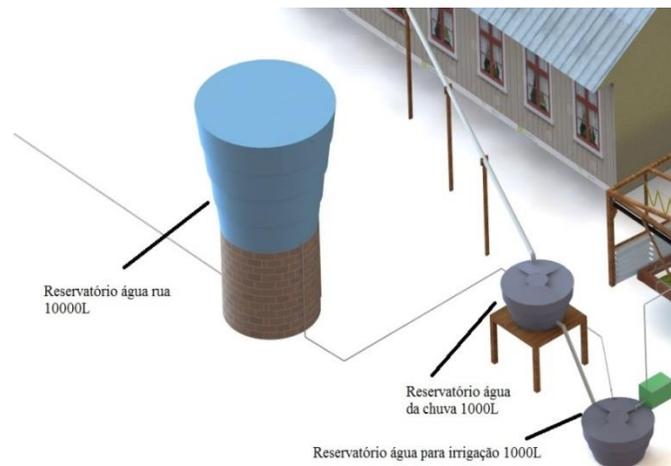


Figura 5 – Reservatório de água.
Fonte: AUTOR (2017).

5.1 CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA

O sistema de captação pluviométrico é composto por uma calha na lateral do telhado da residência. O telhado possui as seguintes medidas: 14m de comprimento x 6m de largura, o que resulta em 84m². A calha possui dimensões de 75 mm de diâmetro por 25 m de comprimento. Ela transporta a água até um reservatório com capacidade de armazenamento de 1000 L, sendo submetida a um filtro para retenção das impurezas maiores, antes de ser depositada, conforme a Figura 6.



Figura 6 – Captação de água da chuva.
Fonte: AUTOR.

5.2 MONITORAMENTO DO VOLUME DE ÁGUA

A disponibilidade de água para a irrigação é preferencialmente feita através do reservatório de água pluvial de 1 m³ que está conectado ao reservatório de água para irrigação (principal) que envia a água através da bomba hidráulica, conforme a Figura 6. Uma válvula mecânica se encarrega de proporcionar a passagem de água do reservatório de água pluvial para o reservatório principal, ou seja, conforme o nível d'água vai diminuindo a válvula libera a entrada de água proveniente do reservatório pluvial, a Figura 7 ilustra a válvula mecânica.

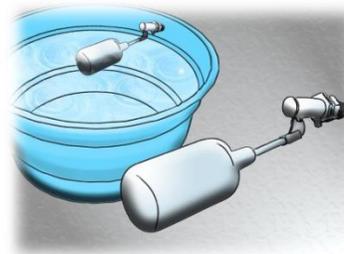


Figura 7 – Válvulas mecânicas
Fonte: AUTOR (2017).

Porém, se houver um esgotamento da água depositada no reservatório de água da chuva, existe um sistema que evita a falta de água para a irrigação. Isso é possível pelo fato de o reservatório principal estar equipado com um sensor de nível (Figura 8).



Figura8 - Sensor de nível elétrico.
Fonte: LORENZETTI, 2016.

Este sensor monitora o nível de água dentro do reservatório que está atrelado ao comando da bomba de irrigação, ou seja, se estiver em nível baixo a bomba não liga e é acionada a válvula solenóide que libera a passagem d'água da caixa central (10000L) para o reservatório principal, evitando uma possível falta d'água no sistema, até que o sensor detecte nível alto novamente, assim desligando a válvula solenóide. A Figura 9 apresenta o funcionamento do conjunto.

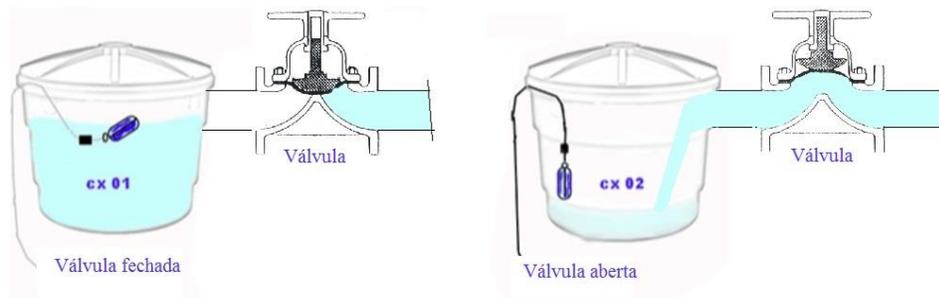


Figura 9 – Funcionamento do sensor elétrico.
Fonte: AUTOR (2017).

5.2.1 Eletroválvula

No sistema de abastecimento de água para a irrigação que tem como fonte a caixa d'água central foi utilizado uma válvula de entrada de água do tipo eletromecânica, confeccionada em um corpo plástico cujo sistema de abertura e fechamento é realizado através de bobina elétrica que aciona um êmbolo metálico, fazendo com que abra quando energizada e feche quando desenergizada. A Figura 10 apresenta o funcionamento do solenoide, e a Figura 11 o modelo que foi utilizado no sistema.

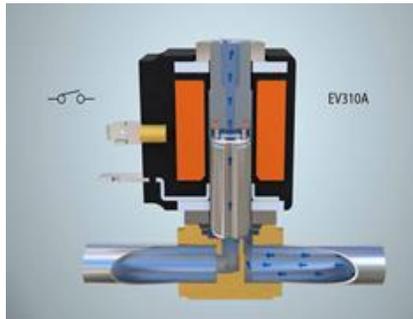


Figura10 – Funcionamento de um solenoide.
Fonte: DANFOSS, 2016.



Figura 11 – Eletroválvula
Fonte: EMICOL, 2016.

Especificações técnicas:

- Tensão da bobina: 127 Vca
- Pressão de operação:
De 0,2 à 8 kgf/ cm²
À 0,2 kgf/ cm², vazão mínima de 7l/min;
À 8 kgf/ cm², vazão máxima de 40l/min;
- Temperatura máxima do líquido: 60°C

5.2.1 Acionamento da Válvula de Entrada de Água

Para que a válvula de entrada de água possibilite a passagem de fluido da caixa central para o reservatório principal a mesma depende do sensor de nível, sendo que quando o sensor de nível detectar nível baixo dentro do reservatório o mesmo fecha um contato interno, contato esse que fecha o circuito elétrico da válvula, fazendo com que ela acione e liberando a passagem da água, como está demonstrado na Figura11.

6 BOMBA HIDRÁULICA ELÉTRICA

A fim de selecionar o modelo de bomba a ser usada no sistema foram feitos estudos que levaram em consideração os seguintes critérios:

- a) Definição da lâmina de irrigação;
- b) Modelo de ponteira hidráulica;
- c) Largura útil de irrigação em função da altura da barra;
- d) Vazão da ponteira hidráulica em função do tempo;
- e) Pressão de trabalho;
- f) Altura de bombeamento e perda de carga;
- g) Somatória de todas as perdas, incluindo vazão da bomba e altura a ser bombeada.

As ponteiros hidráulicas usadas na pulverização são do modelo AD-IA 110-06 (magnojet) com vazão de $2 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ e pressão de trabalho de $30 \text{ lbf}\cdot\text{pol}^{-1}$. São quatro ponteiros distribuídas a 1,5 m de distância entre si para pulverização de 4 canteiros que totalizam 6 m de largura para pulverização. A mangueira utilizada para o transporte d'água até os bicos é fabricada em material siliconado de meia polegada.

Uma bomba hidráulica elétrica é um dispositivo acionado por um motor elétrico destinado a comprimir um fluido, caracteristicamente um grau especial de óleo, utilizado para acionar um mecanismo secundário. Grande parte dos recursos das engrenagens das bombas ou do lóbulo são do tipo mecanismos internos de bombeamento e geralmente são executados em velocidades de operação relativamente baixas. Na maioria dos casos, a bomba e o motor formam uma unidade integral sem funcionamento dos eixos externos e um flange tipo junção entre os dois. (MECÂNICA INDUSTRIAL, 2016).

No sistema de foi utilizada uma bomba hidráulica BC 98 de $\frac{1}{2}$ CV de potência da marca Schneider como apresentado na Figura 12. Seu circuito de acionamento e proteção é composto por um contator Schneider Telemecanique LC1D09 220V atrelado a um relê de sobrecarga térmica Schneider 2,5 a 4 Ampère Lr1D09.



Figura 12 – Bomba hidráulica
Fonte: SCHNEIDER, 2016.

Especificações técnicas:

- Motor elétrico monofásico IP-21 com flange incorporada, termostato e capacitor permanente, 2 polos, 60 Hz;
- Tensão de alimentação: 220 V
- Temperatura máxima do líquido bombeado: 55°C

A Figura 13 apresenta as características manométricas da bomba utilizada.

Modelo	Potência (cv)	Monofásico	Ø Sucção (pol)	Ø Recalque (pol)	Pressão máxima sem vazão (m c.a.)	Altura máxima de sucção (m c.a.)	Ø Rotor (mm)	CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS																		
								Altura Manométrica Total (m c.a.)																		
								2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
								Vazão em m³/h válida para sucção de 0 m c.a.																		
BC 98	1/3	x	3/4	3/4	18	8	107	4,5	4,3	4,2	4,1	3,9	3,7	3,6	3,4	3,2	3,0	2,8	2,5	2,3	2,0	1,6	1,2			
	1/2	x	3/4	3/4	20	8	107	5,5	5,4	5,2	5,1	4,9	4,7	4,5	4,3	4,1	3,9	3,7	3,5	3,2	2,9	2,6	2,3	1,8	1,1	

Obs.: – Dados hidráulicos conforme Portaria 455, de 01 de dezembro de 2010, com motor de linha e frequência indicados. Para condições diferentes consulte a Fábrica.

– Para obter a altura manométrica total em m c.a., não deixe de utilizar o diâmetro da tubulação compatível com a vazão e considerar as perdas de carga por atrito da instalação.

– **Obrigatório o aterramento do motor elétrico, conforme previsto na NBR 5410 ou norma equivalente do país onde o produto será instalado.**

Figura 13 – Características manométricas
Fonte: SCHNEIDER, 2016.

6.1 BARRA DE IRRIGAÇÃO

Para que pudesse ser instalada uma barra de irrigação primeiramente foram afixados dois perfis em aço carbono do tipo U, um em cada extremidade da estufa com dimensões de 3 polegadas cada, servindo assim como guia para que o sistema de movimentação da barra de irrigação possa se movimentar.

Para a construção da barra de pulverização foi utilizada a estrutura de uma barra de pulverizador agrícola cortada no comprimento de 7 m. Em suas extremidades foram soldadas duas chapas em ambos os lados, as quais foram furadas para colocação de um eixo para fixação de duas roldanas, estas com 76 mm de diâmetro em cada extremidade para dar sustentação à barra e movimentá-la para frente e para trás durante a pulverização em toda a área de cultivo conforme a Figura 14.

