

DANIELA TEIXEIRA GUERREIRO

DESENVOLVIMENTO DA ALFACE HIDROPÔNICA COM  
COMPLEMENTO DE LUZ VERMELHA EM SISTEMA FOTOVOLTAICO

CASCVEL  
PARANÁ - BRASIL  
FEVEREIRO - 2021

DANIELA TEIXEIRA GUERREIRO

DESENVOLVIMENTO DA ALFACE HIDROPÔNICA COM  
COMPLEMENTO DE LUZ VERMELHA EM SISTEMA FOTOVOLTAICO

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Exame de Qualificação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura.

Orientador: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira

Coorientadora: Prof. Dra. Luciene Kazue Tokura

CASCVEL  
PARANÁ - BRASIL  
FEVEREIRO – 2021

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Guerreiro, Daniela Teixeira

Desenvolvimento da alface hidropônica com complemento de luz vermelha em Sistema Fotovoltaico / Daniela Teixeira Guerreiro; orientador(a), Jair Antonio Cruz Siqueira; coorientador(a), Luciene Kazue Tokura, 2021.

79 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Graduação em Engenharia Civil Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, 2021.

1. Sistema Solar Fotovoltaico . 2. Hidroponia. 3. Complemento luz vermelha. I. Siqueira, Jair Antonio Cruz. II. Tokura, Luciene Kazue. III. Título.

**DANIELA TEIXEIRA GUERREIRO**

Desenvolvimento da alface hidropônica com complemento de luz vermelha em Sistema Fotovoltaico

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestra em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Fontes Renováveis e Racionalização de Energia na Agroindústria e Agricultura, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



Orientador(a) - Jair Antonio Cruz Siqueira  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Maritane Prior  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Clair Aparecida Viecelli  
Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR)

Cascavel, 11 de março de 2021

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro por crer em Deus, onde em minhas orações saiam minhas forças quando estava cansada, desanimada e achava que não iria dar conta dessa caminhada e sempre fui iluminada.

A minha família por me apoiar e sempre acreditar em mim, por entender todas as vezes que estava ausente que era necessário para que essa pesquisa fosse concluída, e por aguentarem todos os meus momentos de stress.

Ao meu orientador, o Professor Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira que chama seus alunos de filho e nos trata com tanto carinho onde nos apresentou um ensinamento indescritível, pela oportunidade em ser sua orientanda, pelo apoio em todos os momentos de desespero e dúvidas, deixo aqui minha gratidão eterna.

A minha coorientadora Dra. Luciene Kazue Tokura que sempre esteve presente em todas as dúvidas e não mediu esforços para sempre ajudar na parte técnica.

A professora Dra. Clair Aparecida Viecelli pelo auxílio na área de cultivos hidropônicos e pela atenção todas as vezes que tive dúvidas, contribuindo para o meu trabalho.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura (campus de Cascavel) pela oportunidade de realizar o mestrado e disponibilidade da infraestrutura.

Todos os professores presentes em todas as etapas desses anos de Mestrado, aos que nos passaram conhecimento nas matérias obtidas, aos professores que fizeram parte das bancas e a secretaria acadêmica.

Ao Sirinei Rosse que me ajudou na montagem da estrutura hidropônica, fazendo inúmeros furos na parede e tubulações, sua ajuda foi essencial para a pesquisa iniciar e o ao Vander Silveira por ajudar na configuração do sistema Fotovoltaico.

E, por fim, aos meus amigos do mestrado que me ajudaram todas as vezes que precisei e pelas alegrias e tristezas compartilhadas nesses anos de mestrado.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema horta hidropônica vertical em sistema NFT .....	6
Figura 2. Esquema básico de uma célula fotovoltaica .....	17
Figura 3. Configurações básicas de sistemas fotovoltaica .....	18
Figura 4. Sistema fotovoltaico isolado (SFVI) ou <i>Off Grid</i> .....	20
Figura 5. Sistema fotovoltaico conectado à rede (SFVCR) ou <i>On Grid</i> .....	21
Figura 6. Mudas de alface crespa Vera .....	24
Figura 7. Mudas de alface lisa Regiane .....	24
Figura 8. Estrutura do sistema hidropônico vertical.....	26
Figura 9. Lâmpada tubular vermelha de LED .....	27
Figura 10. Temporizador Decorlux TE-1163 .....	28
Figura 11. Luxímetro digital portátil, Instrutherm THDL-400.....	29
Figura 12. Aparelhos para avaliação de pH (pHmetro) e de temperatura (termômetro). .....	31
Figura 13. Reservatório para solução nutritiva / mangueira e programação do temporizador. ....	32
Figura 14. Bomba submersa At-306.....	33
Figura 15. Painel fotovoltaico modelo KS50 .....	34
Figura 16. Medidor de radiação solar Mes-100.....	35
Figura 17. Amperímetro alicate ET- 3880.....	36
Figura 18. Inversor Xantrex XPower 700 plus.....	37
Figura 19. Controlador de carga Victron energy 20A .....	38
Figura 20. Multímetro Minipa .....	39
Figura 21. Bateria Moura Clean NANO 12MF105.....	40
Figura 22. Projeto da estrutura hidropônica .....	41
Figura 23. Sistema hidropônico vertical com as lâmpadas de LED vermelha (T1) e com luz natural (T2) .....	42
Figura 24. Simbologia de identificação das espécies de alface lisa e crespa e posição numérica de alocação das plantas na estrutura hidropônica vertical.....	43
Figura 25. Disposição dos 2 tratamentos. Variedades de alface lisa e crespa em presença de luz de LED vermelha (T1) e sob luz natural (T2) .....	44

Figura 26. Composto diluído para preparação da solução nutritiva (1 e 2) e reservatório de 100 L .....	45
Figura 27. Massa seca da parte aérea das plantas de alface crespa Vera e lisa Regiane .....	47
Figura 28. Massa seca das plantas de alface em saquinhos de papel dentro da estufa e pesagem da parte aérea em balança de precisão.....	47
Figura 29. pH da Solução Nutritiva em Hidroponia no período de 08/10 a 08/11/20 nos horários das 13:00 e 17:00 horas. ....	49
Figura 30. Temperaturas (°C), na Solução Nutritiva no período de 08/10 a 08/11/20 nos horários das 13:00 e 17:00 horas .....	50
Figura 31. Temperaturas do Ambiente no período de 08/10 a 08/11/20 nos horários das 13:00 e 17:00 horas .....	51
Figura 32. Umidade do Ar no período de 08/10 a 08/11/20 nos horários das 13:00 e 17:00 horas. ....	51
Figura 33. Luminância presente na estrutura hidropônica no período de 08/10 a 08/11/20 no horário das 13:00 horas.....	52
Figura 34. Radiação solar diária no período de 08/10 a 08/11/20 no horário das 13:00 e 17:00 horas .....	53
Figura 35. Tensão (V) e corrente (A) diária no período de 08/10 a 08/11/20 no horário das 13:00 e 17:00 horas .....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição da solução nutritiva para a alface .....	10
Tabela 2. Especificações Técnicas Alface Crespa Vera .....	24
Tabela 3. Especificações Técnicas Alface Lisa Regiane .....	25
Tabela 4. Especificações Técnicas Lâmpada de LED .....	27
Tabela 5. Especificações Técnicas Temporizador TE1136 .....	28
Tabela 6. Especificações Técnicas do Luxímetro THDL-400 .....	29
Tabela 7. Especificações Técnicas Bomba At-360 .....	33
Tabela 8. Especificações Técnicas do Módulo Solar KS50 .....	34
Tabela 9. Especificações Técnicas Piranômetro Mes-100 .....	35
Tabela 10. Especificações Técnicas do Amperímetro ET-3880 .....	36
Tabela 11. Especificações Técnicas do Inversor 700 Plus .....	37
Tabela 12. Especificações Técnicas do Controlador de Carga Energy.....	38
Tabela 13. Especificações Técnicas do Multímetro .....	39
Tabela 14. Especificações Técnicas da Bateria Moura Clean .....	40
Tabela 15. Características agrônômicas da variedade de alface crespa (Vera), conduzidas com lâmpadas de LED vermelha e luz natural .....	55
Tabela 16. Características agrônômicas da variedade de alface lisa (Regiane), conduzidas com lâmpadas de LED vermelha e luz natural.....	57

GUERREIRO, Daniela Teixeira. Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. Fevereiro de 2021. **Desenvolvimento da alface hidropônica com complemento de luz vermelha em sistema fotovoltaico**. Orientador: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira, Coorientadora: Prof. Dra. Luciene Kazue Tokura.

## RESUMO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a principal hortaliça folhosa e mais cultivada em todo o mundo, sendo do tipo crespa com folhas de coloração verde clara e a lisa com folhas de coloração verde brilhante. Este trabalho teve por objetivo avaliar o comportamento do crescimento da alface, cultivada na hidroponia submetida à iluminação vermelha complementar durante o dia, instalada dentro da cobertura de sombrite sob condições climáticas pouco controladas, testando-se dois tratamentos (luz vermelha na faixa de 660 nm e luz natural) em 3 repetições e duas variedades (Vera e Regiane), mantidas acessas durante período diurno das 8:00 às 18:00 horas, a 0,40 m de altura das mudas, sendo sustentadas pela energia solar (fotovoltaico). As mudas foram previamente cultivadas por viveiro da região, até atingirem a idade de 15 dias após a germinação, a partir do 16º dia, as mudas foram transferidas para o sistema de Hidroponia vertical em sistema NFT (*Nutrient Film Technique*), que também ficou mantido por energia solar. Dessa forma, analisada as plantas com iluminação natural e com iluminação vermelha complementar até completar 32 dias no sistema NFT, quando as plantas passaram por avaliação em: número de folhas (NF), altura da planta final (APF), comprimento da raiz (CR), comprimento do caule (CC), diâmetro do caule (DC), massa verde da planta (MVP), massa verde da raiz (MVR), massa verde do caule (MVC), massa seca da planta (MSP), massa seca da raiz (MSR), massa seca do caule (MSC). Verificou-se que para quase todas as características analisadas ocorreu um maior crescimento no tratamento com iluminação vermelha de LED, em destaque o (NF) na alface crespa com 68,87% e na alface lisa o (DC) com 75,24%. A única característica que teve um melhor resultado no cultivo de alface com luz natural foi na cultura de alface lisa no (CC). O tratamento com a luz vermelha em LED obteve uma eficiência superior de produção no cultivo da alface hidropônica em relação ao tratamento com luz natural.

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001”.

**PALAVRAS-CHAVE:** hidroponia; sistema fotovoltaico; desenvolvimento da alface luz vermelha.

GUERREIRO, Daniela Teixeira. Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. February – 2021. **Development of hydroponic lettuce with red light complement in photovoltaic system**. Adviser: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira, second mentor: Prof. Dra. Luciene Kazue Tokura.

## ABSTRACT

Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is the main leafy and most cultivated vegetable in the world, being of the curly type with light green leaves and the smooth one with bright green leaves. This work aimed to evaluate the growth behavior of lettuce, grown in hydroponics submitted to complementary red lighting during the day, installed inside the shade cover under poorly controlled climatic conditions, testing two treatments (red light in the 660 nm range) and natural light) in 3 repetitions and two varieties (Vera and Regiane), kept accessible during daytime from 8:00 am to 6:00 pm, at 0.40 m height of the seedlings, where, it was supported by solar energy (photovoltaic). The seedlings were previously cultivated by a nursery in the region, until they reached the age of 15 days after germination, from the 16th day onwards, the seedlings were transferred to the vertical Hydroponics system in NFT system (Nutrient Film Technique), which was also maintained by solar energy. Thus, the plants with natural lighting and complementary red lighting were analyzed until completing 32 days in the NFT system, where the plants were evaluated in: number of leaves (NF), height of the final plant (APF), root length (CR), stem length (CC), stem diameter (DC), green plant mass (MVP), green root mass (MVR), green stem mass (MVC), dry plant mass (MSP), dry mass of the root (MSR), dry mass of the stem (MSC). It was found that for almost all the characteristics analyzed, there was a greater growth in the treatment with red LED lighting, in particular the (NF) in the curly lettuce with 68.87% and in the plain lettuce the (DC) with 75.24 %. The only characteristic that had a better result in the cultivation of lettuce with natural light was in the culture of smooth lettuce in (CC). The treatment with red LED light obtained a higher production efficiency in the cultivation of hydroponic lettuce in relation to the treatment with natural light.

"This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001".