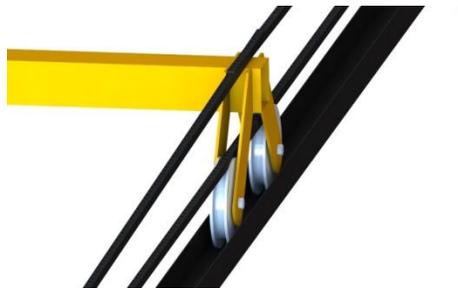


Figura 14 – Sistema de movimentação.
Fonte: AUTOR (2017).

Para a movimentação da barra de irrigação se fez o uso de dois eixos vazados com diâmetro de 25,4mm x 1,2mm de espessura e 7m de comprimento cada, com uma engrenagem com raio de 25mm em cada extremidade do mesmo, um eixo em cada extremidade da estrutura, cada eixo está sustentado por quatro mancais do tipo P205 com rolamentos do tipo Y205 V22.

A transmissão da barra é feita por um motor redutor de corrente contínua (12V), usando roda dentada de raio 25mm e 11 dentes x raio 40mm e 24 dentes, com auxílio de

uma corrente de 3/32" polegadas que realiza a transmissão de força entre o motor redutor e o eixo motor como mostra a Figura 15.



Figura 15 – Sistema de transmissão.
Fonte: AUTOR (2017).

No lado oposto da estrutura está o eixo movido, atrelado ao eixo motriz através de uma transmissão feita por correntes de 3/32" polegadas. Tal eixo tem o objetivo de manter as correntes de transmissão esticadas evitando que as mesas escapem das engrenagens e também para que se mantenha o alinhamento da barra de irrigação, evitando que a mesma venha a se atravessar durante o percurso de irrigação, conforme mostra a Figura 16.

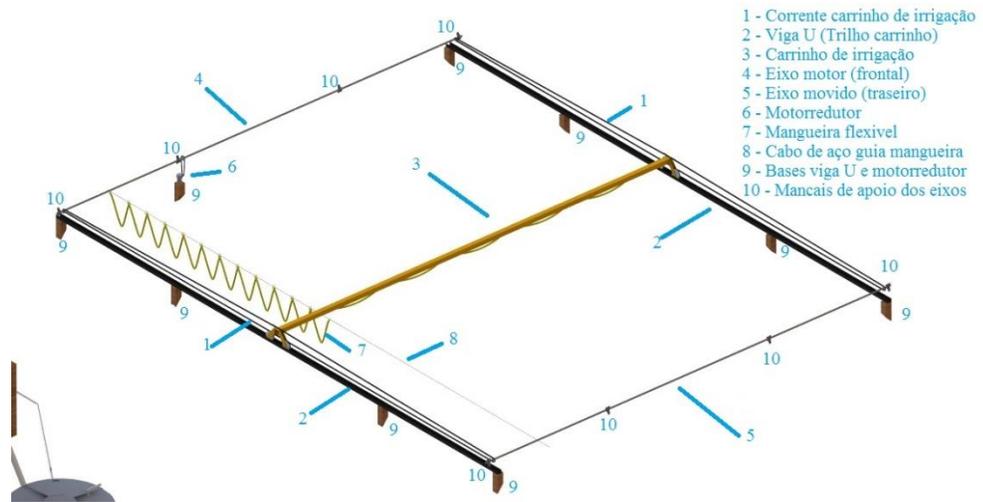


Figura 16 – Estrutura da barra de irrigação.
Fonte: AUTOR (2017).

7 SISTEMA DE CONTROLE

O sistema de controle foi feito através de um micro controlador com o programa desenvolvido através da IDE Eclipse para Arduino. Juntamente com o sistema foram utilizados alguns sensores e atuadores, sensor de temperatura e umidade do ar, sensor de pressão atmosférica e altitude, relógio de tempo real, sensor de radiação solar, sensores fim de curso tipo *reed switch*, display LCD, reles, mosfets, contator, fonte de computador ATX para a alimentação do motor e bateria 12V e 7A com carregador flutuante para sua carga, para a alimentação do controlador e seus sensores.

7.1 MICRO CONTROLADOR

O modelo de micro controlador utilizado foi o Arduino Mega 2560 R3 (Figura 17). Cujas especificações são as que seguem:

- Tensão de Operação: 5V
- Tensão de Entrada: 7-12V
- Portas Digitais: 54 (15 podem ser usadas como PWM)
- Portas Analógicas: 16
- Corrente Pinos I/O: 40mA
- Corrente Pinos 3,3V: 50mA
- Memória Flash: 256KB (8KB usado no bootloader)
- SRAM: 8KB
- EEPROM: 4KB
- Velocidade do Clock: 16MHz

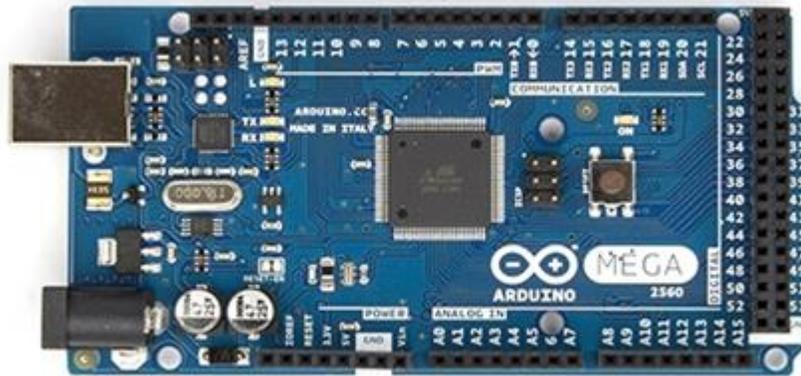


Figura 17 – Micro controlador Arduino Mega 2560 R3.
Fonte: ARDUINO CC, 2016.

7.2 PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO

O programa de desenvolvimento utilizado foi o de código aberto e livre Sloeber IDE para Arduino, caracterizado por um bom desenvolvimento, fácil aprendizagem e compreensão, através de vídeo aulas na internet e auxílio de livros foi desenvolvido o programa ou sketch, como apresenta a Figura 18.

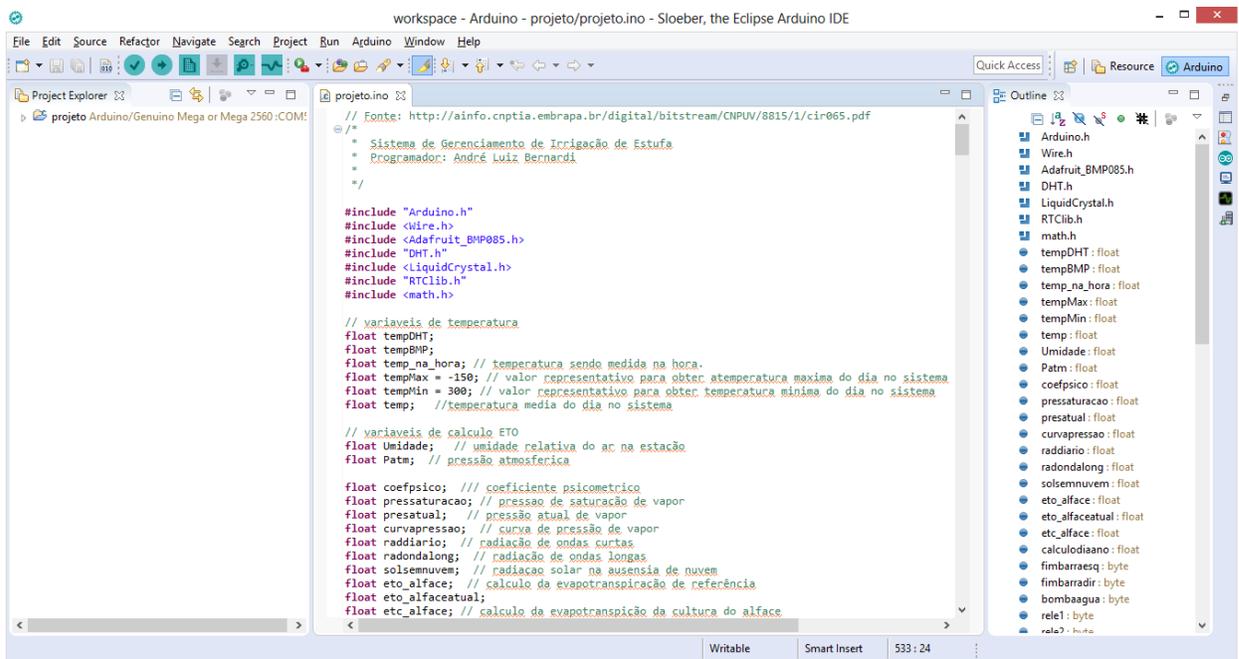


Figura 18 – Programa Sloeber.
Fonte: SCHNEIDER, 2016.

7.3 SENSORES

Um sensor é geralmente definido como um dispositivo que recebe e responde a um estímulo ou um sinal.

7.3.1 Sensor de Temperatura e Umidade

O sensor DHT11 é composto de termistor para a leitura de temperatura digital e sensor capacitivo de umidade do ar, com saída de sinal digital no pino de dados (não necessita de pino de sinal analógico) de uso simples, com a desvantagem de que o sensor capta dados a cada 2 segundos. O modelo do sensor é apresentado na Figura 19.

Detalhes técnicos:

- a) Alimentação de 3 a 5Vcc;
- b) 2,5 mA de consumo máximo durante a conversão de sinal;
- c) Entre 20 e 80% de umidade, 5% de precisão;
- d) Entre 0 e 50°C \pm 2°C de precisão.

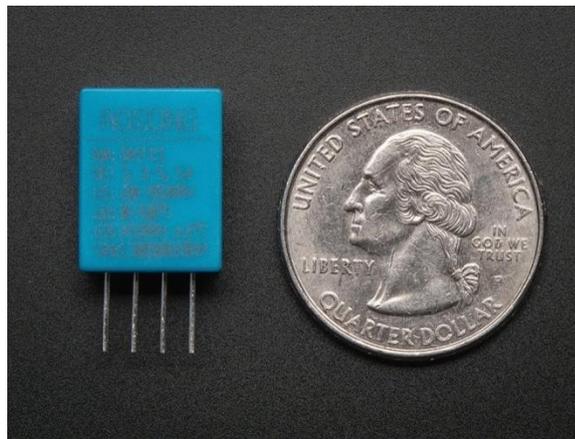


Figura 19 – Sensor DHT 11.
Fonte: ADAFRUIT, 2016

7.3.2 Sensor de Pressão Atmosférica

É um sensor de pressão atmosférica digital feito com o chip da BOSCH BMP180. Tal aparelho pode medir uma faixa de 300-1100hPa com resolução de 50cm, além de realizar a medição da temperatura. Foi projetado para comunicar-se via I2C com um micro controlador.