**Keywords:** hydroponics; photovoltaic system; development of red light lettuce.

## ÍNDICE

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>iii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>iv</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>vi</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>viii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 OBJETIVOS</b> .....	<b>2</b>
1.1.1 Objetivo Geral .....	2
1.1.2 Objetivos Específicos .....	2
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1 A Cultura da Alface</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2 História da Hidroponia</b> .....	<b>5</b>
<b>2.3 Vantagens e Desvantagens na Hidroponia</b> .....	<b>7</b>
<b>2.4 Variedades de alface cultivadas no Brasil</b> .....	<b>8</b>
<b>2.5 Princípios para Desenvolvimento das Plantas</b> .....	<b>8</b>
2.5.1 Solução Nutritiva .....	9
2.5.2 Preparo e manejo da solução Nutritiva .....	10
2.5.3 Fluxo de nutrientes em NFT .....	11
2.5.4 Escolha do substrato .....	12
2.5.5 Espaçamento entre as plantas .....	12
2.5.6 Temperatura do ar e água .....	13
2.5.7 Oxigenação, pH e condutividade elétrica .....	13
2.5.8 Fotossíntese .....	14
<b>2.6 Energia Solar</b> .....	<b>15</b>
<b>2.7 Energia Solar Fotovoltaica</b> .....	<b>16</b>
<b>2.8 Sistemas Fotovoltaicos</b> .....	<b>18</b>
2.8.1 Sistema fotovoltaico isolado (SFVI) ou Off Grid .....	19
2.8.2 Sistema fotovoltaico conectado à rede (SFVCR) ou On Grid .....	20
<b>2.9 Uso de Sistema Fotovoltaico na Hidroponia</b> .....	<b>21</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>23</b>
<b>3.1 Localização</b> .....	<b>23</b>

<b>3.2 Materiais .....</b>	<b>23</b>
3.2.1 Características das mudas de alface .....	23
3.2.2 Características do sistema hidropônico vertical.....	25
3.2.3 Características do sistema de iluminação .....	26
3.2.4 Características da medição de iluminância .....	28
3.2.5 Características da solução nutritiva para fornecimento de nutrientes para as plantas .....	29
3.2.6 Características dos medidores da solução nutritiva .....	30
3.2.7 Características do sistema de bombeamento .....	31
3.2.8 Características do sistema fotovoltaica .....	33
3.2.9 Características que compõem o sistema fotovoltaico .....	36
3.2.9.1 Inversor .....	36
3.2.9.2 Controlador de carga .....	37
3.2.9.3 Multímetro .....	38
3.2.10 Características da bateria .....	39
<b>3.3 Métodos.....</b>	<b>40</b>
3.3.1 Desenho da estrutura hidropônica.....	41
3.3.2 Instalação e condução do experimento em sistema hidropônico.....	41
3.3.3 Determinação da solução nutritiva.....	44
3.3.4 Determinação da bomba.....	45
3.3.5 Determinação de geração fotovoltaica no sistema de hidroponia.....	45
3.3.6 Características avaliadas .....	46
3.3.7 Delineamento experimental .....	48
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>49</b>
<b>4.1 pH da Solução Nutritiva.....</b>	<b>49</b>
<b>4.2 Temperatura da Solução Nutritiva .....</b>	<b>49</b>
<b>4.3 Temperatura do Ambiente .....</b>	<b>50</b>
<b>4.4 Umidade do Ar .....</b>	<b>51</b>
<b>4.5 Iluminação.....</b>	<b>52</b>
<b>4.6 Radiação Solar Diária.....</b>	<b>53</b>
<b>4.7 Avaliação da Tensão (V) e Corrente (A) .....</b>	<b>54</b>
<b>4.8 Desempenho das plantas de alface crespa (Vera) em cultivo hidropônico conduzidas em dois tratamentos, luz de LED vermelha e luz natural .....</b>	<b>54</b>

<b>4.9 Desempenho das plantas de alface lisa (Regiane) em cultivo hidropônico conduzidas em dois tratamentos, luz de LED vermelha e luz natural .....</b>	<b>56</b>
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>58</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXO A – RESULTADOS SISVAR COM LÂMPADAS DE LED VERMELHA E LUZ NATURAL EM ALFACE CRESPA .....</b>	<b>68</b>
<b>ANEXO B – RESULTADOS SISVAR COM LÂMPADAS DE LED VERMELHA E LUZ NATURAL EM ALFACE LISA .....</b>	<b>74</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.), devido à sua grande importância alimentar como fonte de algumas vitaminas e sais minerais, está entre as hortaliças folhosas mais consumidas e cultivadas no Brasil e no mundo. Com cerca de setenta e cinco cultivares comerciais, aproximadamente dezoito delas são de nacionalidade Brasileira (PORTO et al., 1999; FILGUEIRA, 2008).

Do ponto de vista econômico e social, com o aumento incontável da população, o sistema de cultivo na Hidroponia vem buscando técnicas que lhe proporcionem maior qualidade, associada a maior produtividade, para atender o mercado atual. Tais preocupações e a crescente competitividade comercial, vem obrigando os produtores a buscar novas tecnologias. Nesse sistema de produção hidropônico, é utilizado um volume menor de água, estimando-se uma redução de aproximadamente 80% quando comparado ao cultivo convencional (ALBERONI, 1997; GOMES, 2019).

A cultura da alface se adapta em clima temperado, no entanto, apresenta maior produção em temperaturas mais baixas. A temperatura máxima tolerável pela planta é de 30 °C e a mínima situa-se em torno de 6 °C, para a maioria das cultivares. A alface necessita de uma variação de umidade de 60 a 80%, mas, em determinadas fases de seu ciclo, apresenta maior desempenho com valores inferiores a 60% (RADIN et al., 2004).

As plantas possuem sensibilidade em sua quantidade de luz recebida e também em sua qualidade, conseguindo utilizá-la na fotossíntese, como em outros processos fisiológicos ligados ao seu crescimento. A fotomorfogênese refere-se aos efeitos drásticos da luz e no desenvolvimento da planta, que é realizado por meio de um pigmento cromoproteico chamado de fitocromo ao qual regula a fotomorfogênese (FERREIRA; BORGHETTI, 2004).

O estudo buscou entender o crescimento da alface a partir da interferência causada por influência da luz vermelha de LED em média de 660 nm. O interessante é entender a relação da eficiência da fotossíntese e comprimento de onda da luz incidente, já que se sabe que as plantas sobrevivem da produção de sua própria fotossíntese (MELO et al., 2013).

Com este trabalho, pretendeu-se apresentar técnicas comparativas no

cultivo hidropônico de diferente tipo de iluminação, de forma complementar diurna, além dos procedimentos necessários que devem ser realizados para o cultivo, bem como o estudo da viabilidade do uso da energia solar (fotovoltaica).

Uma das diretrizes impostas pelo trabalho foi trazer maior qualidade e produtividade para o produtor de hortaliças ou até mesmo para o consumo familiar, pela praticidade de instalação em pequenos espaços e disponibilidade da hortaliça em casa, com o intuito de apresentar novas técnicas no cultivo hidropônico.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.2 Objetivo Geral**

O objetivo geral do trabalho foi avaliar o efeito do uso de lâmpadas de LED vermelha em média 660 nm, no desenvolvimento da alface em sistema hidropônico em comparação com iluminação natural.

### **1.1.2 Objetivo Específico**

- Implementar o cultivo de duas espécies de alface (crespa Vera e lisa Regiane) em um sistema hidropônico vertical e com a complementação de luminosidade utilizando lâmpadas LED de luz vermelha alimentadas por um sistema fotovoltaico;
- Avaliar comparativamente o desenvolvimento da alface com complementação de luz vermelha com a alface desenvolvida em iluminação natural, em cultivo hidropônico;
- Determinar o número de folhas, altura da parte aérea, comprimento da raiz e do caule, diâmetro do caule, massa verde e seca da parte aérea, caule e raiz das plantas de alface nos dois sistemas de cultivo.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A Cultura da Alface

A alface (*Lactuca sativa*) é uma das espécies folhosas mais populares, cultivada e consumida no Brasil e no mundo. Essa hortaliça possui origem asiática e, atualmente, é produzida em quase todos os países (FILGUEIRA, 2008).

Entre as hortaliças folhosas, a alface representa maior consumo perante as outras hortaliças, representando cerca de 40% do volume negociado pelas empresas de abastecimento. Sendo o consumo dessa hortaliça de 1,3 kg por pessoa ao ano (IBGE, 2017).

No estado do Paraná, a produção dessa hortaliça foi de 140.000,00 toneladas, ocupando área de 5.533,80 hectares. E dentre as cidades do Paraná Colombo se destacou com a produtividade de 32.000,00 toneladas em 2017. Já Cascavel obteve a produção de 2.190,00 toneladas em 98 hectares (SEAB; DERAL, 2018).

O cultivo da alface é normalmente próximo dos centros consumidores, por ser um alimento perecível, e necessitar de um rápido escoamento da produção. É uma cultura com a possibilidade de elevada produção por hectare, o que faz com que seja uma atividade bastante familiar e adequada também ao pequeno produtor (OLIVEIRA, 2012).

É uma planta muito delicada, com caule pequeno, não ramificado, ao qual se prendem as folhas que podem ser lisas ou crespas. A alface crespa tem a maior liderança de mercado, chegando em 70% de sua produtividade. Já o tipo americana, obtém o segundo lugar, ficando com 15% da produção, a lisa com 10%, e as demais correspondem a 5% do mercado (SALA; COSTA, 2012).

A coloração pode variar de verde amarelado até o verde escuro, sendo que algumas variedades podem variar com tonalidades arroxeadas. Suas raízes são pivotantes, podendo atingir até 60 cm de profundidade, porém apresentam ramificações delicadas e finas. Essas características determinam diferenças na conservação após a colheita e, conseqüentemente, ajuda nos aspectos de manuseio e conservação das características

nutricionais (FILGUEIRA, 2008; HENZ; SUINAGA, 2009).

O cultivo da alface pode ocorrer o ano inteiro, por ter ciclo curto entre 45 a 60 dias e representar uma alternativa de renda e subsistência para agricultores familiares. E também acaba se tornando uma fonte alimentar para os consumidores em diferentes épocas do ano, já que existe a produção de inverno e verão. O importante no cultivo é o conhecimento, para que possam ser planejadas as estratégias de minimização no decorrer da semeadura até a colheita (MALDONADE, 2014).

A temperatura ideal para o cultivo da alface está entre 15° e 24 ° C. Nessa temperatura, obtém-se maior desenvolvimento, principalmente no período de crescimento vegetativo. Um outro desafio no cultivo é a manutenção de fertilizantes devido ao alto consumo de água e nutrientes que podem ser lixiviados ao solo. Sendo que, com outras espécies, o sistema de diversificação e equilíbrio é primordial para a rotação de culturas (HENZ; SUINAGA, 2009; RESENDE, 2007).

A luminosidade é outro fator essencial para o desenvolvimento das hortaliças. Trata-se de energia cinemática que provém do sol em partículas chamadas fótons ou quanta, sendo fundamental para a produção de clorofila e fotossíntese das plantas. Os fatores climáticos que interferem no crescimento das plantas são a qualidade e intensidade da luz e a duração do dia ou fotoperíodo (BAREJA, 2011), contrastando com a intensidade de luz fornecida complementar das lâmpadas de LED vermelha.

Há diferentes sistemas de cultivos de alface no Brasil, o cultivo convencional, cultivo de sistema orgânico em campo aberto, cultivo protegido no sistema hidropônico e no solo. Tais sistemas se diferenciam no manejo da espécie e no manuseio pós-colheita (FILGUEIRA, 2008; RESENDE, 2007).

As espécies de alface que mais se destacam no mercado atual são: americana, também chamada repolhuda crespa, possui suas folhas crespa e nervuras em destaque, formando a chamada “cabeça”, solta lisa, possui folhas macias e lisas, não formando “cabeça”, solta crespa, possui folhas crespas e soltas, mimosa possui folhas arrepiadas e delicadas e a romana que possui suas folhas alongadas e consistentes e nervuradas (CARVALHO; SILVEIRA, 2011).

A alface ainda se destaca pelo alto teor de vitaminas A, além de

conter outras vitaminas como B1, B2, C, cálcio, ferro e fibras que se tornam propriedades laxantes, diuréticas e lenitivas, bem como um sabor agradável e refrescante (KESKINEN, 2009).

## **2.2 História da Hidroponia**

A palavra hidroponia é originária de dois radicais gregos: (Hidro = água e Ponos = trabalho), é um método de cultivo muito antigo no qual o solo é substituído por solução nutritiva. O cultivo de hidroponia é bastante antigo, porém, somente na década de 30 que realmente surgiram avanços significativos na cultura hidropônica. O grande impulso na atividade comercial ocorreu depois da publicação de “The Complete Guide to Soilless Gardening” por Willian F. Gericke da Universidade da Califórnia USA em 1936, onde foi desenvolvido um sistema hidropônico que pudesse ser usado em escala comercial (FURLANI, 2004; CARMELLO et al., 1998).

Uma referência importante na literatura sobre o cultivo hidropônico foi do pesquisador inglês John Woorward (1665 – 1728), que cultivou plantas de menta em vasos com água de chuva, torneira, enxurrada e líquido de esgoto diluído, observando que o maior crescimento das plantas foi com líquido de esgoto diluído, concluindo que “as plantas se alimentam da água e de elementos nela dissolvidos. Desde então, a hidroponia nos Estados Unidos e em outros países vem sendo praticada com fins comerciais (FURLANI, 2004; FILGUEIRA, 2007).

O primeiro projeto piloto de cultivo hidropônico em escala comercial deve-se aos pioneiros Shigueru Ueda e Takanori Sekine que trouxeram a técnica do Japão para o nosso país e a apresentaram em 1990 (RODRIGUES, 2002). Desde então, vem sendo difundido rapidamente nas proximidades dos grandes centros urbanos, onde existe pouca terra para agricultura. Em algumas regiões, a produção de hortaliças no cultivo hidropônico protegido (estufa) destaca-se vantajosamente com relação ao cultivo convencional (RESH, 2015).

O conceito NFT (Nutrient Film Technique) (Técnica de Fluxo Laminar de Nutrientes) por Allen Cooper em 1965 foi o grande marco comercial no

desenvolvimento hidropônico. No Brasil, esse sistema é utilizado em quase todos os cultivos hidropônicos. Sistema NFT consiste na passagem de uma lâmina de solução nutritiva onde contém as plantas. Dessa forma, existe algumas técnicas no cultivo da hidroponia (JONES, 1983; SANTOS, 1998).

Em geral, os cultivos hidropônicos podem ser realizados em soluções nutritivas aeradas, sem qualquer tipo de substrato ou usando substrato quimicamente pouco ativos, como areia, cascalho e argila expandida para dar sustentação adequada as plantas. A solução nutritiva pode ser fornecida por fluxo contínuo, ou intermitente (NFT), subirrigação ou por gotejamento. No Brasil, o sistema NFT é o mais empregado em cultivos hidropônicos (MARTINEZ; EMILIA; SILVA, 2004).

*Técnica do fluxo laminar de nutrientes (NFT).* Essa técnica é fundamentada por solução nutritiva escoando dentro de canais com 2 a 4 graus de declividade (Figura 1). Tais canais podem ser feitos em plataformas elevadas do solo como concreto, madeira, plástico e metal, ou podem ser ao nível do solo. O sistema NFT é fechado, sendo que um tanque de coleta recebe a solução que flui por gravidade ao longo dos canais. A solução nutritiva deve ser trocada sempre que a quantidade de nutrientes presentes na solução diminua a um limite mínimo. Sua condutividade elétrica deve ser monitorada diariamente e a solução nutritiva do pH deve ser mantida entre 5,5 e 6,5. Tal sistema pode ser instalado tanto no sentido horizontal quanto vertical (MARTINEZ; EMILIA; SILVA, 2004).

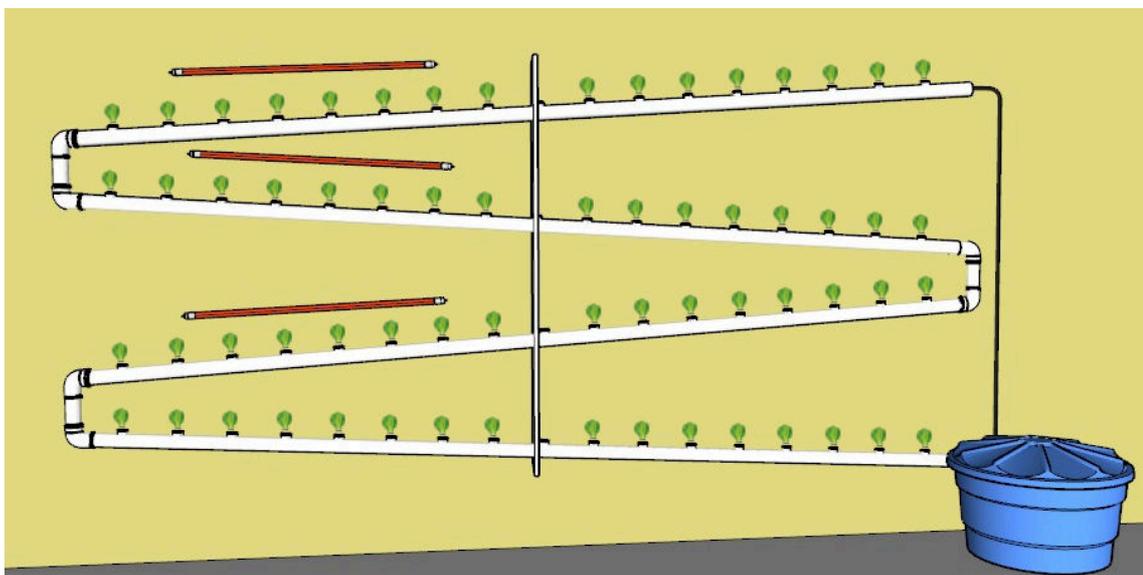


Figura 1. Horta hidropônica vertical em sistema NFT.  
Fonte: Daniela Teixeira Guerreiro (2020).

### 2.3 Vantagens e Desvantagens na Hidroponia

Existem diversas listas com infindáveis vantagens do cultivo hidropônico, de forma que cada vantagem está associada a um sistema de cultivo. No entanto, ao analisar essas vantagens, é importante avaliar a aplicabilidade técnica de cada produtor e as tecnologias trazidas ao meio agrícola. Para tanto, são destacadas as seguintes vantagens:

- a. Possibilidade de produção de alimentos próximos aos centros consumidores, visto que as áreas disponíveis são de alto valor imobiliário (FAQUIN, 1996);
- b. Maior controle sobre a composição de nutrientes fornecido as plantas (MASCARENHAS, 2003);
- c. Maior controle no uso de agrotóxicos em razão da melhor nutrição das plantas (MASCARENHAS, 2003);
- d. Menor consumo de água (FAQUIN, 1996);
- e. Maior produtividade e conseqüente redução de custos de produção (MASCARENHAS, 2003);
- f. Redução no tempo da colheita devido ao encurtamento do ciclo da planta (FAQUIN, 1996);
- g. Aproveitamento de áreas inaptas ao cultivo convencional, como zonas áridas e solos degradados (TEIXEIRA, 1996);
- h. Redução de riscos climáticos, por ser ambiente normalmente protegido, permitindo o cultivo durante todo o ano (FAQUIN, 1996);
- i. Redução de mão de obra, tais como capina e preparo do solo, além das atividades na hidroponia serem mais suaves (CASTELLANE; ARAUJO, 1995);
- j. Processo praticamente todo automatizado (MASCARENHAS, 2003);
- k. Redução e degradação ao meio ambiente por contaminação de fertilizantes e agrotóxicos nos solos (MASCARENHAS, 2003);
- l. Rápido retorno econômico, elevada produtividade (FAQUIN, 1996);
- m. Não necessita de rotação de culturas (TEIXEIRA, 1996).

As vantagens são muitas, porém, em contrapartida, existem algumas desvantagens, tais como:

- a. Custo inicial elevado das instalações do sistema hidropônico em razão

- da terraplenagem, construção de estufa, mesas, bancadas, sistemas hidráulicos e elétricos (SANTOS,1998; TEIXEIRA,1996; FAQUIN,1996);
- b.** Mão de obra especializada, ou no mínimo conhecimento específico para manuseio dos equipamentos, ou também podendo ser um treinamento teórico adequando de como manusear o sistema na hidroponia (SANTOS,1998; TEIXEIRA, 1996);
  - c.** Acompanhamento permanente no sistema elétrico e no controle da solução nutritiva (FAQUIN, 1996);
  - d.** Necessita de técnicas adequadas e produtos novos, para controle de doenças e praga, visto que uso convencional de agrotóxicos elimina atrativo comercial de produtos hidropônicos que é a qualidade biológica (TEIXEIRA, 1996).

#### **2.4 Variedades de alface cultivadas no Brasil**

As principais variedades de alface cultivadas no Brasil são sete: crespa, lisa, americana, romana, mimosa, crocante e roxo-vermelha, sendo as mais consumidas, a crespa e a lisa. A crespa vem com uma coloração em verde clara, suas folhas são flabeladas, com bordas onduladas. É uma variedade consistente, flexível, contendo um ciclo precoce e fica ausente em formação de cabeça. Entre as cultivares crespa, destacam-se Verônica, Vera, Marisa e Vanessa. A lisa tem suas folhas delicadas e lisas, sem formação de cabeça e sua cor verde clara brilhante, destacam-se a Regiane, Elisa e entre outras (SALA; COSTA, 2012).

Foram usadas na pesquisa a alface crespa e a lisa por estarem entre as mais consumidas e mais cultivadas no Brasil.

#### **2.5 Princípios para Desenvolvimento das Plantas**

Os elementos mais significativos para um bom desenvolvimento das plantas em sistema hidropônico são as condições ambientais que devem ser mantidas em níveis apropriados para cada cultivo, e o fornecimento de

nutrientes de forma adequada. Dessa forma, tais elementos devem ser controlados e monitorados periodicamente a solução nutritiva, preparo e manejo da solução, fluxo de nutrientes, a escolha do substrato, espaçamento entre as plantas, temperatura água e ar, oxigenação, pH, fotossíntese (RESH, 2015).

### **2.5.1 Solução Nutritiva**

Destacam-se como nutrientes minerais os elementos como nitrogênio, potássio e fósforo, sendo minerais que as plantas absorvem do solo. Esses nutrientes percorrem um ciclo quando entram na biosfera e, na grande maioria das vezes, pelo sistema de raízes das plantas. De certa forma, as plantas agem como mineradoras da crosta terrestre (EPSTEIN, 1999).

No sistema hidropônico, normalmente, os nutrientes minerais fornecidos pelo solo são misturados, de forma que utiliza uma solução para molhar as raízes das plantas. As plantas contêm 60 ou mais elementos químicos, porém, somente 17 deles são considerados essenciais. Em função do que as plantas necessitam, são classificados como macronutrientes que são referidos de maiores quantidades pela planta, são esses: (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg e S) e os micronutrientes que são referidos em pequenas quantidades que a planta precisa, são esses: (Cl, Fe, Cu, B, Mn, Mo, Ni e Zn). Os macronutrientes são utilizados para produzir o corpo da planta e desenvolver os processos fisiológicos. Já os micronutrientes são fatores necessários para enzimas e são reciclados pelas plantas (NABORS, 2012).

A solução nutritiva ideal para cada planta depende do tipo de espécie que se pretende trabalhar. A composição química pode ser determinada no decorrer de seus diversos estágios de desenvolvimento. Todas as soluções nutritivas devem conter os macronutrientes e micronutrientes minerais essenciais, dissolvidos em água na proporção ideal para atender às necessidades da espécie a ser cultivada, uma vez que as necessidades nutricionais das plantas variam de uma espécie para outra (MARSCHNER, 1995).

Um dos aspectos mais importantes da solução nutritiva é o manejo e a

renovação da solução. As plantas absorvem mais água que nutrientes. Nesse sentido, as quantidades da solução consumida devem ser repostas com água. Ainda com absorção, acontece uma diminuição dos nutrientes na solução, chegando até um cenário em que precisa ser renovada (RESH, 2015).

O tempo útil de uma solução varia de acordo com a porcentagem acumulada de íons, que a planta não absorve instantaneamente. A recomendação é que não ultrapasse o tempo de três meses para sua substituição (SANTOS, 2008). Na pesquisa em questão, a solução nutritiva permaneceu por 32 dias no cultivo da alface.

### 2.5.2 Preparo e Manejo da Solução nutritiva

Para cada tipo de cultivo, é necessário um preparo adequado da solução nutritiva, em que se deve levar em consideração alguns fatores como: tipo do sistema hidropônico; época do ano (fotoperíodo); fatores ambientais (temperatura, umidade, luminosidade); espécie vegetal; variedade cultivada (semente ou muda) e idade das mudas (ALBERONI, 1997).

Existem diversas formulações de soluções nutritivas, com concentrações de nutrientes diferentes, sendo que, para a alface, a composição ideal no sistema NFT, (técnica do fluxo laminar de nutrientes). A Tabela 1 evidencia a proposta de Alberoni (1997).

Tabela 1. Composição da solução nutritiva para a alface

Macronutriente	Mg/l	Micronutriente	Mg/l
N	200	Fe	12
P	60	Mn	2
K	300	B	0,3
Ca	170	Cu	0,1
Mg	50	Mo	0,2
S	65	Zn	0,1

Fonte: ALBERONI (1997).

No preparo da solução, existe uma sequência correta de adição dos nutrientes: os compostos são pesados individualmente, os macronutrientes e micronutrientes são adicionados ao reservatório separadamente. Ao adicionar à solução dos macronutrientes ao reservatório, ele já deve estar cheio pela metade. Após acrescentar os micronutrientes, deve-se completar o nível do reservatório e misturar bem. Posteriormente, mensura-se o pH, que deve estar na faixa de 5,5 a 6,5 (FURLANI, 2004).

De acordo com Resh (2015), para se manter a qualidade da solução nutritiva, os principais fatores a serem observados são: controle da temperatura, nível de oxigênio, pH e a condutividade elétrica.

Para a pesquisa, foi comprada a solução pronta já balanceada, em conformidade com os nutrientes e suas respectivas quantidades que recomenda (ANBERONI, 1997).

### **2.5.3 Fluxo de nutrientes em NFT**

Segundo Resh (2015), em cada perfil ou em cada canal o fluxo da solução nutritiva deve estar entre 1 e 2 L min<sup>-1</sup>, para que o fluxo apresente boa oxigenação para a espécie cultivada.

A circulação da solução nutritiva pelos canais da bancada normalmente é intermitente, controlada por um temporizador (timer), em períodos de 15 a 20 minutos de circulação e de 10 a 15 minutos de descanso durante o dia (6:00 às 18:00 horas), 15 minutos ligado e 3 a 4 horas desligado (FURLANI, 2004).

Resh (2015) recomenda intervalos de 15 minutos entre irrigações durante o período diurno. No período noturno, vai depender das condições climáticas, podendo deixar o sistema desligado ou programar para ligar de 2 a 3 vezes em intervalos espaçados. Os turnos de rega podem ser contínuos ou intermitentes, com tempo de 15/15, 15/30, 15/, respectivamente com intervalo de ausência em bombeamento.

Na pesquisa proposta, optamos por utilizar a recomendação de Resh (2015), ou seja, intervalos de 15 em 15 minutos diurnos por 32 dias.

#### **2.5.4 Escolha do substrato**

A importância da escolha do substrato é fundamental na hidroponia para que as plantas tenham um bom desenvolvimento. As plantas utilizam o solo como meio natural para o seu crescimento, encontrando nele suporte de nutrientes e água. Na ausência do solo, consiste em ser substituído por outro substrato, sendo natural ou artificial, sólido ou líquido, que proporcione às plantas condições de crescimento em ausência do solo. Na hidroponia, o substrato deve ser inerte como: areia, brita, cascalho, vermiculita, lã-de-rocha, entre outros (PEREZ, 2008).

Determinadas características devem ser levadas em consideração para escolha do substrato como: ser ocioso ao fornecimento de nutrientes, apresentar retenção de água e porosidade conveniente para oxigenação necessária, ter pH neutro, oferecer sustentação apropriada para a muda e proteger as raízes dos danos físicos. Dificilmente apenas um único substrato fornecerá todas as características necessárias, sendo preciso misturar diferentes tipos de substrato para que o cultivo tenha maior eficiência na produção (BELTRANO et al., 2015).