Especificações do sensor apresentado na Figura 20:

- a) Chip: BMP180;
- b) Tensão de operação: 1,8-3,6V;
- c) Faixa: 300-1100hPa (Altitude +9000m a -500m);
- d) Resolução: 0,06hPa (Altitude 50cm);
- e) Consumo corrente: 5uA;
- f) Tempo de reação: 7,5ms;

- g) Dimensões: 14 x 12mm;
- h) Peso: 1,2g;
- i) Interface: I2C;
- j) Saída para Temperatura.



Figura 20 – Sensor BMP 180.
Fonte: Usinainfo, 2016

7.3.3 Relógio de Tempo Real (RTC)

É um relógio de tempo real com calendário completo, sendo capaz de fornecer informações como segundo, minutos, dia, data, mês e ano (Figura 21).

Em sua placa há um circuito que detecta falhas de energia, acionando assim automaticamente a bateria para evitar perda de dados. Endereço e informações são transferidas via protocolo I2C, e as correções de meses com menos de 31 dias e anos bissextos são feitas automaticamente. Tal RTC opera nos formatos de 12 e 24 horas.

Especificações:

- a) Chip: DS1307;
- b) Computa segundos, minutos, horas, dias da semana, dias do mês, meses e anos (de 2000 a 2099);
- c) 56 bytes de SRAM que podem ser usadas como RAM estendida do micro controlador;
- d) Interface I2C - 2 fios;
- e) Circuito de detecção de falha de energia;
- f) Consome menos de 500 mA no modo bateria com oscilador em funcionamento;

- g) Faixa de temperatura: -40°C a $+85^{\circ}\text{C}$;
- h) Dimensões: $27 \times 28 \times 8,4\text{mm}$.



- a) Figura 21 – Relógio de tempo real.
- b) Fonte: SPARKFUN, 2016

7.3.4 Sensor de Radiação Solar

O equipamento utilizado para medição de luz ultravioleta foi modelo ML8511 da Sparkfun, equipado com amplificador interno que converte a radiação solar em tensão, com o sinal de saída analógica conforme a luz detectada, utilizada em medições meteorológicas (Figura 22).

Especificações:

- a) Sensível tanto a radiações UV-A e UV-B;
- b) Consumo de corrente $300 \mu\text{A}$ sob uso, e em espera $0.1 \mu\text{A}$;
- c) Tensão de trabalho de $3,3\text{Vcc}$;



Figura 22 – Sensor de radiação solar.
Fonte: SPARKFUN, 2016.

7.3.5 Sensor Fim de Curso *Reed Switch*

Os sensores *reed switches* são dispositivos que funcionam como interruptores, acionados por campos magnéticos produzidos por ímãs ou eletroímãs dele aproximados. É composto de uma cápsula de vidro e de duas lâminas de um material ferromagnético (ligas de níquel e ferro).

As duas lâminas são colocadas muito próximas, sem que haja contato entre elas, com uma extremidade afixada no vidro e mergulhadas num gás inerte, para não sofrerem oxidação ou deformação mecânica. Para acionar o *reed-switch*, e portanto, haver contato elétrico entre as lâminas, é necessário induzir a magnetização delas, fazendo com que elas se atraiam magneticamente (Figura 23).

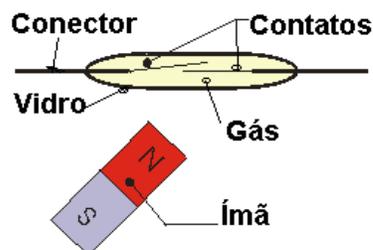


Figura 23 – Fim de curso Reed Switch
Fonte: UFRGS, 2016.

7.4 DISPLAY LCD 16X2

É uma tela com 16 colunas e 2 linhas disponíveis para a escrita e visualização de leitura dos sensores (Figura 24).

Especificações:

- a) Marca: Winstar display co;
- b) Modelo: WH1602B-YGK-CP;
- c) Dimensão Total: 80mm X 36mm X 12mm;
- d) Dimensão Área visível: 64.5mm X 14mm;
- e) Dimensão Caracter: 3mm X 5.02mm;
- f) Dimensão Ponto: 0.52mm X 0.54mm.



Figura 24 – LCD 16x2
Fonte: Adafruit, 2016

7.4.1 Relés

Relê é um dispositivo eletromecânico, formado por um magneto móvel que se desloca unindo dois contatos metálicos. Seu funcionamento ocorre da seguinte forma: ao circular uma corrente elétrica pela bobina do relé um campo magnético é criado, este campo atrai um ou uma série de contatos fechando ou abrindo circuitos. Ao cessar a corrente da bobina o campo magnético também cessa, fazendo com que os contatos voltem para a posição original (Figura 25).

Especificações:

- a) Rele 12vcc da marca Tianbo;
- b) Modelo HJR-21FF;
- c) Corrente de alimentação da bobina 50mA;
- d) Corrente máxima dos contatos 15A;
- e) 1 contato normal aberto, 1 contato normal fechado e 1 contato comum;
- f) 2 contatos para a alimentação da bobina;
- g) Usado para acionar a bomba de água e ventilador.

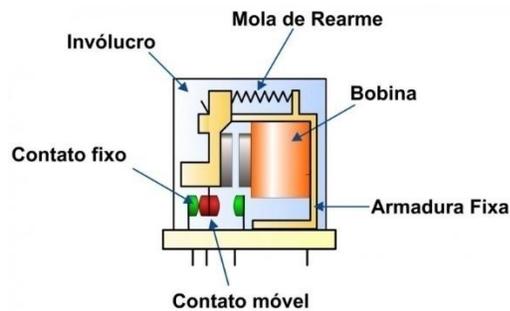


Figura 25 – Esquema Relé.
Fonte: SANTOS, 2016.

7.4.2 Mosfet

Equipamento utilizado para elevação de corrente no sistema, a sigla MOSFET é a abreviação de *Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor* ou Transistor de Efeito de Campo de Óxido de Metal Semicondutor. Onde uma fina película de óxido de metal isola a região de comporta da região do canal que liga o dreno à fonte. Há MOSFET de canais N e P, dependendo da polaridade dos materiais semicondutores usados (Figura 26).

Especificações:

- a) Marca IRF (*Internacional Rectifer*);
- b) Transistor Mosfet IRF3205;
- c) Tensão máxima 55V;

- d) Corrente de máxima 110A;
- e) Canal N;
- f) Transistor Mosfet IRF4905;
- g) Tensão máxima 55V;
- h) Corrente máxima 74A;
- i) Canal P;
- j) Ambos com dissipador de calor devidamente calculado para evitar o aquecimento do mesmo.

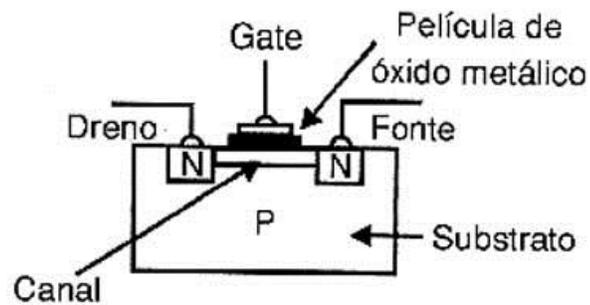


Figura 26 – Estrutura do Mosfet.
Fonte: BRAGA, 2016.

8 FONTES DE ALIMENTAÇÃO

Para a alimentação do sistema foram utilizadas duas fontes de corrente contínua. Uma que fornece a tensão de 12 volts de corrente contínua para a alimentação do motor da barra e dos terminais comuns dos reles, e outra com bateria que alimenta o micro controlador e seus sensores. O sistema foi construído de tal maneira que em caso de queda de energia o micro controlador continue adquirindo os dados.

8.1 FONTE 12 VOLTS

A fonte de alimentação recebe tensão alternada da rede de alimentação 127V ou 220V e na sua saída disponibiliza 12V em tensão contínua (Figura 27). Ela é utilizada para a movimentação da barra pois necessita de corrente elevada para movimentar.

Especificações:

- a) Marca DR. HANK;
- b) Modelo PK250RNSFS;
- c) Corrente máxima de saída (5V) 15A;
- d) Corrente máxima de saída (12V) 16A.



**Figura 27 – Fonte 12V.
Fonte: DR. HANK (2016).**

8.1.1 Fonte 12 Volts com Bateria

Para a fonte de alimentação do micro controlador foi utilizado uma fonte flutuante com uma bateria de 12 V e 7 A, ou seja, uma fonte que carrega a bateria até sua tensão estabelecida e depois reduz a mesma e espera até que a bateria comece a se descarregar, iniciando a carga novamente.

Especificações do carregador (Figura 28):

- a) Sem marca;
- b) Entrada 110V/220V;
- c) Saída 13,8Vcc;
- d) Corrente máxima de saída 1A;



Figura 28 – Carregador

Especificações da bateria (Figura 29):

- a) Marca Unipower;
- b) Modelo UP1270E;
- c) Tensão de trabalho 12V e 7A;



Figura 29 – Bateria 12 V.
Fonte: UNIPOWER, 2016.

8.2 CIRCUITO ELÉTRICO/ELETRÔNICO

A movimentação da barra para a frente e para trás foi feito através de uma ponte H (Figura 30) com 4 Mosfets, sendo que 2 de canal N e 2 de canal P (Figura 31). Para o acionamento da bomba e do exaustor foram utilizados relés que acionam o contator, pois os mesmos consomem elevada corrente para a utilização de relés.

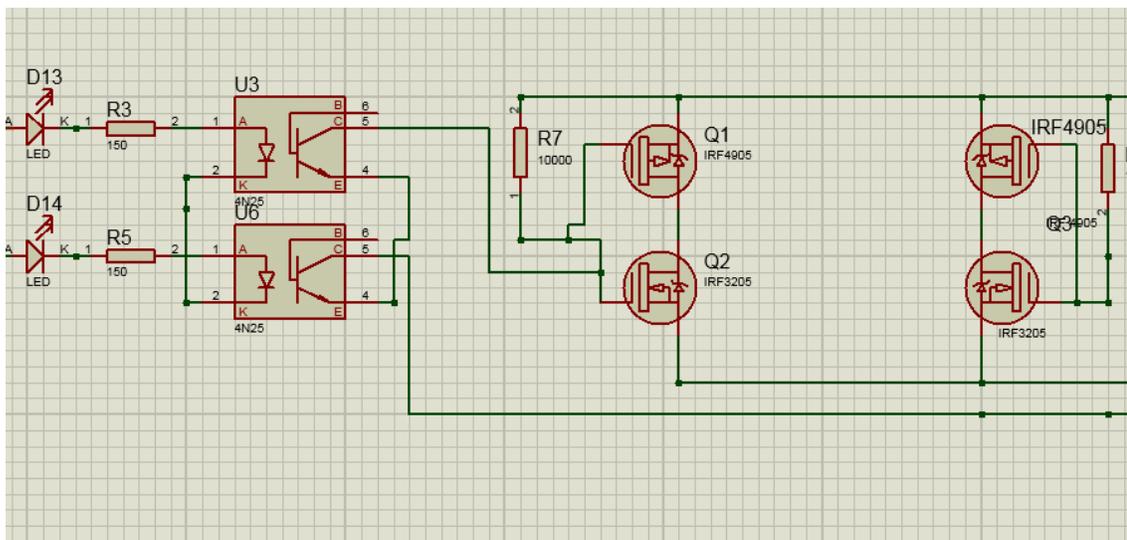


Figura 30 – Ponte H.
Fonte: AUTOR (2017).

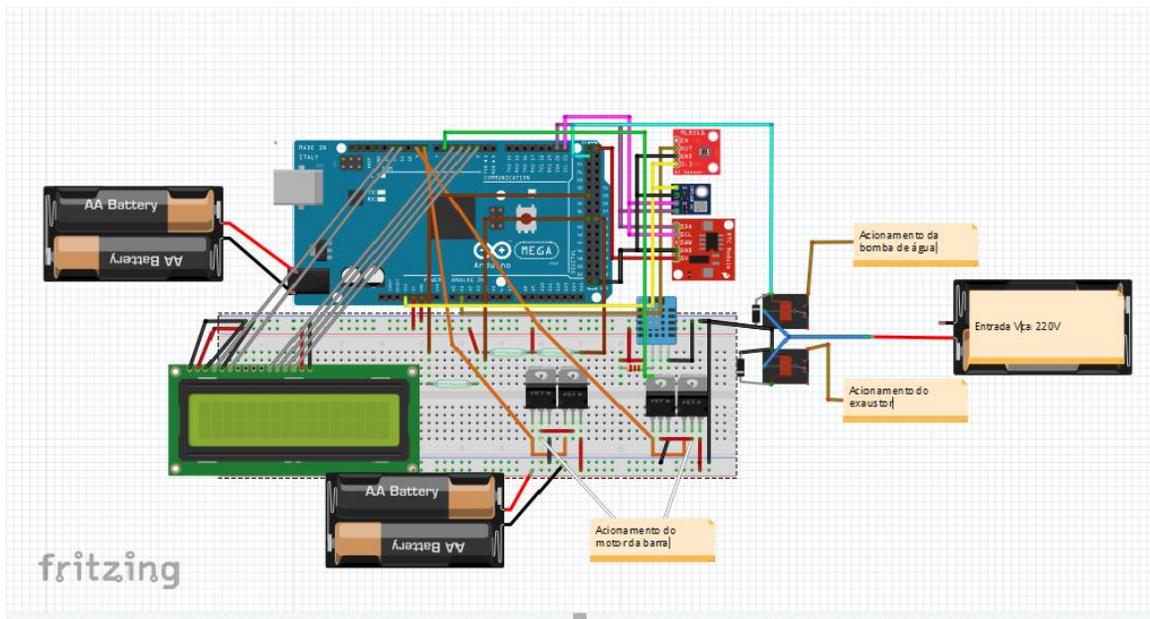


Figura 31 – Componentes da placa.
Fonte: AUTOR (2017).

9 O PROGRAMA

Após o plantio das mudas acionou-se o botão de início do sistema, onde é realizada a contagem dos dias para controle da planta e a quantidade de irrigação. Há ainda, outro botão para o acionamento do LCD para as informações internas, como temperaturas e dias de cultivo. Posteriormente será realizado o cálculo de lâmina de água a ser irrigada, por meio do método de Peemam que será descrito posteriormente da cultura, e obedecendo aos requisitos dos cálculos, como a radiação incidente, temperatura e umidade do ar.

Caso haja necessidade e a porta da estufa estiver fechada, a bomba de água é ligada e a barra de irrigação é acionada. Caso a porta seja aberta, a barra chega até o próximo sensor *reed switch* e é desligada até a porta ser fechada novamente.

A cada passada pelo sensor é realizada a contagem interna de paradas e comparada com o cálculo de evapotranspiração. Segundo Lorenz e Maynard *apud* Wien (1997), a faixa ideal de temperaturas para o crescimento da alface deve ser de 7 a 24°C. Sendo assim, caso a irrigação esteja desligada e a porta fechada e a temperatura interna estiver maior que 25°C, o exaustor será ligado para ajudar na ventilação interna da estufa. A colheita pode ser feita entre 75 e 90 dias, neste sentido, utilizou-se como padrão para os cálculos do programa um valor de 80 dias. Assim divide-se o KC (coeficiente da cultura) da alface em 4 fases de desenvolvimento, que dá um valor de 20 dias por fase, conforme na tabela do coeficiente de Kc (Figura 37).

O programa foi dividido em várias partes, com comentários para a fácil visualização e em caso de problema no código, uma fácil localização do mesmo. No início do programa escolhe-se as portas que serão utilizadas pelos seus respectivos dispositivos podendo ser tanto de entrada como sensores ou saída para acionar algo, faz-se as inclusões de bibliotecas já prontas de alguns sensores, nomeia variáveis que serão utilizadas ao longo do programa. A Figura 32 apresenta uma parcela da programação utilizada.

```

float temp_na_hora; // temperatura sendo medida na hora.
float tempMax = -150; // valor representativo para obter temperatura maxima do dia no sistema
float tempMin = 300; // valor representativo para obter temperatura minima do dia no sistema
float temp; // temperatura media do dia no sistema

// variaveis de calculo ETO
float Umidade; // umidade relativa do ar na estação
float Patm; // pressão atmosferica

float coefpsico; /// coeficiente psicometrico
float pressaturacao; // pressão de saturação de vapor
float presatual; // pressão atual de vapor
float curvapressao; // curva de pressão de vapor
float raddiario; // radiação de ondas curtas
float radondalong; // radiação de ondas longas
float solsemnuvem; // radiação solar na ausência de nuvem
float eto_alface; // calculo da evapotranspiração de referência do dia
float eto_alfaceatual; // variavel do calculo do evapotranspiracao atual
float etc_alface; // calculo da evapotranspiração da cultura do alface
float calculodiaano; // calculo usado para os dias do ano

// entradas e saídas dos sensores
byte fimbarraesq = 38;
byte fimbarradir = 39;
byte bombaagua = 22;
byte rele1 = 8;
byte rele2 = 9;
byte sensorporta = 32;
byte exaustor = 23;

// botao liga o sistema
byte botao; // variavel que verifica se o pino foi acionado ou nao
byte pinoBotao = 33; // pino para acionar o sistema
byte pinoLCD = 34; // pino para acionar o LCD

```

Figura 32 - Exemplo de entradas, saídas e variáveis do código.
Fonte: AUTOR (2017).

Posteriormente a primeira etapa, utiliza-se o *void setup*, responsável pelas configurações de entradas e saídas, uma vez que até então só foram nomeadas, sendo acionada a função para iniciar o visor LCD e o leitor serial que é uma opção para a visualização dos dados via computador (Figura 33).

```

void setup() {
    // entrada do sinal da radiação
    pinMode(UVOUT, INPUT);
    pinMode(REF_3V3, INPUT);

    // entradas e saidas irrigação
    pinMode(rele2, OUTPUT); // pwm que controla o motor da barra
    pinMode(rele1, OUTPUT); // pwm que controla o motor da barra
    pinMode(bombaagua, OUTPUT); // rele que aciona a bomba d'agua
    pinMode(fimbarraesq, INPUT); // fim de curso barra
    pinMode(fimbarradir, INPUT); // fim de curso barra
    pinMode(sensorporta, INPUT); // fim de curso da porta
    pinMode(exaustor, OUTPUT); // exaustor
    pinMode(pinoLCD, INPUT); // aciona o lcd

    estadoBotao = false; // inicia o estado do botao como falso

    lcd.begin(16, 2);
    Serial.begin(9600);

    start = rtc.now();
}

```

Figura 33 – Função Void Setup.
Fonte: AUTOR (2017).

Em seguida, têm-se o *void loop* onde é escrito o programa, o mesmo fica executando até que certa função seja verdadeira (Figura 34).

```

void loop() {
    DateTime now = rtc.now(); // chama a função do relógio para now.

    ligado4 = digitalRead(pinoLCD);
    botao = digitalRead(pinoBotao); // define o botao como igual o pino digital

    if (botao == HIGH) { // se o botao for pressionado
        estadoBotao = !estadoBotao; // e inverte o estado do botao
    } // fecha o if do botao

    if (estadoBotao == true) // se for verdadeiro executa a ação
    {

        dias = (((now.unixtime() - start.unixtime())/86400)+20); //dias comeco da plantação

        temp_max_e_min();
        calculoETO();
        irrigacao();
    }
}

```

Figura 34 – Void loop.
Fonte: AUTOR (2017).

No exemplo acima chama a função *DateTime* que é do relógio RTC para a leitura das horas conforme horário de Brasília, chama a variável ligado para a entrada que aciona o envio de dados para o LCD, chama a variável botão para a entrada que aciona o sistema para o início do cultivo da cultura.

A função IF significa SE. No primeiro momento se o botão for pressionado ele lê o estado do botão e inverte, ou seja, se estava desligado ele liga, e vice e versa. Após verificar essa função, ele testa e se o estado for ligado executa alguma das funções void descritas a seguir:

- Void temperatura máxima e mínima(): nesta função, o Date Time é acionado para ter a hora, o tempDHT para a temperatura do sensor DHT, tempBMP para a temperatura do sensor BMP180, e a temperatura no momento armazenado que é a média dos dois sensores e é classificada em três tipos, temperatura máxima, temperatura mínima, e temperatura média que é a temperatura média do dia. Quando chega a meia noite, o sistema volta ao estado inicial, incluindo as temperaturas, o condutor da barra e o cálculo de evapotranspiração (Figura 35).