#### **2.5.5 Espaçamento entre as plantas**

Resh (2015) afirma que as plantas não devem ser limitadas pela disponibilidade de água ou nutrientes, mas sim que apresentem um espaçamento adequado para que a luminosidade disponível iniciada sobre as plantas e resulte em maior rendimento por unidade de área.

No Brasil, os espaçamentos para as espécies de alface dos tipos lisas e crespas variam de 18 a 25 cm. Para a alface americana, o espaçamento utilizado está em torno de 25 cm entre um orifício e outro (BERNARDES, 1996).

No entanto, não existe recomendação precisa de espaçamento para cada cultivar, pois as respostas de diferentes cultivares e diferentes espaçamentos não são concordantes, o que nos fez optar pelo espaçamento de 0,24 m (centro a centro) de cada orifício na pesquisa desenvolvida.

### **2.5.6 Temperatura do ar e da água**

A temperatura da solução não deve ultrapassar os 30 °C. O ideal é estar na faixa de 18 a 24 °C nos períodos de verão e na temperatura de 10 a 16 °C nos períodos de inverno (ALBERONI, 1997).

As variações adversas de temperatura em uma solução hidropônica podem afetar o pH e a solubilidade dos nutrientes, visto que a temperatura ideal indicada para melhor desempenho na hidroponia para o cultivar de alface está entre 20 e 22 °C. Ficando fora dessa faixa ideal de temperatura, as plantas começam a ter dificuldades no seu crescimento e sua produtividade pode ser afetada. Entretanto, as plantas se desenvolvem razoavelmente bem, entre as temperaturas 18 e 28°C. Temperaturas abaixo ou acima disso afetam as plantas do mesmo modo, tal como o pH alterado (CARRUTHERS, 2015).

### **2.5.7 Oxigenação, pH e condutividade elétrica**

O oxigênio da solução é de suma importância para se obter uma boa absorção dos nutrientes. A oxigenação pode ser realizada durante o processo de circulação da solução no retorno ao reservatório, ou com aplicação de ar comprimido ou oxigênio (ALBERONI, 1997).

Para a maior absorção dos macro e micronutrientes nas plantas, o pH da solução precisa estar equilibrado. A mensuração do pH pode ser por meio de um medidor de pH (pHmetro). O pH da solução nutritiva deve ser monitorado diariamente e não deve ser menor que 5,5 e nem maior que 6,5, sendo indispensável seu ajuste periódico (JESUS FILHO, 2009; MARSCHNER, 1995).

O pH pode ser ajustado em situação de alteração, com a utilização do ácido nítrico, ácido fosfórico ou ácido sulfúrico ou uma base como hidróxido de potássio, hidróxido de sódio ou bicarbonato de potássio, sendo que o produto mais utilizado para redução do pH é o ácido fosfórico 85% e, para o aumento, o hidróxido de potássio (GILL, 2016).

Já a condutividade elétrica faz a determinação de quanto adubo existe

na solução (quantidade de íons). O condutivímetro é o aparelho que faz a medição da solução, sendo que as medidas ideais da solução ficam entre 1,5 a 3,5 mS/cm (ANBERONI, 1997).

### **2.5.8 Fotossíntese**

O desenvolvimento vegetal tem influência direta da qualidade e quantidade de luz incidente. Processos como a fotossíntese e o desenvolvimento dependem da quantificação de luz realizada por um pigmento cromoproteico chamado de fitocromo, que regula a fotomorfogênese das plantas, como o desenvolvimento e metabolismo celular (TERZAGHI et al., 1995).

O fitocromo tem peso aproximado de 125 kDa (quilodaltons) e pode ser encontrado em duas formas fotoconversíveis, sendo a Fv (Fitocromo vermelho) a forma inativa do ponto fisiológico, com um pico de absorção de 660 nm, portanto, na faixa do vermelho, e o Fve (Fitocromo vermelho extremo), que é a forma biologicamente ativa, com um pico de absorção no vermelho extremo. Ambas as formas citadas do fitocromo são interconversíveis, ou seja, Fv pode ser convertido em Fve pela luz vermelha, e Fve pode ser convertido em Fv pelo vermelho extremo (730 nm) (FERREIRA; BORGHETTI, 2004).

Dessa forma, a produção de biomassa vegetal tem dependência direta da luz que ativa o fitocromo e é fonte de fóton para a fotossíntese (Taiz et al., 2017) fornecendo energia para o alongamento das folhas, comprimento dos rizomas, número de ramificações e produção de raízes (MENÉNDEZ, 2002).

Desde o processo de germinação, a radiação luminosa atua ativando ou desativando o fitocromo presente no eixo embrionário. A forma ativa desse pigmento libera ou induz a formação de citocinina que, agindo de modo antagônico aos inibidores, permite às giberelinas desempenharem várias funções relacionadas ao processo germinativo, como a mobilização de reservas para o embrião (BEWLEY; BLACK, 1994). Durante o desenvolvimento, estes pigmentos absorvem fortemente nas regiões do vermelho e do vermelho extremo, ativando o fitocromo para um importante

papel no desenvolvimento vegetativo e reprodutivo regulado pela luz (TERZAGHI et al., 1995), como floração, desenvolvimento das plântulas, síntese de pigmentos, além de permitir adaptações vegetais a diferentes condições luminosas. O fitocromo também é responsável por desempenhar vários papéis importantes nas plantas crescendo em ambiente natural, este permite à adaptação das plantas as alterações na qualidade da luz, principalmente no que se rege a estas se ajustarem ao ambiente, como acontece na alongação de caule. Dentro de uma mesma espécie vegetal, podem ser encontradas diferentes respostas à luz devido ao comportamento do fitocromo (Taiz et al., 2017). Neste contexto, faz-se necessário o estudo de como a qualidade da luz interfere no desenvolvimento de alface hidropônica, podendo maximizar a produção com incremento de luz vermelha.

## **2.6 Energia Solar**

A energia solar vem sendo moldada pelo homem ao longo do tempo. Por meio dessa energia, conseguimos suprir as necessidades básicas como: iluminação, alimentação, aquecimento, desenvolvimento industrial. O uso de energia solar como fonte direta de produção de eletricidade é um fato que está sempre sendo estudado. No cenário que faz a conversão de energia solar em energia elétrica, destacam-se duas tecnologias: a fotovoltaica, que consiste na geração direta da luz em eletricidade e a heliotérmica, que consiste na geração de energia indireta por ter que aquecer um fluido para produzir vapor (RESH, 2015).

O Brasil apresenta vantagens em relação à energia por obter uma matriz energética diversificada. Temos como exemplo o petróleo, gás natural e energia nuclear, tendo como destaque o alto potencial de energia hidrelétrica, eólica e solar, onde o Brasil possui uma das condições favoráveis do mundo em termos de incidência solar, pois é conhecido pela riqueza natural que possui em todo seu território. As maiores reservas hídricas e de biodiversidades do mundo fica localizada no território brasileiro (BANDEIRA, 2012).

As aplicações de energia solar podem ser divididas em dois grandes

grupos: energia solar ativa: que utiliza dispositivo que possa converter diretamente em energia elétrica (painel fotovoltaico) ou em energia térmica (coletores planos e concentradores). E a energia solar passiva, que é onde a Arquitetura solar trata da energia solar por meios passivos (TOLMASQUIN, 2003).

São inúmeras as aplicações de energia solar que vêm sendo desenvolvidas nos últimos anos. Pode ser utilizada energia solar em tudo que é acionado por eletricidade, podendo ser usada em sistema de irrigação de culturas, aquecimento e iluminação artificial, além de sistemas de bombeamento de água para diversos fins (MARTINS; PEREIRA; ECHER, 2004).

## **2.7 Energia Solar Fotovoltaica**

O aproveitamento básico da energia solar é a radiação solar, que incide no sistema de geração de eletricidade. Com as estações do ano, os níveis de radiação solar variam em um plano horizontal na superfície da terra, perceptivelmente pelas diferenças de altitude, latitude e meteorológicas (REIS, 2003).

Um fator determinante que influencia na produção das hortaliças é o clima. Em algumas regiões, as altas temperaturas interferem na qualidade e produção das hortaliças. Fatores característicos de regiões tropicais como alta luminosidade e altas temperaturas têm sido crescentes (QUEIRIGA et al., 2001; GOTO; TIVELLI, 1998).

Os painéis fotovoltaicos são constituídos de células semicondutoras de eletricidade, sendo que o material mais comum utilizado na fabricação das células é o silício. Atualmente, o mercado fotovoltaico é dominado por células cuja material é o silício (99%). O silício normalmente apresenta-se como areia, mas, por meio de métodos adequados, pode ser purificado em até 99,99%. Cada célula solar é composta por uma camada fina de material tipo N e outra de material tipo P como mostra (Figura 2), separadamente as camadas são neutras. Mas, ao serem unidas, os elétrons de silício tipo N difundem para o lado P. Processo análogo ocorre do lado P, o deslocamento

dos elétrons do lado N para o P deixa em N uma deficiência de cargas negativas. Da mesma forma, o lado P também fica com cargas negativas. Portanto, fica estabelecido um dipolo com cargas positivas na região N e negativas na região P. O campo elétrico restabelece, desta forma, as condições de equilíbrio na junção P-N (TOLMASQUIM, 2003).

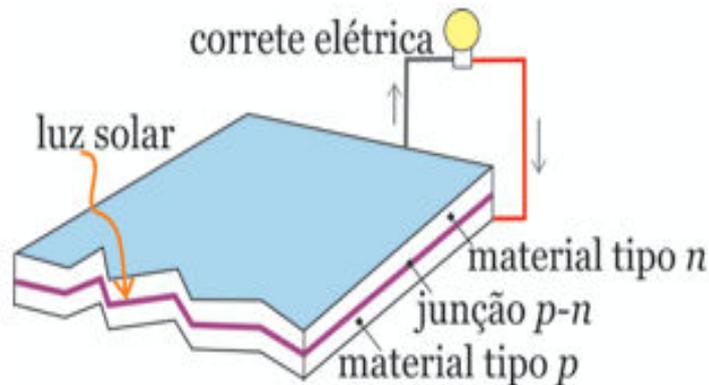


Figura 2. Esquema básico de uma célula fotovoltaica.  
Fonte: Adaptada de UMINHO (2018).

Tipos de células fotovoltaicas:

- a. Silício monocristalino: obtém-se estas células a partir de barras cilíndricas de silício monocristalino, sendo sua produção em fornos especiais. Sua eficiência na conversão de luz solar em eletricidade é da ordem de 15%;
- b. Silício policristalino: obtém-se estas células a partir de blocos de silício, obtidas por fusão de porções de silício puro em moldes especiais. Sua eficiência na conversão de luz em eletricidade é um pouco menor que a do silício monocristalino, da ordem de 13%;
- c. Silício amorfo: obtém-se estas células por meio da deposição de camadas muito finas de silício sobre superfícies de vidro ou metal. Sua eficiência na conversão de luz em eletricidade varia entre 5 e 7% (TOLMASQUIM, 2003). A função de várias células juntas é de reduzir potência das células solares, assim, é alcançada tensão e corrente em quantidade suficiente para aproveitar a energia elétrica gerada (GREENPRO, 2004).

Dessa forma, o sistema fotovoltaico pode ser configurado em diversos tipos como:

- a. Sistema diretamente conectado à carga: é o sistema mais simples de todos, normalmente é utilizado em pequenos sistemas de bombeamento de água que contêm motor de corrente contínua;
- b. Sistema com armazenamento: esse sistema pode ser usado em um módulo ou arranjo fotovoltaico para repor a carga de uma bateria ou diversas baterias em sistemas autônomos isolados;
- c. Sistema fotovoltaico, bateria e regulador: é o sistema no qual se liga o gerador fotovoltaico a uma bateria por meio de um regulador para que esta não se sobrecarregue;
- d. Alimentação de cargas de corrente alternada: é a forma em que quando requer energia em corrente alternada, podendo-se incluir um inversor na interface do sistema (TOLMASQUIM, 2003).

As diferentes configurações de um sistema fotovoltaico podem ser observadas na Figura 3.

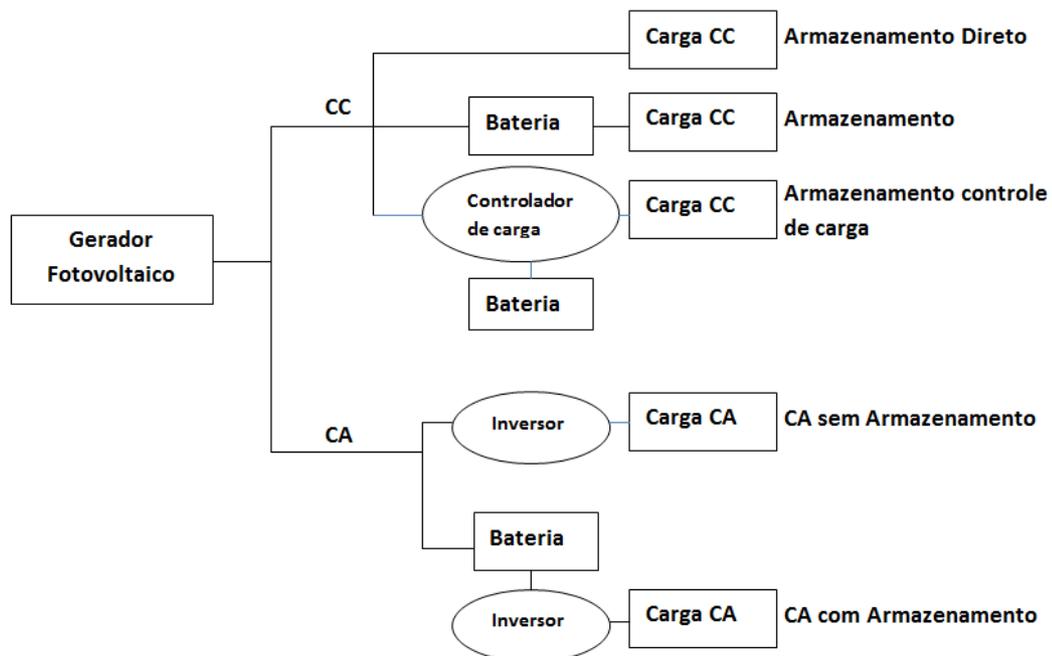


Figura 3. Configurações básicas de sistemas fotovoltaicos.  
Fonte: Adaptada de CRESESB (2004).