Há também nesse Void a parte em quem ele escreve no cartão de memória os dados de interesse, nesse caso irá imprimir a data em que foram inscritos os dados, a temperatura máxima externa e interna e a temperatura mínima externa e interna, para que mais tarde seja comparado através de tabelas e gráficos.

```

void temp_max_e_min() {
    DateTime now = rtc.now();
    tempDHT = dht.readTemperature();
    tempBMP = bmp.readTemperature();
    temp_na_hora = ((tempDHT + tempBMP) / 2);

    if ((now.hour() > 01)) {
        if (tempMax < temp_na_hora) {
            tempMax = temp_na_hora;
        }

        if (tempMin > temp_na_hora) {
            tempMin = temp_na_hora;
        }
    } else if ((now.hour() == 00)) {
        tempMax = -300;
        tempMin = 300;
        contador = 1;
        eto_alface = 0;
    }

    temp = ((tempMax + tempMin) / 2); // calculo da temperatura media
}

myFile = SD.open("DadosTCC.txt", FILE_WRITE);
// Grava os dados no arquivo
if (myFile) {
    myFile.print(now.day());
    myFile.print("/");
    myFile.println(now.month());

    myFile.print("tempMaxint");
    myFile.print(tempMax);
    myFile.println("°C");
    myFile.print("tempMinint");
    myFile.print(tempMin);
    myFile.println("°C");
    myFile.print("tempextMax");
    myFile.println(tempextMax);
    myFile.println("°C");
    myFile.print("tempextMin");
    myFile.println(tempextMin);
    myFile.println("°C");
    myFile.close();
}

```

Figura 35 – Void temperatura máxima e mínima.
Fonte: AUTOR (2017).

• Void cálculoETO() : nesta etapase faz o cálculo de evapotranspiração e o cálculo da evapotranspiração da cultura. Nela são configuradas as portas de entrada do sinal do sensor de UV e variáveis, a variável do relógio para se calcular o dia do ano, a variáveis de pressão atmosférica do sensor BMP180 e de umidade do DHT11, e as fórmulas retiradas do roteiro de cálculo da evapotranspiração de referênciapelo método de

Penman-Monteith-FAO onde se explica passo a passo os cálculos necessários para se chegar a fórmula final da evapotranspiração. Conforme a equação da Figura 36.

$$ET_{oPMF} = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \alpha 900 U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \alpha(1 + 0,34 U_2)} \frac{T + 273}{}$$

**Figura 36 - Cálculo de evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith-FAO .
Fonte: CONCEIÇÃO (2006).**

Onde:

Δ = declividade da curva de pressão de vapor em relação à temperatura ($\text{kPa}^\circ\text{C}^{-1}$);

R_n = saldo de radiação diário ($\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$);

G = fluxo total diário de calor no solo ($\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$);

α = coeficiente psicrométrico ($\text{kPa}^\circ\text{C}^{-1}$);

U_2 = velocidade do vento a 2 m de altura (m.s^{-1});

e_s = pressão de saturação de vapor (kPa);

e_a = pressão atual de vapor (kPa);

T = temperatura média do ar ($^\circ\text{C}$).

Após calcular a evapotranspiração geral, multiplica-se pelo coeficiente da cultura (K_c) em diferentes estádios de desenvolvimento, em função da umidade relativa e velocidade do vento, para diversas hortaliças, conforme Figura 37.

Hortaliça	Estádios de desenvolvimento			
	I	II	III	IV
Abóbora	0,4-0,5	0,65-0,75	0,9-1,0	0,7-0,8
Aipo	0,3-0,5	0,7-0,85	1,0-1,15	0,9-1,05
Alcachofra	0,3-0,5	0,65-0,75	0,95-1,05	0,9-1,0
Alface	0,5-0,6	0,7-0,8	0,95-1,05	0,9-1,0
Batata	0,4-0,5	0,7-0,8	1,05-1,2	0,7-0,75
Berinjela	0,3-0,5	0,7-0,8	0,95-1,1	0,8-0,9
Beterraba	0,4-0,5	0,7-0,8	1,05-1,2	0,6-0,7

Figura 37 – Coeficiente de cultura (Kc) em diferentes estágios de desenvolvimento, em função da umidade relativa e velocidade do vento, para diversas hortaliças.

Fonte: FOLEGATTI, 2008..

```
void calculoETO() {
    DateTime now = rtc.now(); // chama o relógio para a variável now.

    // para calculo da radiação !
    int uvLevel = averageAnalogRead(UVOUT);
    int refLevel = averageAnalogRead(REF_3V3);
    //Use the 3.3V power pin as a reference to get a very accurate output value from sensor
    float outputVoltage = 3.3 / refLevel * uvLevel;
    float radinci = mapfloat(outputVoltage, 0.99, 2.8, 0.0, 15.0); //Converte a tensão medida para intensidade UV

    DateTime data = DateTime(now.year(), 1, 1, 0, 0, 0); // chama o relógio para a variável data
    uint32_t diaano = (now.unixtime() - data.unixtime()) / 86400; // sincroniza a data de hoje menos a data do início do ano

    Umidade = dht.readHumidity(); // umidade relativa no instante
    Patm = bmp.readSealevelPressure(); // pressão atmosférica

    coefpsico = (0.655 * pow(10, -3) * Patm); // coeficiente psicométrico
    pressaturacao = (0.6108 * (exp((17.27 * (temp)) / ((temp) + 237.3)))); // pressão de saturação
}
```

Figura 38 – Trecho do void calculo ETO.

Fonte: AUTOR (2017).

Void irrigação():nesta etapa do programa ocorre a parte física, ou seja, tudo o que foi calculado anteriormente. Ocorre a verificação dos sensores, e se os mesmos estiverem atuando de forma correta, é executado o acionamento do motor da barra de irrigação, bomba d'água e da aeração, caso a temperatura esteja alta (Figura 39). A irrigação foi programada para apartir das 19h, horário em que a temperatura está mais amena para que haja uma melhor absorção pela planta. Cada vez que o sensor da barra é acionado se conta uma passada, para assim saber quanto de água foi aplicado, sabendo que em 1 m² os bicos irrigam 570mL de água. O contador é zerado a meia noite junto com as temperaturas.

```

void irrigacao() {
    quantagua = (contador * 1.1); //quantidade de vezes que a barra passou vezes quantidade de agua por m2

    if (quantagua < etc_alface) { // se precisar irrigar igual ou acima do que esta programado
        if (ligado3 == HIGH) { // se a porta estiver fechada e o sensor dela acionando
            if (now.hour() >= 19 && now.hour() <= 20) { // irriga somente fim da tarde
                if (ligado2 == LOW && ligado1 == HIGH ) { // se o sensor da barra direita desligado e o da esquerda ligado...
                    analogWrite(rele2, 0); //desliga rele 2 e liga o 1 barra
                    delay(500);
                    digitalWrite(bombaagua, HIGH); //liga bomba de agua
                    analogWrite(rele1, 250);
                    contador++;
                } // fecha if ligado 2 e 1
                if (ligado1 == LOW && ligado2 == HIGH) { // se o sensor da barra esquerda desligado e o da direita ligado...
                    analogWrite(rele1, 0); //desliga rele 1 e liga o 2 barra
                    delay(500);
                    digitalWrite(bombaagua, HIGH); //liga bomba de agua
                    analogWrite(rele2, 250);
                } //fecha if ligado1 e 2
            } // fecha if now hour
        } //fecha if ligado3
    } // fecha if quantidade de agua irrigada por m2
}

```

Figura 39 – Trecho da função do void irrigação

Fonte: AUTOR (2017).

• Void imprimeLCD(); a última parte do programa contém o que será impresso no LCD onde poderá ser visualizado pelo operador para se saber o que está acontecendo na estufa. Será impresso a temperatura atual e umidade relativa do ar, aguardará alguns segundos e será exibido a temperatura média do dia e quantos dias de plantio, após 30 segundos aparecerá a temperatura máxima e mínima até o momento. Conforme programa da Figura 40.

```

void imprimeLCD() {
    int humidadeinterna = dht.readHumidity(); //Define uma variavel para humidade
    //contagem de tempo para aparecer informacoes no lcd

    currentMillis = millis();

    int cont = 1; // contagem de segundos para o LCD

    if ((currentMillis - previousMillis) >= 3000) { // se contagem maior que 3s
        previousMillis = currentMillis;
        cont++; // aumenta a contagem
        lcd.clear(); // limpa a tela
    }

    if (cont > 4) { // se contagem maior que 4
        cont = 1; // comeca a contagem
    }

    switch (cont) {
    case 1: // caso 1 para mostrar temperatura atual e umidade
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Temp. atual= ");
        lcd.print(bmp.readTemperature());
        lcd.print(" *C");

        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("Humid= ");
        lcd.print(humidadeinterna);
        lcd.print(" %");
        break;
    }
}

```

Figura 40 – Trecho da função void imprime LCD.
Fonte: AUTOR (2017).

10 RESULTADOS DA CULTURA

10.1 CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS DA CULTURA

O Gráfico 1 apresenta as temperaturas relacionadas a área interna a estufa (Gráfico 1a) e externa (Gráfico 1b).

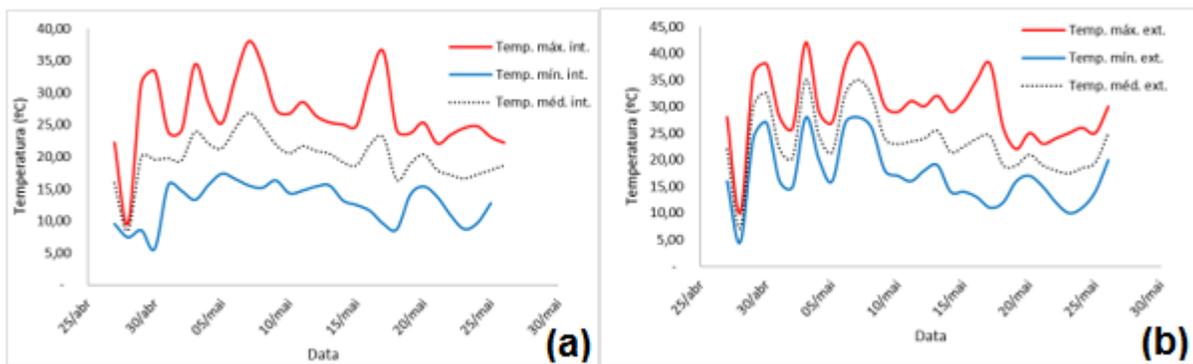


Gráfico 1 – Temperaturas internas a estufa (a) e externas a estufa (b).
Fonte: AUTOR (2017).

É possível perceber pelo Gráfico 1, que o controle da temperatura foi mais efetivo na área interna da estufa, uma vez que a temperatura média teve uma menor variação do que na área externa. De acordo com Villela et al. (2010) a temperatura tem grande influência na germinação das sementes de alface e no seu desenvolvimento, sendo que a temperatura indicada é entre 20 e 24°C.

A evapotranspiração da cultura (ETC) é determinada para definir o uso racional de água durante a irrigação do ciclo da cultura (NUNES et al., 2009). O Gráfico 2 apresenta os dados de evapotranspiração da cultura (ETC) e de referência (ETO) para a cultura estudada.

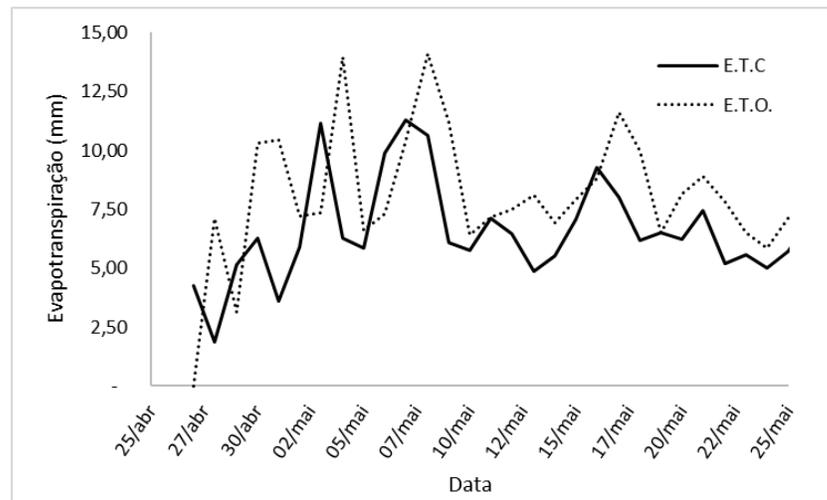


Gráfico 2 - Dados de evapotranspiração da cultura de alface.
Fonte: AUTOR (2017).

Como é possível observar, a ETC atinge seu máximo na segunda semana com valor de $11,29 \text{ mm}\cdot\text{dia}^{-1}$. Esperava-se para a última semana o ETC fosse maior do que o restante do período uma vez que ocorre seu desenvolvimento máximo, porém, nestes mesmos dias ocorreram as menores temperaturas do período. De acordo com NUNES et al. (2009) a queda da temperatura do ar tende a diminuir a atividade metabólica das plantas, e em consequência, o seu desenvolvimento e consumo de água.

Com relação a quantidade de água para regar as culturas, o Gráfico 3 apresenta os dados da rega interna da cultura.

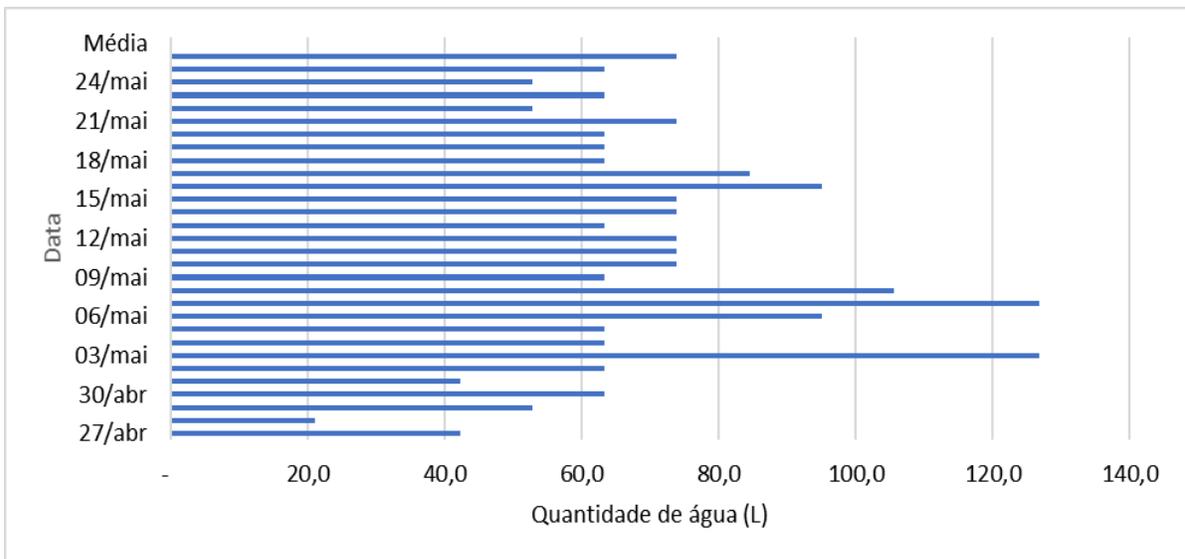


Gráfico 3 - Quantidade de água usada na rega da cultura interna.

Fonte: AUTOR (2017).

Como é possível observar no Gráfico 3, a média de água utilizada para regar as plantas foi de 70,4 litros na cultura interna. Por outro lado, na área externa foram utilizados 80 litros de água nos dias em que não houve chuva, de forma manual.

Além dos benefícios ambientais relacionados ao reaproveitamento das águas pluviais, a água da chuva ainda traz benefícios para a melhoria da qualidade final do produto, uma vez que é rica em minerais essenciais para a cultura, diminuindo os problemas nutricionais e possíveis doenças.

10.2 RENDIMENTO DA CULTURA

O plantio das mudas foi realizado no dia 26 de abril de 2017 na parte interna (Figura41a) e externa (Figura41b) da estufa, conforme apresentado abaixo.



Figura 41 - Plantio das mudas na área interna (a); Plantio das mudas na área externa (b).
Fonte: AUTOR (2017).

Foi possível perceber diferença significativa nas mudas ainda nos primeiros dias, o que se deve à alta intensidade de chuvas e às temperaturas amenas, o que influenciou negativamente o desenvolvimento das mudas plantadas na área externa.

O tempo total do plantio à colheita foi de 30 dias. Nesse período, a temperatura média foi de 15°C e houve um grande volume de chuva, uma vez que em 7 dias de chuva foram totalizados 274mm, e portanto, uma média de 39,14 mm.dia⁻¹.

De acordo com estudo realizado por Flecha (2004) a produtividade da alface é dependente de diversos fatores, entre eles, apresenta-se o estresse causado pelo excesso de água no solo. Tal excesso, traz como consequências a redução da altura da planta, do diâmetro e do peso da parte aérea, e ainda, a redução do diâmetro do caule.

As Figuras 42a e 42b apresentam os resultados visuais obtidos com relação ao ganho de folhas e tamanho das plantas na parte interna da estufa e externa, respectivamente.



Figura 42 - Ganho de folhas e tamanho das plantas ao final de 30 dias na parte interna da estufa (a) e na parte externa (b).

Fonte: AUTOR (2017).

Como é possível observar nas Figuras 42a e 42b, os melhores resultados foram obtidos para as plantas inseridas no interior da estufa, uma vez que, as plantas da parte externa ficaram expostas a intempéries, como citado anteriormente.

As Figuras 43a e 43b mostram a diferença visualmente significativa de amostras aleatórias com as plantas das partes interior e exterior da estufa.



Figura 43 - Diferença visual entre 1 amostra aleatória de cada área (a) e entre 2 amostras aleatórias de cada área (b).

Fonte: AUTOR (2017).

As mudas tanto na área interna quanto na externa foram plantadas no mesmo dia, e receberam os mesmos procedimentos de adubação. As variáveis foram a irrigação manual e a automática juntamente com o controle da temperatura interna da estufa, que foi mantida o mais próximo possível do recomendado para a cultura da alface, entre 18 e 25°C. Nascimento e Cantliffe (2002) indicam as temperaturas ótimas de $\pm 20^{\circ}\text{C}$ para o melhor crescimento do alface, independente da variedade.

Podemos observar no Gráfico 4 a discrepância entre o crescimento das plantas da área interna e externa da estufa, sendo visivelmente alcançado um maior crescimento nas plantas da área interna. As amostras foram feitas em dias aleatórios.

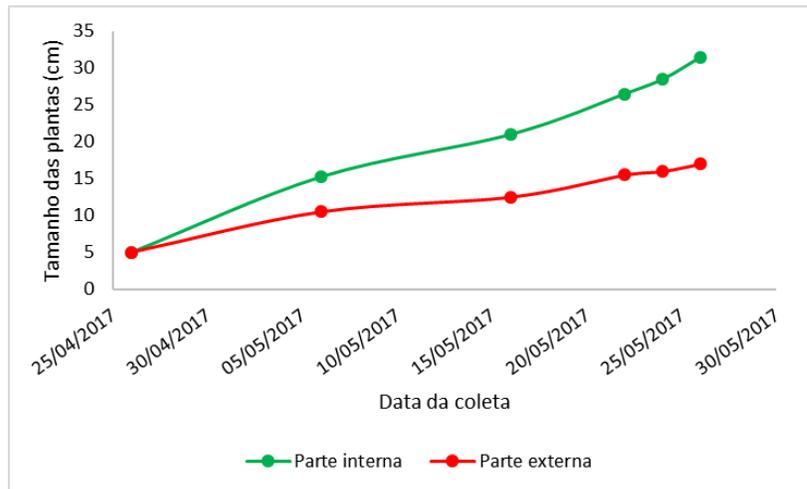


Gráfico 4 - Tamanho das plantas durante 30 dias para a parte interna e externa da estufa.

Fonte: AUTOR (2017).

No Gráfico 5 observam-se os dados referentes ao número de folhas das amostras, sendo visível o melhor desenvolvimento das plantas da área interna da estufa, principalmente tendo em vista a etapa final, onde as chuvas abundantes provavelmente influenciaram de forma negativa o desenvolvimento das alfaces da área externa.