## 2.8 Sistemas Fotovoltaicos

Conforme a norma NBR 11704:2008, a produção por energia elétrica fotovoltaica pode ser obtida por duas formas principais: sistema fotovoltaico isolado da rede de energia elétrica (SFVI) ou sistema *Off grid* e sistema fotovoltaico conectado à rede de energia elétrica (SFVCR) ou sistema *On Grid* (ABNT, 2008).

### 2.8.1 Sistema fotovoltaico isolado (SFVI) ou *Off Grid*

O Sistema fotovoltaico isolado não possui conexão com a rede pública. A energia é fornecida diretamente aos aparelhos elétricos. Sendo assim, geralmente são instalados em locais de difícil acesso por questões de inviabilidade técnica, ou até mesmo por questões financeiras. Fazendo necessário o uso de um banco de baterias armazenador de energia para garantir a autonomia do sistema (TONIN, 2017; PAZUCH, 2017).

Alguns exemplos do sistema fotovoltaico SFVI podem ser observados em comunidades isoladas de rede elétrica pública, bombas d'água, geladeiras para armazenar vacinas, alimentação de baterias de veículos e postes de iluminação (TONIN, 2017).

O sistema *off grid* é basicamente composto por quatro equipamentos:

- a. Painel fotovoltaico, que converte radiação solar em corrente contínua;
- b. Controlador de carga, utilizado para monitorar e controlar a carga ou descarga do banco de baterias, assim, evitando descargas e sobrecargas excessivas nas baterias e fazendo com que os acumuladores tenham sua vida útil prolongada;
- c. Inversor cuja funcionalidade é converter a corrente contínua do painel ou do banco de baterias, em corrente alternada;
- d. Bateria que tem a função de armazenar a energia elétrica produzida durante o dia, para ser utilizada à noite ou em outros momentos que o sol não esteja presente e não haja outra fonte de energia.

Na Figura 4, observa-se o sistema SFVI (TONIN, 2017; URBANETZ, 2010).



Figura 4. Sistema fotovoltaico isolado (SFVI) ou *Off Grid*.  
Fonte: CLEAN ENERGY (2020).

### 2.8.2 Sistema fotovoltaico conectado à rede (SFVCR) ou *On Grid*

O SFVCR é caracterizado por estar interligado a rede de energia elétrica pública. Esse sistema não utiliza nenhum dispositivo de armazenagem de energia elétrica, assim, nos momentos em que os painéis não estão produzindo energia, o sistema utiliza a rede da concessionária como fonte de energia (TONIN, 2017).

O sistema *off grid* é basicamente composto por três equipamentos:

- a. Painéis fotovoltaicos que coletam energia por meio de radiação solar;
- b. Inversor, que tem a função de disponibilizar energia elétrica em corrente alternada para instalação e que também injeta o excedente de energia gerada na rede;
- c. Bidirecional, que é o medidor de energia elétrica ao qual se contabiliza a energia consumida pelo consumidor (estabelecimento) e faz as medidas de energia injetada na rede da concessionária (URBANETZ JUNIOR, 2010).

O sistema SFVCR tem vantagem por ser regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), bem como seus impostos envolvidos e

o modo de compensação energética. Desta forma, o sistema converte o excedente produzido pelo sistema fotovoltaico em créditos (quilowatts-hora, kWh) que serão abatidos do consumo total na fatura de energia do consumidor. A Figura 5 explica o SFVCR (TONIN, 2017).



Figura 5. Sistema fotovoltaico conectado à rede (SFVCR) ou *On Grid*.  
Fonte: CLEAN ENERGY (2020).

## 2.9 Uso de Sistema Fotovoltaico na Hidroponia

A energia solar fotovoltaica está espalhada em várias localidades do Brasil, sendo utilizada para diversas finalidades. Pode ser benéfica na agricultura, pois a rede elétrica não se torna compensatória, sendo uma opção para o pequeno agricultor. Um tipo de utilização dessa energia fotovoltaica é o bombeamento de água na agricultura (MICHELS, 2009).

Foram instalados até a década de 90 mais de 10 mil sistemas de bombeamento fotovoltaico em todo o mundo, quando o sistema de bombeamento fotovoltaico substituiu os sistemas anteriores com finalidade de diminuir os problemas de instalação, manutenção e perdas de energia (FEDRIZZI, 1997).

O painel fotovoltaico faz a conversão de energia solar em corrente

elétrica que alimenta o motor, ao qual é acoplada a bomba d'água. Quando o painel alimenta o motor com capacidade elétrica suficiente, alavanca torque mecânico e o motor começa a trabalhar (KOLLING et al., 2004).

A inclinação ideal de painéis fotovoltaicos pode ser estabelecida através da latitude no local do projeto a ser executado. O ângulo igual a latitude é considerada ótimo, voltado ao norte, no hemisfério sul, de forma que os painéis estejam perpendiculares aos raios solares na média anual. Sendo assim, a variação ao longo do ano é suavizada, potencializando a sua quantidade de energia recebida sobre sua superfície nesse período (BLUESOL, 2019).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Localização**

O Experimento foi conduzido sob condições de hidroponia vertical, localizado na área externa de uma residência familiar, situado na região oeste do Paraná, na cidade de Cascavel, com coordenadas geográficas de latitude -24°94'3" e longitude -53°49'3", sendo altitude de 750,7m. O clima, segundo a classificação de Köppen, é Cfa, quente e temperado, existe uma pluviosidade significativa ao longo do ano, mesmo durante o mês mais seco do ano. A temperatura média anual é de 18,2 °C, com uma pluviosidade média anual de 1822 mm.

#### **3.2 Materiais**

##### **3.2.1 Características das mudas de alface**

A produção das mudas foi realizada pelo viveiro Baldissarelli, localizado no município de Marmeleiro – PR, entre os meses de setembro e outubro de 2020. A semeadura foi feita em bandejas, preenchidas com substrato, com duas variedades de alface (crespa Vera e lisa Regiane).

As mudas de alface crespa Vera presentes na bandeja com 15 dias de semeadura apresentavam uma média de 3 a 4 folhas por planta (Figura 6). As especificações técnicas do produto estão salientadas na Tabela 2.



Figura 6. Mudanças de alface crespa Vera.

Tabela 2. Especificações Técnicas Alface Crespa Vera

<b>Especificações Técnicas</b>	
Fornecedor	Baldissarelli
Renascem	14159/2013
Lote	1303/73
Bandeja Tipo	BJ200
Substrato	Não Informado
Idade média	15 dias

Fonte: BALDISSARELLI (2020).

As Muda de alface Lisa Regiane com 15 dias de semeadura na bandeja apresentavam média de 6 folhas por planta (Figura 7). As especificações técnicas do produto estão salientadas na Tabela 3.



Figura 7. Mudanças de alface lisa Regiane.

Tabela 3. Especificações Técnicas Alface Lisa Regiane

<b>Especificações Técnicas</b>	
Fornecedor	Baldissarelli
Renascem	14159/2013
Lote	1830/11
Bandeja Tipo	BJ200
Substrato	Não Informado
Idade média	15 dias

Fonte: BALDISSARELLI (2020).

Após o período de 15 dias, as mudas foram transferidas diretamente para as bancadas definitivas do sistema hidropônico do tipo NFT, onde permaneceram por 32 dias.

As variedades Vera e Regiane foram escolhidas devido à sua aceitação comercial e utilizadas como testemunhas para todos os atributos estudados como padrões de hortaliças aceitos pelo mercado.

### **3.2.2 Características do sistema hidropônico vertical**

A estrutura vertical hidropônica foi composta por:

- Canais de cultivo com tubulação em PVC de  $\varphi=75$  mm, com comprimento de 4,3 m cada, distanciados de 0,24 m (centro a centro) cada orifício. Cada canal foi composto de 18 furos com 7 cm de diâmetro. Para escoamento do retorno da solução ao reservatório, foi montada a estrutura com declividade de 3°;
- 1 Canal em PVC de  $\varphi=50$  mm para retorno da solução nutritiva ao reservatório;
- Sombríte mini 1005 com 50% de sombreamento na cor preta;
- Hastes ferro foram utilizadas para fixação dos canais, conforme Figura 8.



Figura 8. Estrutura do sistema hidropônico vertical.

### 3.2.3 Características do sistema de iluminação

As plantas de alface foram conduzidas sob 2 sistemas de iluminação (Tratamento 1 e 2), sendo um na presença de lâmpadas de LED na cor vermelha e o outro sem a presença de lâmpadas (controle), apenas conduzido sob luz natural.

Para o Tratamento 1 (T1), foram utilizadas lâmpadas de LED, 1,20 m x 0,04 m x 0,03 m, com consumo de 18W, luminosidade de 1.850 Lumens, composta de material policarbonato e alumínio, na cor vermelha. As lâmpadas de LED vermelha foram posicionadas à altura de 0,40 m das plantas de alface, quando as lâmpadas foram ligadas das 8:00 às 18:00 horas, conforme Figura 9. No restante do dia e no período da noite, as plantas foram conduzidas sem iluminação artificial.

As descrições técnicas da lâmpada estão apresentadas na Tabela 4.



Figura 9. Lâmpada tubular vermelha de LED.

Tabela 4. Especificações Técnicas Lâmpada de LED

<b>Especificações Técnicas</b>	
Potência	18 W
Soquete	G13
Vida Útil	50.000 h
Fator de Potência	0,95
Tensão de Frequência	AC85v – 265v
Tubo	Policarbone
Luminosidade	1850 lm
Marca	JBL

Fonte: JBL (2020).

Foi instalado um temporizador analógico nas lâmpadas (Tratamento 1) da marca Decorlux, modelo TE-1163, tensão 127-220v, conforme (Figura 10) e suas características técnicas estão descritas na Tabela 5.



Figura 10. Temporizador Decorlux TE-1163.  
Fonte: Decorlux (2020).

Tabela 5. Especificações Técnicas Temporizador TE1136

<b>Especificações Técnicas</b>	
Modelo	TE 1136
Tecnologia	Analógica
Vida Útil	50.000 h
Voltagem Nominal	127 / 220 V
Corrente Nominal	10 A
Tempo Mínimo	15 min.
Tempo Máximo	24 h
Programações	48

Fonte: DECORLUX (2020).

O temporizador foi programado para ter seu acionamento às 8:00 horas e programado para o desligamento às 18:00 horas.

### 3.2.4 Característica da medição de iluminância

Luxímetro é um equipamento destinado a efetuar medições de iluminância em ambientes com iluminação artificial e natural. O modelo escolhido foi o luxímetro digital portátil, Instrutherm THDL-400 (Figura 11),

para efetuar medições de luminância do Tratamento 1 com lâmpadas de LED vermelha e do Tratamento 2 sem lâmpadas (luz natural).

As especificações técnicas luxímetro estão apresentadas na Tabela 6.



Figura 11. Luxímetro digital portátil, Instrutherm THDL-400.  
Fonte: INSTRUTHERM (2020).

Tabela 6. Especificações Técnicas do Luxímetro THDL - 400

<b>Especificações Técnicas</b>	
Faixa de Medição	20, 200, 2000, 20000 lux
Precisão	(+-) 5% da leitura
Repetibilidade	(+-) 2%
Peso	250 g
Contagem máxima	2000 contagens
Sensor	Foto diodo silício

Fonte: INSTRUTHERM (2020).

Com auxílio do luxímetro, foram mensurados diariamente a temperatura do ambiente hidropônico e a umidade do ar, no decorrer de 32 dias.

### 3.2.5 Características da solução nutritiva para fornecimento de nutrientes para as plantas

A solução nutritiva é um fator muito importante, em que estão contidos todos os nutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas. Assim, vale ressaltar a importância de se utilizar produtos de boa qualidade. A solução nutritiva usada na pesquisa proposta foi adquirida pela empresa Agrodomus (2020). Nas embalagens, estão presentes todos os nutrientes balanceados e misturados necessários para o preparo da solução nutritiva para 1.000 L (Kit 1 + Kit 2).

A solução nutritiva foi preparada por dois componentes:

- Composto 1 (Kit 1): com todos os macronutrientes: Nitrogênio (N-10%), Fósforo (P-9%), Potássio (K-28%), Magnésio (Mg-3,3%), Enxofre (S-4,3%) e micronutrientes: Boro (B-0,06%), Cobre (Cu-0,01%), Molibdênio (Mo-0,07%), Manganês (Mn-0,05%), Zinco (Zn-0,02%), Ferro (Fe) (AGRODOMUS, 2020);
- Composto 2 (Kit 2): Nitrato de Cálcio.

### **3.2.6 Características dos medidores da solução nutritiva**

Para medição do pH da solução, foi utilizado pHmetro, da Marca Delfin, para o controle de qualidade da solução (Figura 12).