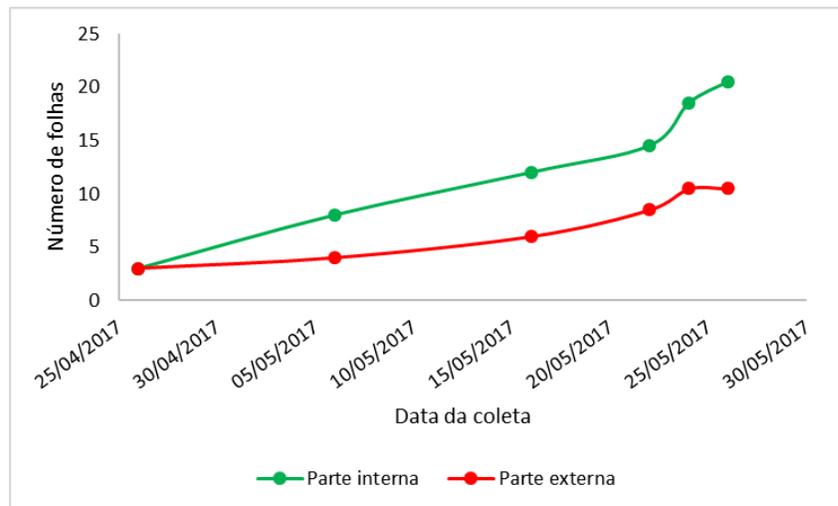
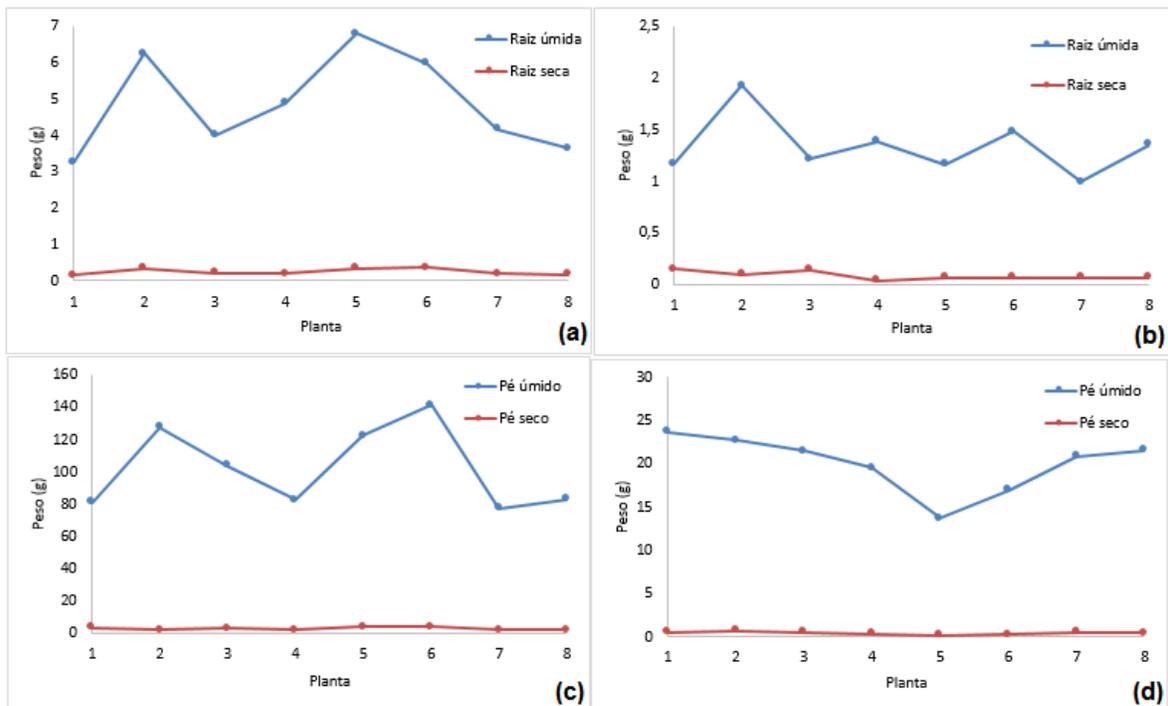


Gráfico 5 - Número de folhas das plantas durante 30 dias para a parte interna e externa da estufa.

Fonte: AUTOR (2017).

As últimas plantas amostradas, quando comparadas aos seus dados do dia do plantio, mostram um aumento de 26 cm no tamanho e de 17 unidades no número de folhas para a parte interna, e um ganho de 12 cm no tamanho e de 8 unidades no número de folhas para a parte externa.

O Gráfico 6 apresenta o peso da raiz úmida e seca e o peso total dos pés úmidos e secos de 8 plantas selecionadas aleatoriamente em cada uma das áreas de interesse. É possível verificar que o cultivo da alface no interior da estufa foi mais adequado do que no exterior, uma vez que as massas frescas e secas do pé e da raiz foram superiores.



**Gráfico 6 - Peso da raiz úmida e seca no interior da estufa (a) e no exterior (b). Peso total do pé úmido e seco no interior da estufa (c) e no exterior (d).
Fonte: AUTOR (2017).**

O Gráfico 7 mostra o número de folhas das 8 plantas escolhidas aleatoriamente em cada uma das áreas. Como é possível observar, o desenvolvimento das plantas na área interna foi significativamente do que na área externa, levando-se em conta o número de folhas. Deste modo, pode-se afirmar que o estresse hídrico sofrido pela cultura externa a estufa pode ser prejudicial ao desenvolvimento de plantas com relação ao número de folhas.

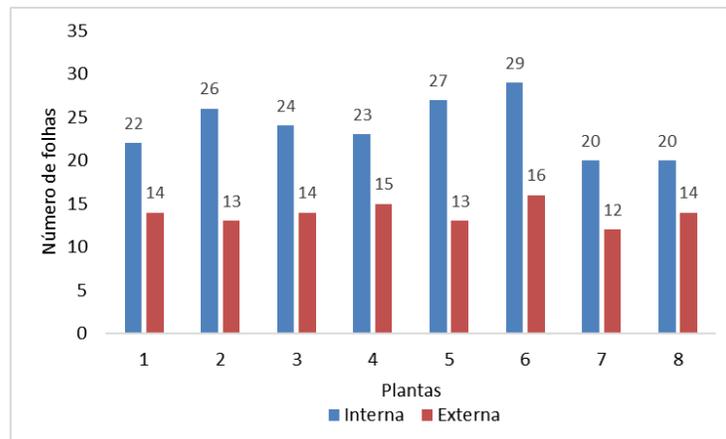


Gráfico 7 – Número de folhas de 8 plantas da parte interna e externa da estufa.

Fonte: AUTOR (2017).

11 CONCLUSÃO

O uso de estufa coberta por filme plástico é significativamente bom para a qualidade da alface tipo lisa uma vez que afeta diretamente na qualidade, peso e tamanho do produto final. Porém, a implantação do sistema automatizado de controle e temperatura foi o que proporcionou o diferencial para que se houvesse uma diferença muito significativa na qualidade e volume produzido na cultura em estudo. Uma vez que este sistema fez a coleta de dados e posteriormente o uso adequado dos recursos hídricos disponíveis.

Em regiões climáticas como a do estudo em São Miguel do Iguazu, região Oeste do Estado do Paraná, com verões quentes e chuvosos, e invernos frios, o uso das estufas com controle de temperatura e umidade torna-se uma boa opção em termos de custos para os pequenos produtores rurais com interesse na produção comercial em pequena escala de vegetais. Além de que, a estufa fornece proteção mecânica contra impacto das chuvas e o excesso destas.

REFERÊNCIAS

ADAFRUIT. Products. 2016.

ANTÔNIO, I. C. **Análise do comportamento da cultura da alface em sistema Hidropônico, tipo NTF, com e sem o uso de nutrientes quelatizados na solução nutritiva.** 1998. 91f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1998.

ARDUINO. **Arduino Mega 2560.** 2015. Disponível em: <<http://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>>. Acesso em: 22 ago. 2015.

BRAGA, Newton C. Como funciona o MOSFET (ART 977). **Instituto Newton C. Braga.** 2016.

CARVALHO, S. P. de; SILVEIRA, G. S. R. **Cultura da alface.** Departamento Técnico da Emater – MG. Disponível em: <<http://www.atividaderural.com.br/artigos/4eaaae5d4f4a8.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2015.

CEPEA-ESALQ/USP. Cultivo protegido versus campo aberto: Vantagens e desvantagens do cultivo protegido frente ao sistema convencional. **Brasil Hortifruti**, v. 12, n. 132, mar. 2014.

CERMEÑO, Z. S. **Estufas: instalações e manejo.** Lisboa: Litexa, 1990. 301p.

CONCEIÇÃO, Marco A. F. Roteiro de cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de PenmanMonteith-FAO. **Embrapa.** Bento Gonçalves: RS. Dez. 2006.

DIAMANTE, M. S. et al. Produção e resistência ao apodamento de alfaces tipo lisa cultivadas sob diferentes ambientes. **Rev. Ciênc. Agron**, Fortaleza, v. 44, n.1, p. 133-140, jan. /mar. 2013.

DR HANK. **Fontes PE200RNF00.** 2016. Disponível em: <http://www.dr-hank.com.br/site/produtos.php?produto_id=383>. Acesso em: 07 set. 2016.

EDISCIPLINAS. **Dispositivos de comando – Contatores**. 2016. Disponível em: <https://disciplinas.stoa.usp.br/pluginfile.php/136674/mod_resource/content/2/teo_dispositivos_comando.pdf>. Acesso em: 18 mai. 2017.

EMBRAPA **Manejo de irrigação**. Disponível em: <<http://www.cnpv.embrapa.br/publica/sprod/MesaNorteParana/irrigacao.htm#agua>> Acesso em 10 junho 2016.

EMBRAPA HORTALIÇAS. Cultivo protegido: uma tecnologia que viabiliza alta eficiência de irrigação é aplicável em qualquer região brasileira. **Item**, Brasília, n. 52-53, p. 10-12, jan-jun. 2002.

FELTRIM, A. L. et al. Produção de alface-crespa em solo e em hidropônica, no inverno e verão, em Jaboticabal – SP. **Científica**, Jaboticabal, v. 37, n. 1, p. 9-15, 2009. Disponível em: <<http://cientifica.org.br/index.php/cientifica/article/view/259/146>>. Acesso em: 22 set. 2015.

FLECHA, Pablo A. N. **Sensibilidade das culturas da batata (*Solanum tuberosum* L.) a da alface (*Lactuca sativa*) ao excesso de água no solo**. 2004. 84 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2004.

FOLEGATTI, Marcos V.; FRIZZONE, José A.; COELHO, Rubens D.; BOTREL, Tarlei A. **Irrigação**. Esalq-USP.2008. Disponível em: <<http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Folegatti/leb1571/Tabelas%20completas.pdf>>. Acesso em: 05 mai. 2017.

IFSC. **Sistemas de Aquisição**. Campos Araranguá. 2010.

JACKSON, L., MAYBERRY, K.; LAEMMLEN, F.; KOIKE, S.; SCHLUBACK, K. **Iceberg lettuce production in California**. Disponível em: <http://www.vegetablecrops.ucdavis>. Acesso em: 24 dez. 2015.

KNOTT, J.E. **Handbook for vegetable growers**.2, ed. New York: John Wiley e Sons, 1962. 245 p.

LIMA, M. E. de. **Avaliação do desempenho da cultura da alface (*Lactuca sativa*) cultivada em sistema orgânico de produção, sob diferentes lâminas de irrigação e**

coberturas do solo. 2007. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2007.

MARQUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C.; SILVA, H.R. **Irrigação por Aspersão em Hortaliças: qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo.** 2ª ed. Brasília, DF. Embrapa Hortaliças, 2008. 150 p.

MATTOS, K. M. da et al. Temperatura do ar no interior do canal de cultivo e crescimento da alface em função do material de cobertura da mesa de cultivo hidropônico – NFT. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n.3, p. 253-260, 2001.

MECÂNICA INDUSTRIAL. Para que serve uma bomba hidráulica elétrica. 2016. Disponível em: <<https://www.mecanicaindustrial.com.br/404-para-que-serve-uma-bomba-hidraulica-eletrica/>>. Acesso em: 07 jun. 2017.

MORI, Nilson. Princípio básico de funcionamento de um motor DC. 2011.

NAANDANJAIN, A JAIN IRRIGATION COMPANY. **Cultura do alface.** Disponível em: <<http://www.naandanjain.com.br/index.php/en/culturas/alface>>. Acesso em: 18 ago. 2015.

NASCIMENTO, Warley M.; CANTLIFFE, Daniel J. Germinação de sementes de alface sob altas temperaturas. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 1, p.103-106, mar. 2002.

NUNES, Anderson L.; BISPO, Noryam B.; HERNANDEZ, Ricardo H.; NAVARINI, Lucas. Evapotranspiration and crop coefficient of lettuce in the southwest region of the state of Paraná, Brazil. **Scientia Agraria**, v.10, n.5, p.397-402, sept.-oct. 2009.

OECO, Dicionário Ambiental. **Evapotranspiração.** 2014. Disponível em: <www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/>. Acesso em: 18 ago. 2016.

PROESI. **Sensor de pressão barômetro Bmp180.** PROESI Componentes Eletrônicos. 2016.

PUIATTI, M.; FINGER, F. L. **Fatores climáticos.** In: PAULO, C. R. F. Olericultura - teoria e prática. Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora, 2005. cap. 2. p. 17 -38. v. 1.

RIBEIRO, A. J. **Efeito do “Mulching” com malha de sombreamento no cultivo da alface.** 2012. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Agronomia. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

RODRIGUES, J. L. M. T. C. 1997. **Projeto, construção e teste de casa de vegetação para a produção de alface na Região de Viçosa-MG.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG: UFV, 59p. 1997.

RYDER, E. J. **Lettuce, endive e chicory.** Cambridge: University Press, 1998. 208 p.

SANTOS, Diego M. dos. **Relê.** 2016.

SANTOS, L. L.; SEABRA JUNIOR, S.; NUNES, M. C. M. Luminosidade, temperatura do ar e do solo em ambientes de cultivo protegido. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v.8, n.1, p.83- 93, 2010.

SANTOS, S. R. dos; PEREIRA, G. M. Comportamento da alface tipo americana sob diferentes tensões da água no solo, em ambiente protegido. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 24, n.3, p. 569-577, set/dez. 2004.

SPARKFUN. **DS1307 64 x 8 Serial Real-Time Clock.** Dallas Semiconductor. 2016.

SONNENBERG, P.E. A Cultura da Alface. In: **Olericultura Especial 1ª Parte.** 4ª ed., Goiânia, Brasil, 1982.

TERUEL, Bárbara J. Controle automatizado de casas de vegetação: Variáveis climáticas e fertigaç o. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 3, p. 237-245, 2010.

UFRGS. **Reed-Switch.** 2016. Disponível em:
<<http://www.if.ufrgs.br/mpef/mef004/20061/Cesar/SENSORES-Reed-switch.html>>.
Acesso em: 20 jun. 2017.

UNIPOWER. **Bateria Unipower 12 V, modelo UP1270E.** 2016. Disponível em:
<<http://unipower.com.br/>>. Acesso em: 06 set. 2016.

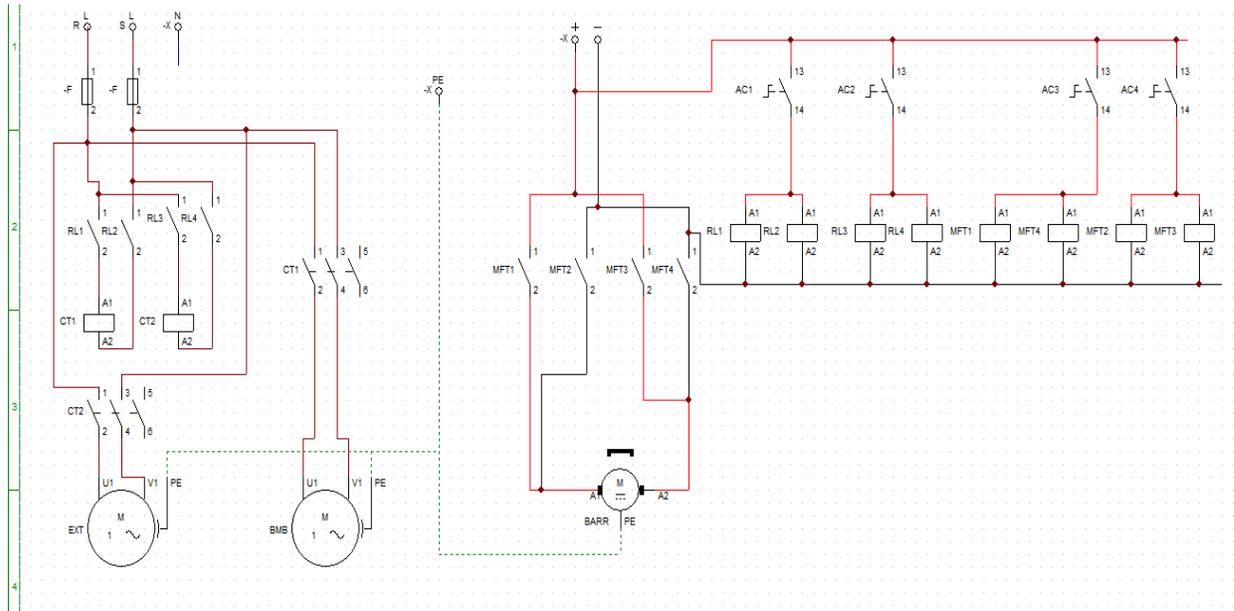
VILLELA, Roseane P. et al. Produção e desempenho de sementes de cultivares de alface em duas épocas de plantio. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 1 p.158-169, 2010.

WIEN, H. C. The physiology of vegetable crops. New York: Cab International. 1997.

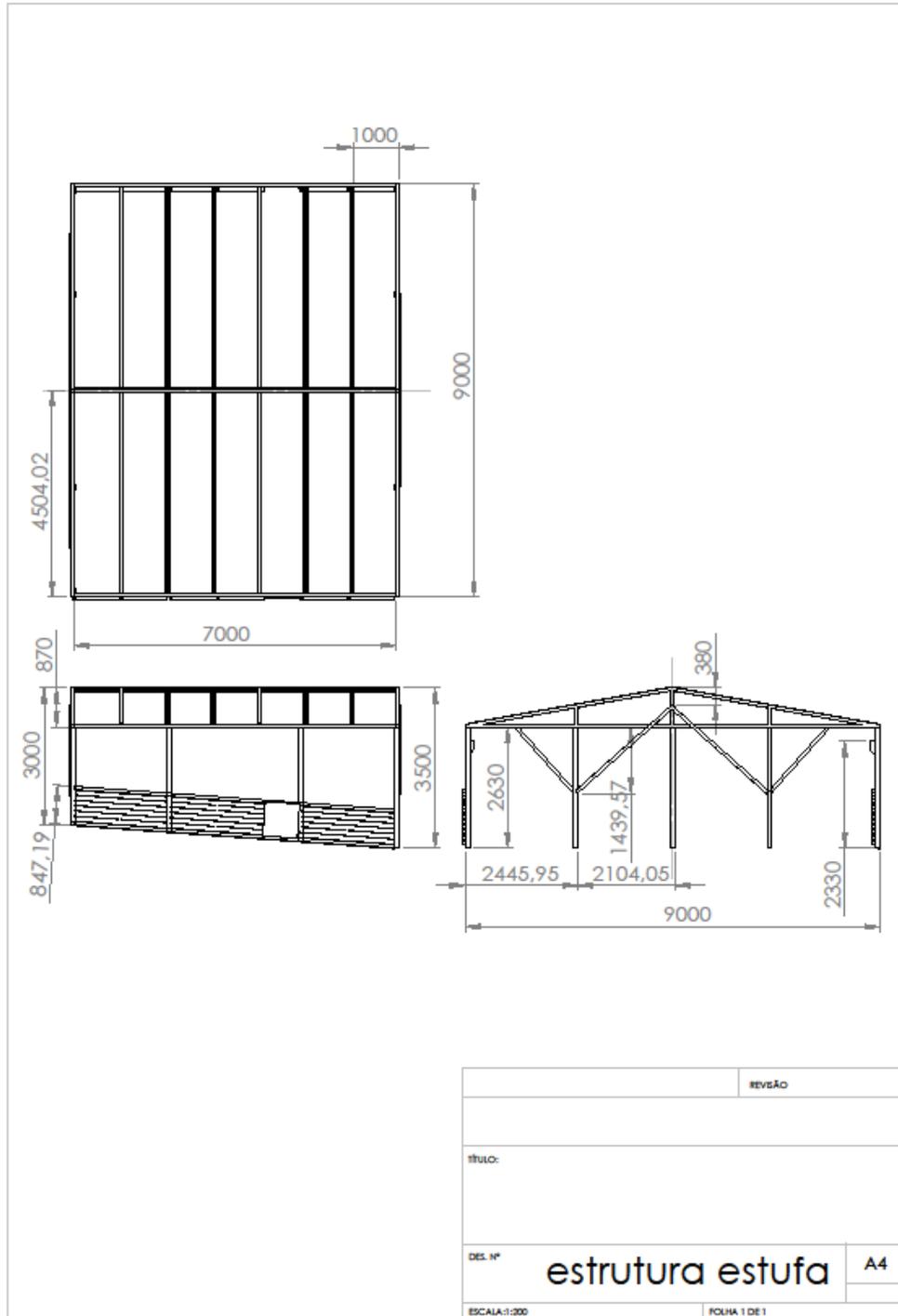
YURI, J.E. **Avaliação de cultivares de alface americana em duas épocas de plantio em dois locais do Sul de Minas Gerais**. 2000. 51 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

ANEXOS

ANEXO A - DIAGRAMA DE COMANDO E FORÇA



ANEXO B –ESTRUTURA DA ESTUFA



ANEXO C – DETALHES IRRIGAÇÃO