Foi usado também termômetro de vidro da marca Delfin, com escala graduada de 0 – 40 °C, para monitorar a temperatura da solução nutritiva, uma vez que a mesma não deve ultrapassar 30 °C (Figura 12). De acordo com Alberoni (1998), o ideal para a temperatura da solução é entre 18 a 24 °C.



Figura 12. Aparelhos para avaliação de pH (pHmetro) e de temperatura (termômetro).

Fonte: DELFIN (2020).

### 3.2.7 Características do sistema de bombeamento

Para o sistema de bombeamento, utilizou-se:

- Um reservatório de 100 L, medindo 0,40 cm x 0,65 cm de altura, em PVC, com tampa removível (Figura 13);
- Mangueira preta de plástico para conexão, para a circulação da solução nutritiva desde a bomba até a entrada dos canais de cultivo, com bitola de 3/4;
- Temporizador analógico (timer) da Foxlux, modelo FX TBA, tensão 127-220v e corrente máxima de 10A, utilizado para controlar o tempo de circulação da solução nutritiva. O temporizador foi programado para acionar das 8:00 às 18:00 horas, com 15 minutos de circulação e 15 minutos de descanso, e após às 18:00 até às 8:00 horas foi programado para acionar com 15 minutos de circulação a cada 2 horas de descanso (Figura 13).



Figura 13. Reservatório para solução nutritiva / mangueira e programação do temporizador.

O sistema foi projetado para a circulação da solução nutritiva, objetivando o desenvolvimento nutricional das plantas de alface. Essa solução nutritiva circula por meio da bomba de água do reservatório entre os canais e retornava ao reservatório, completando o ciclo da solução.

Foi utilizada uma bomba submersível Atman AT-306. A bomba foi totalmente selada, com injeção de resina plástica, adicionando segurança completa contra choques elétricos, mesmo quando submersas em água, (Figura 14). As especificações técnicas do equipamento estão na Tabela 7.



Figura 14. Bomba submersa At-306.  
Fonte: ATMAN (2020).

Tabela 7. Especificações Técnicas Bomba At-360

<b>Especificações Técnicas</b>	
Marca	Atman
Modelo	At – 306
Vazão	2000 L/H
Elevação	2m coluna d'água
Tensão	127V
Consumo	35,5W
Tipo	Recalque
Dimensões	11 x 7,1 x 8,5 cm
Motor	Oil Free

Fonte: ATMAN (2020).

### 3.2.8 Características do sistema fotovoltaico

O sistema fotovoltaico foi composto por um conjunto de 2 módulos fotovoltaicos da Solartec, com células de silício policristalino protegidas por camada de vidro temperado, modelo KS50, moldura em alumínio. Cada módulo possuía potência nominal de 50 Wp e tensão nominal de 12 V (Figura 15). As especificações técnicas do sistema fotovoltaico constam na Tabela 8.



Figura 15. Painel fotovoltaico modelo KS50.  
Fonte: SOLARTEC (2020).

Tabela 8. Especificações Técnicas do Módulo Solar KS50

<b>Especificações Técnicas</b>	
Modelo	KS50
Potência Máxima (P <sub>máx</sub> )	50 Wp
Tensão de Máx. Potência	16,7 V
Corrente de Máx. Potência	3,00 A
Tensão de Circuito Aberto	21,5 V
Corrente de Curto Circuito	3,10 A
Dimensões	1280 x 344 x 36 mm

Fonte: SOLARTEC (2020).

Para mensurar a radiação solar, foi utilizado piranômetro portátil da Instrutherm modelo MÊS-100. Essa coleta foi efetivada em dois horários do dia, as 13:00 e 17:00 horas, em período de 32 dias. O componente sensor de radiação solar empregado neste instrumento é um detector fotovoltaico de silício de alta estabilidade (Figura 16). As especificações técnicas do produto estão salientadas na Tabela 9.



Figura 16. Medidor de radiação solar Mes-100.  
Fonte: INSTRUTHERM (2020).

Tabela 9. Especificações Técnicas Piranômetro Mes-100

<b>Especificações Técnicas</b>	
Irradiância Máxima	2000 W/m <sup>2</sup>
Faixa Espectral	Ampla
Faixa de Temperatura	-10 a + 60 °C
Alimentação	4 pilhas AAA
Largura	64 (A) mm
Comprimento	111 (C) mm
Peso Aprox.	165 g
Memória de Dados	99 Posições

Fonte: INSTRUTHERM (2020).

Para medição da corrente (A) na saída do módulo fotovoltaico, foi utilizado um alicate amperímetro digital (multímetro), da Minipa, modelo Et-3880, essa medição foi realizada em série com circuito do módulo (Figura 17). Suas especificações técnicas estão descritas na Tabela 10.



Figura 17. Amperímetro alicate ET- 3880.  
Fonte: MINIPA (2020).

Tabela 10. Especificações Técnicas do Amperímetro ET-3880

<b>Especificações Técnicas</b>	
Display	LCD 4 dígitos
Tensão	DC / AC 600V
Corrente	DC / AC 1000 <sup>a</sup>
Frequência	400 MHz
Precisão básica	2%
Abertura da garra	50 mm
Alimentação	1 x 9V

Fonte: MINIPA (2020).

### 3.2.9 Características que compõem o sistema fotovoltaico

#### 3.2.9.1 Inversor

Junto ao painel, o inversor utilizado foi o Xantrex X-Power 700 Plus, de 560 W de potência contínua, com capacidade de pico de 1000 W, proteção de desligamento automático contra sobrecarga, temperatura excessiva e condições de bateria fraca, terminais DC para conexão direta da bateria, tomadas CA aterradas

com dois e três pinos (Figura 18) e suas especificações técnicas estão descritas na Tabela 11.

Sua função foi converter corrente contínua proveniente de baterias para corrente alternada convencional, 110/220Vca.



Figura 18. Inversor Xantrex XPower 700 plus.  
Fonte: NEOSOLAR (2020).

Tabela 11. Especificações Técnicas do Inversor 700 Plus

<b>Especificações Técnicas</b>	
Modelo	700 Plus
Potência de Saída	560 W
Tensão de Máx. Potência	16,7 V
Potência Máx. de Surto	600 W
Vontagem da Saída	120 VAC
Eficiência	90 %
Peso	3 Kg

Fonte: XANTREX (2020).

### 3.2.9.2 Controlador de carga

Controlador de carga com finalidade de conectar e proteger a bateria estacionária e os painéis solares, no sistema Off Grid. O controlador adotado foi o da Centium Energy de 20 A, tecnologia PWM, com sensor interno de temperatura, display de 2 dígitos para fácil ajuste de funções de saída e temporizador, proteção

de sobrecorrente e curto circuito, proteção de conexão de polaridade inversa dos painéis solares ou da bateria, saída com função de desconexão por tensão baixa de bateria (Figura 19). As especificações técnicas do equipamento estão descritas na Tabela 12.



Figura 19. Controlador de carga Victron energy 20A.  
Fonte: NEOSOLAR (2020).

Tabela 12. Especificações Técnicas do Controlador de Carga Energy

<b>Especificações Técnicas</b>	
Modelo	Sc010020020
Tensão da Bateria	20 A
Tensão de energia solar	28 V / 55 V
Autoconsumo	<10 mA
Tecnologia	PWM
Display	2 Dígitos

Fonte: ENERGY (2020).

### 3.2.9.3 Multímetro

Para medição da tensão (V), foi utilizado um multímetro da Minipa, modelo ET-1002, em paralelo (Figura 20). Suas descrições técnicas são apresentadas na Tabela 13.



Figura 20 – Multímetro Minipa.  
Fonte: MINIPA (2020).

Tabela 13. Especificações Técnicas do Multímetro

<b>Especificações Técnicas</b>	
Modelo	ET – 1002
Alimentação	1 x 9V
Peso	130 g
Medições	Tensão (DC e AC) e Corrente DC
Norma	NR-10
Display	3 ½ dígitos

Fonte: MINIPA (2020).

### 3.2.10 Características da bateria

O sistema de armazenamento de energia (baterias) foi utilizado para suprir a demanda em períodos nos quais não há geração de energia ou quando é insuficiente (à noite, em dias nublados e/ chuvosos). O modelo da bateria foi Moura Clean nano 12MF105, com capacidade de 105 Ah (Figura 21), com objetivo de aproveitamento decorrente de energia solar obtendo um projeto

autossustentável. Suas especificações técnicas foram descritas na Tabela 14.



Figura 21. Bateria Moura Clean NANO 12MF105.  
Fonte: MOURA (2020).

Tabela 14. Especificações Técnicas da Bateria Moura Clean

<b>Especificações Técnicas</b>	
Tensão Nominal	12 V
Capacidade	105 Ah
Peso	27,300 Kg
Medidas	330 x 172 x 244 mm
Selo INMETRO	Sim
Modelo	12MF105

Fonte: MOURA (2020).

### 3.3 Métodos

Este trabalho foi realizado para a avaliação do efeito de um sistema de iluminação artificial com lâmpadas de luz vermelha no desenvolvimento e qualidade das plantas de alface. Para isso, foram estabelecidos dois sistemas de cultivo, um com cultivo hidropônico luz natural e outro com lâmpadas de LED vermelhas, com duas variedades de cultivares alface crespa Vera e alface lisa Regiane, com 3 repetições, totalizando 6 unidades

experimentais.

O tratamento (1) de luz artificial vermelha, constaram de 3 canais, com 18 amostras de alface, duas variedades diferentes (Vera e Regiane), sendo 9 amostras de cada variedade.

O tratamento (2) luz natural, constaram de 3 canais com 18 amostras de alface, duas variedades diferentes (Vera e Regiane), sendo 9 amostras de cada variedade.

### 3.3.1 Desenho da estrutura hidropônica

A primeira etapa foi constituída em desenhar o projeto da estrutura para facilitar a montagem. Toda a estrutura do experimento ficou demonstrada com medidas e posição para sua instalação, assim, facilitando sua montagem (Figura 22).

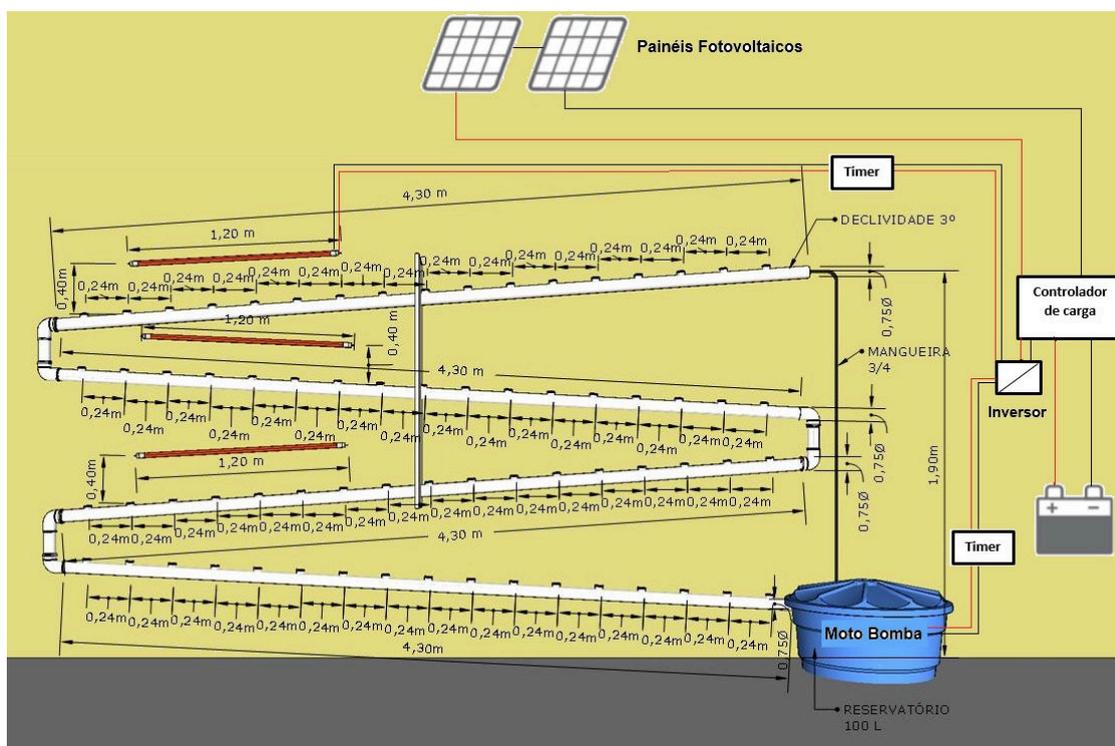


Figura 22. Projeto da estrutura hidropônica.  
Fonte: Daniela Teixeira Guerreiro (2020).

### 3.3.2 Instalação e condução do experimento em sistema hidropônico

Constituiu-se em montar a estrutura do experimento conduzindo no planejamento de instalação e perfuração dos tubos de PVC, no qual foram instalados 3 canais de 75mm, com 18 furos cada um. Para a separação dos tratamentos, foi utilizada uma placa de isopor de 10mm para que não ocorresse interferência com o tratamento em luz natural (Figura 23).

Após o período de 15 dias, as mudas de alface produzidas pelo viveiro Baldissarelli foram transferidas diretamente para os canais definitivos do sistema hidropônico do tipo NFT (fluxo laminar de nutriente), onde permaneceram por 32 dias. As mudas de alface crespa e lisa, apresentando de 4 a 6 folhas, foram alocadas dentro de copos plásticos descartáveis identificados individualmente, com fundo perfurado em círculo, para servirem de sustentação para as mudas.

Os canais constituídos pelos tubos de PVC possuíam 18 furos, com distanciamento de 0,24 m (centro a centro) de um orifício ao outro, mas somente 12 deles foram utilizados, sendo 6 mudas de cada repetição e 3 mudas de cada variedade (Vera e Regiane), totalizando 18 mudas em cada tratamento e 3 repetições.

Para os tratamentos 1 e 2, adotaram-se efetuar medições de luminância com luxímetro digital duas vezes ao dia, nos horários das 13:00 e 17:00 horas, durante o período de 32 dias. As medições serviram para comparar a diferença da intensidade de iluminação entre os dois tratamentos.

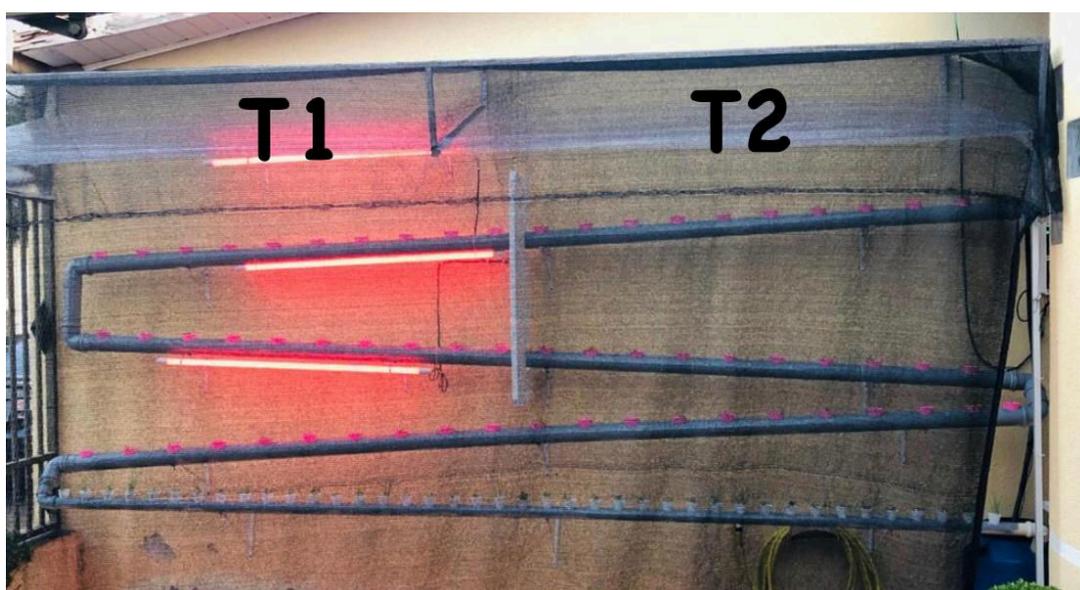


Figura 23. Sistema hidropônico vertical com as lâmpadas de LED vermelha (T1) e com luz natural (T2).

As plantas de alface foram identificadas de acordo com a posição em que se encontravam nos canais, por números e letras (Figura 24). Essa identificação foi para facilitar a coleta de dados de sua respectiva posição, quando se obteve um total de 36 plantas das duas espécies e dos dois tratamentos.

Assim, a simbologia para cada canal referiu-se aos tubos de PVC com as aberturas para a alocação das mudas de alface. O início da circulação da solução nutritiva ocorreu no canal 1, percorrendo o canal 2, 3 e retornando ao início.

As letras **C** e **L** identificavam as espécies de alface, sendo **C** para a variedade crespa Vera e **L** para a variedade lisa Regiane. E a identificação numérica simbolizava a posição na qual as plantas estavam alocadas no canal.

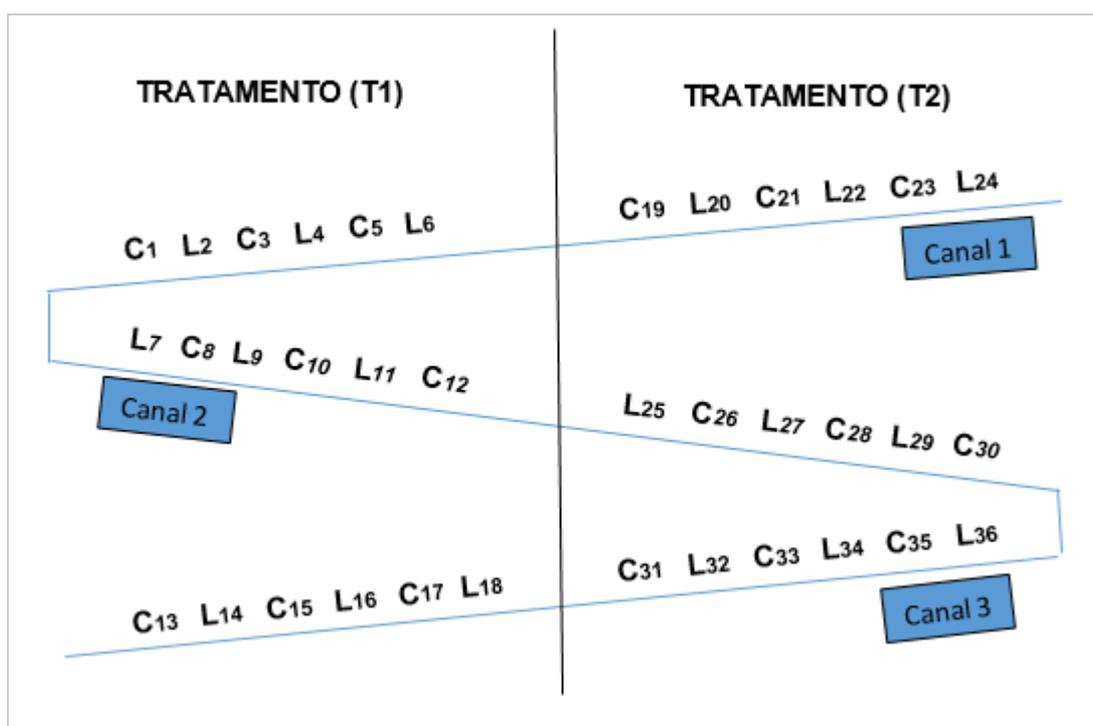


Figura 24. Simbologia de identificação das espécies de alface lisa e crespa e posição numérica de alocação das plantas na estrutura hidropônica vertical.

Assim, cada canal foi constituído por: 2 Tratamentos: com lâmpadas de LED vermelha (T1) e luz natural (T2); 2 Variedades: Vera e Regiane, com 3 repetições (Figura 25).



Figura 25. Disposição dos 2 tratamentos. Variedades de alface lisa e crespa em presença de luz de LED vermelha (T1) e sob luz natural (T2).

### 3.3.3 Determinação da solução nutritiva

O preparo da solução nutritiva para o sistema NFT foi feita com base na recomendação para a cultura da alface (Tabela 2) proposta por Alberoni (1997).

Toda a solução nutritiva foi preparada no reservatório com capacidade de 100 L. Segundo o fornecedor, a recomendação de proporção era para 1.000 L, assim recomendou-se que fosse dissolvido cada composto (1 e 2) em 2 L de água para que os compostos ficassem líquidos. E para cada 1 L de água que se misturasse 2 ml de cada composto. A concentração da solução foi adicionada ao reservatório separadamente, já com 100 L de água, na proporção indicada (Figura 26).

A medida e controle do pH foi realizada diariamente duas vezes ao dia, às 13:00 e 17:00 horas por 32 dias, com intuito de mantê-los entre 5,5 a 6,5. Uma vez que Furlani (2004) afirma que a recomendação do pH deve estar entre 5,5 e 6,5.

O controle da temperatura da solução nutritiva foi mensurado duas vezes ao dia, às 13:00 e 17:00 horas por 32 dias, para que não ultrapasse 30 °C, conforme recomendação de (ALBERONI, 1997).



Figura 26. Composto diluído para preparação da solução nutritiva (1 e 2) e reservatório de 100 L.

### 3.3.4 Determinação da bomba

A estrutura desse sistema contou com uma instalação na forma de sucção afogada, que ficou posicionada ao fundo do reservatório. Seu posicionamento foi do lado oposto ao retorno da solução, para facilitar a circulação.

Já a escolha do modelo ocorreu devido à altura útil de elevação. A elevação desse sistema Hidropônico foi de 1,90 m. Devido ao pequeno percurso, baixa vazão e baixa pressão, foram desconsiderados os acessórios/conexões, usando apenas um conector L.

Em razão da baixa elevação, optou-se por uma bomba que suprisse a elevação de 1,90 m de coluna d'água ou maior que 1,90. A marca Atman AT-306 atende essa especificação, possuindo altura útil de elevação de 2 m de coluna d'água.

### 3.3.5 Determinação da geração fotovoltaica no sistema de hidroponia

O sistema hidropônico NFT foi alimentado por módulo fotovoltaico que operou *Off Grid*, o sistema realizou a recarga da bateria para que atendesse

o consumo durante os períodos em que não houve recarga (dias de chuva, nublado e à noite quando o sistema da moto bomba permaneceu ligado em algum tempo).

A escolha do módulo foi realizada após a medição do consumo de energia do sistema, que foi constituído por 3 lâmpadas de Led e uma moto bomba para a circulação da solução nutritiva.

Após a definição do módulo, foi escolhido um controlador de carga e um inversor, para mensurar os valores de tensão (V) e corrente (A) no modulo fotovoltaico, para determinação da energia gerada pelo sistema.

A inclinação ideal dos painéis fotovoltaicos foi determinada em função da latitude 24°, adotada a instalação para o Norte.

### **3.3.6 Características avaliadas**

Para a avaliação das plantas de alface, todas foram coletadas após 32 dias de desenvolvimento em solução nutritiva nos canais de PVC. As características avaliadas das plantas foram:

Número de folhas (NF); altura da planta (AP); comprimento da raiz (CR); comprimento do caule (CC); diâmetro do caule (DC); massa verde da planta (MVP); massa verde da raiz (MVR); massa verde do caule (MVC); massa seca da planta (MSP); massa seca da raiz (MSR); massa seca do caule (MSC).

As determinações da AP, CR, CC, DC foram realizadas por meio de um paquímetro digital, no qual cada parte da planta foi mensurada em toda sua extensão (Figura 27).



Figura 27. Massa seca da parte aérea das plantas de alface crespa Vera e lisa Regiane.

Para determinação da massa seca da parte aérea, raiz e caule, elas foram cortadas e mensuradas e, posteriormente, foram acondicionadas em sacos de papel Kraft com identificação individual e levadas à estufa com circulação de ar forçado a 60 °C por três dias. Após três dias, as amostras foram retiradas da estufa e pesadas em balança de precisão (Figura 28).



Figura 28. Plantas de alface em saquinhos de papel na estufa e pesagem da parte aérea em balança de precisão.

### **3.3.7 Delineamento experimental**

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (Dic), apresentando 2 tratamentos (sistema com luz vermelha e sistema com luz natural) e 2 espécies de alface (crespa e lisa) com 3 repetições.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (Teste F), sendo as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), utilizando o programa SISVAR 5.0 (FERREIRA, 2007).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 pH da Solução Nutritiva

Os resultados referentes ao pH coletado no período de 32 dias ficaram entre 5,7 e 6,5 (Figura 29). Esses valores corroboram com as recomendações de Furlani (2004), no qual afirma que o ideal é que a solução nutritiva esteja entre 5,5 e 6,5.

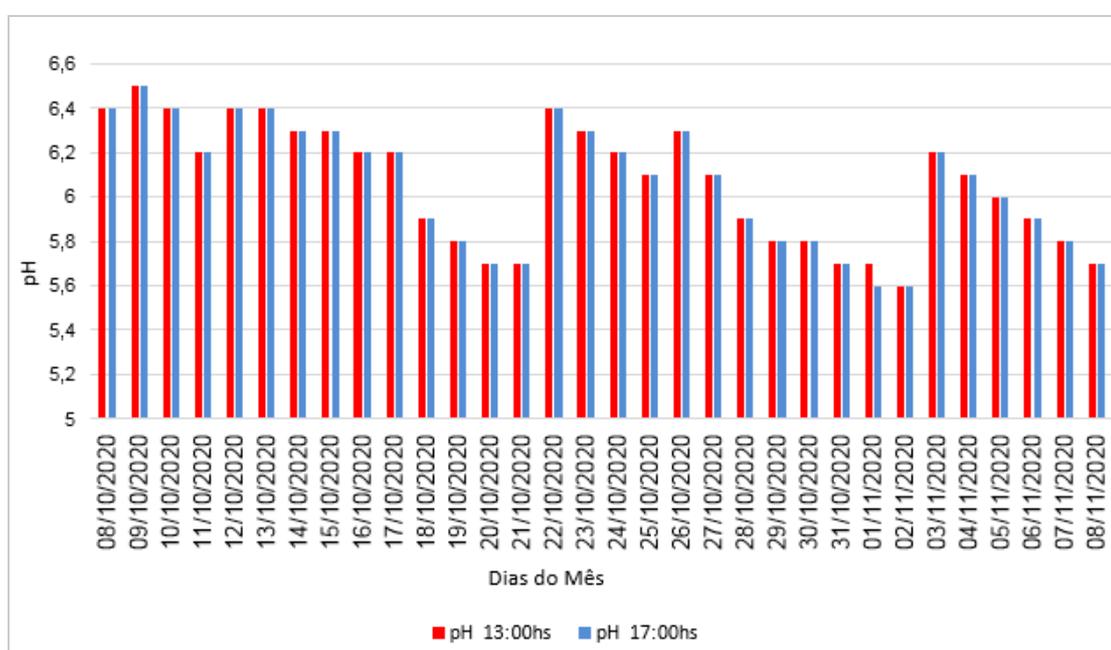


Figura 29. pH da Solução Nutritiva em Hidroponia no período de 08/10 a 08/11/2020 nos horários das 13:00 e 17:00 horas.

### 4.2 Temperatura da Solução Nutritiva

A temperatura da solução nos 32 dias avaliados nem sempre ficou de acordo com o recomendado por Alberoni (1998), que é de 18 a 24 °C (Figura 30).

A temperatura mais baixa foi de 20 °C e a mais alta foi de 30 °C. As temperaturas das 13:00 horas em maior parte dos dias foram mais elevadas que as temperaturas no horário das 17:00 horas.

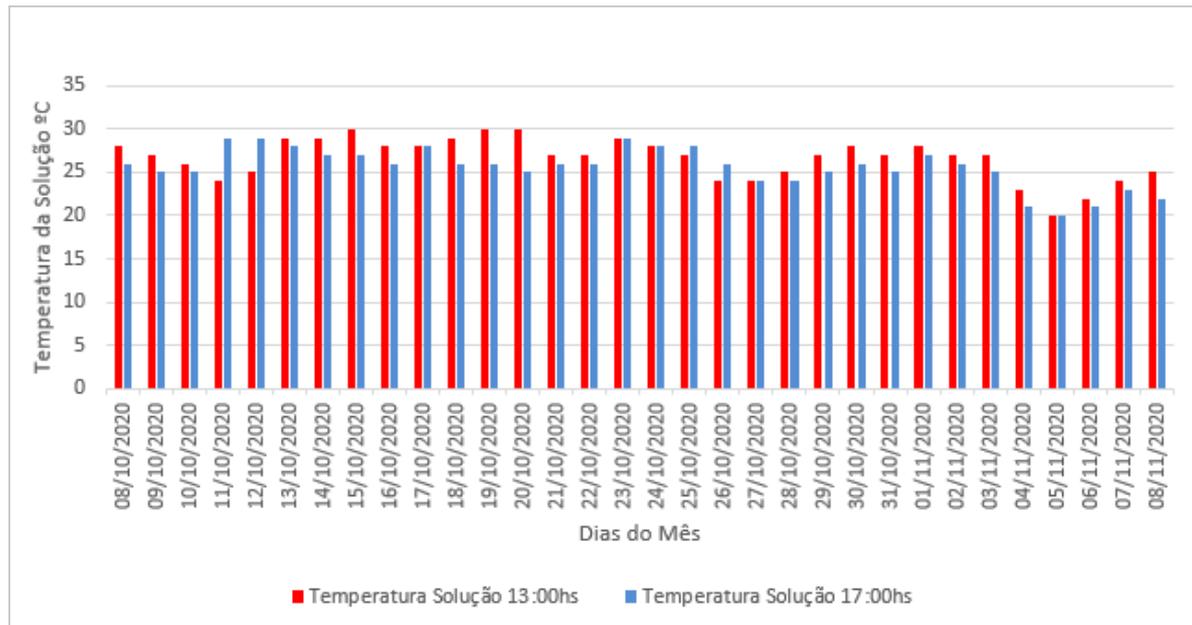


Figura 30. Temperaturas (°C), na Solução Nutritiva no período de 08/10 à 08/11/20 nos horários das 13:00 e 17:00 horas.

### 4.3 Temperatura do Ambiente

As variações de temperatura no ambiente em que a estrutura hidropônica estava instalada, entre o período estudado, ficaram um pouco acima do recomendado por Carruthers (2015), que é de 20 a 22 °C. No estudo proposto, as temperaturas ficaram entre 19,1 e 34,5 °C, mas o mesmo autor relata que, geralmente, as plantas conseguem se desenvolver razoavelmente bem entre temperaturas de 18 a 28 °C.

Nas medições referentes às 13:00 horas, as temperaturas estiveram mais elevadas. Apenas no dia (03/11) a temperatura das 13:00 horas foi menor que a temperatura das 17:00 horas (Figura 31).

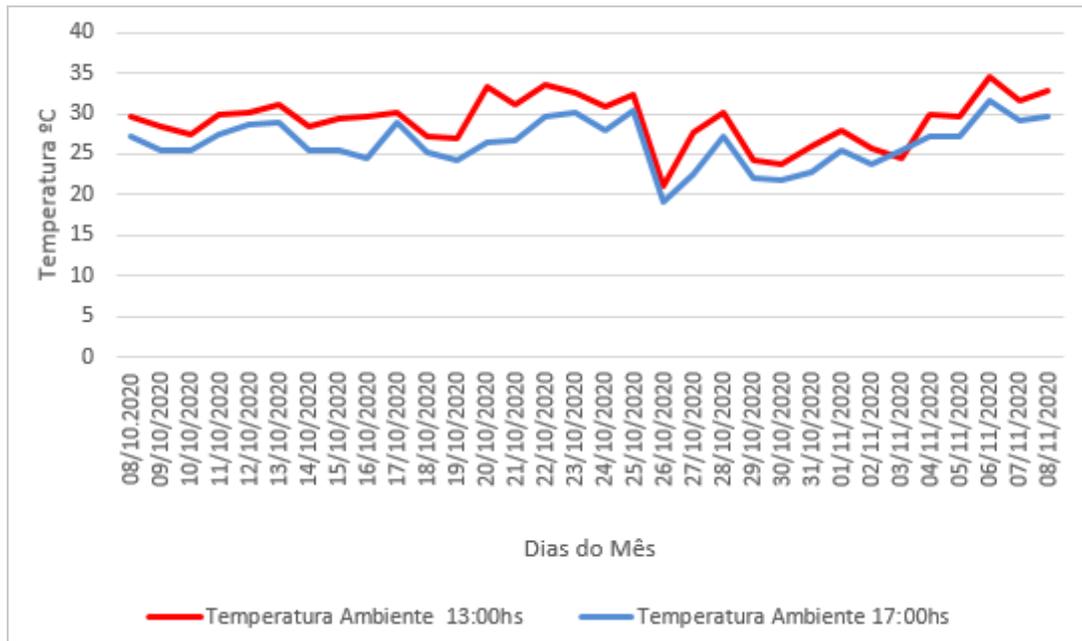


Figura 31. Temperaturas do Ambiente no período de 08/10 a 08/11/20 nos horários das 13:00 e 17:00 horas.

#### 4.4 Umidade do Ar

A umidade do ar nesses trinta e dois dias foi para saber a quantidade de vapor de água presente na atmosfera. As medidas efetuadas em dois horários do dia ficaram entre 26 e 56,5% (Figura 32).

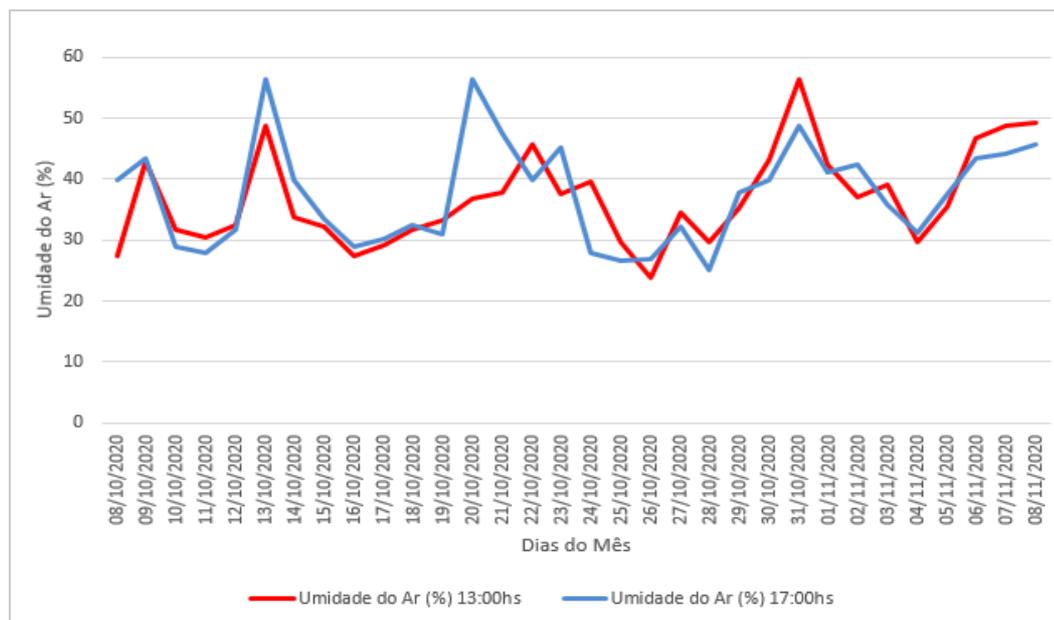


Figura 32. Umidade do Ar no período de 08/10 a 08/11/20 nos horários das 13:00 e 17:00 horas.

## 4.5 Iluminação

A luminância nos dois tratamentos, efetuados todos os dias às 13:00 horas no período de 32 dias, apresentaram os resultados conforme a Figura 33.

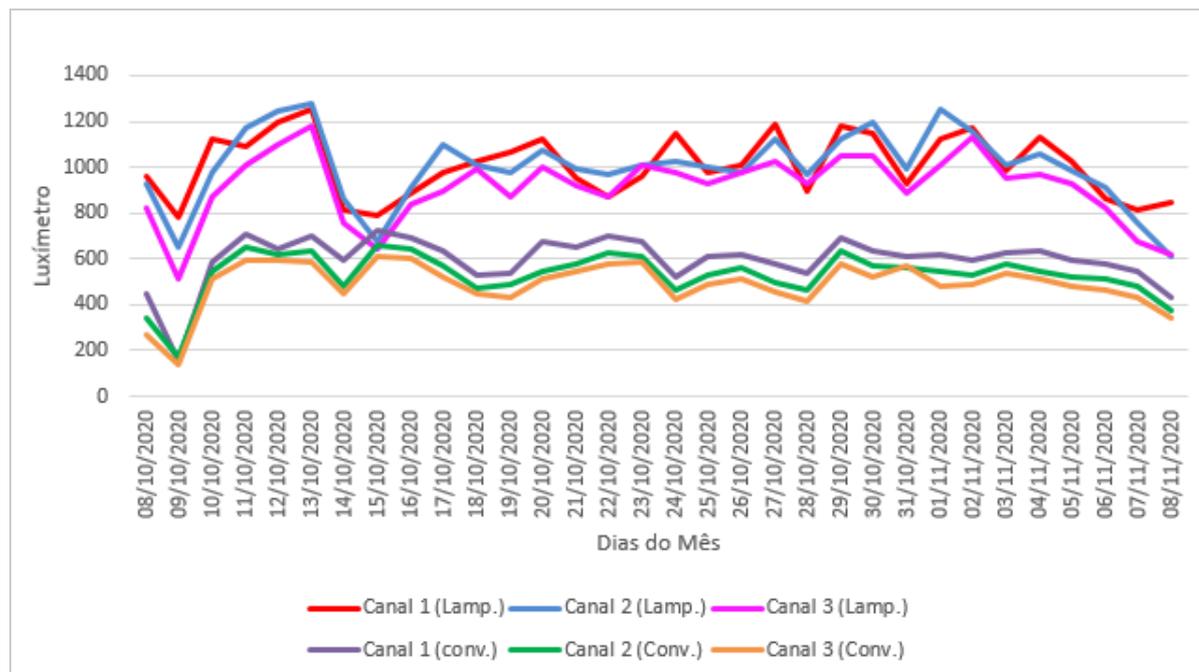


Figura 33. Luminância presente na estrutura hidropônica no período de 08/10 a 08/11/20 no horário das 13:00 horas.

Características das cores:

Canal 1 (tratamento 1): para o tratamento com lâmpadas de LED, as medidas de luminância ficaram em 1.009,46 Lux. Tais medidas estão em cor vermelha na Figura 33;

Canal 2 (tratamento 1): para o tratamento com lâmpadas de LED, as medidas de luminância ficaram em 999,93 Lux. Tais medidas estão em cor azul na Figura 33;

Canal 3 (tratamento 1): para o tratamento com lâmpadas de LED, as medidas de luminância ficaram em 912,53 Lux. Tais medidas estão em cor rosa na (Figura 33);

Canal 1 (tratamento 2): para o tratamento com luz natural, as medidas de luminância ficaram em 596,59 Lux. Tais medidas estão na cor roxa na Figura 33;

Canal 2 (tratamento 2): para o tratamento com luz natural, as medidas de luminância ficaram em 531,59 Lux. Tais medidas estão na cor verde na Figura 33;

Canal 3 (tratamento 2): para o tratamento com luz natural, as medidas de luminância ficaram em 490,34 Lux. Tais medidas estão na cor amarela na Figura 33.

Para o tratamento 1, os resultados coletados ficaram superiores aos dados coletados do tratamento 2.

#### 4.6 Radiação Solar Diária

A radiação solar foi coletada por 32 dias do dia 08/10 a 08/11/20. Os valores mais frequentes de radiação solar no horário das 13:00 horas ocorreram entre 300 e 400  $W/m^2$ , sendo que sua frequência de ocorrência de radiação foi de 46,87%, enquanto as menores incidências foram entre 400 e 500  $W/m^2$ , com uma ocorrência de 21,87% do seu total dos dias estudados. A média dos 32 dias foi de 353,23  $W/m^2$ .

A radiação solar no horário das 17:00 horas foi baixa, chegando em seu total de 100% de sua frequência de ocorrência entre 0 e 99  $W/m^2$  (Figura 34). Os dados já foram corrigidos em relação à inclinação de  $24^\circ N$ , ângulo igual a latitude.

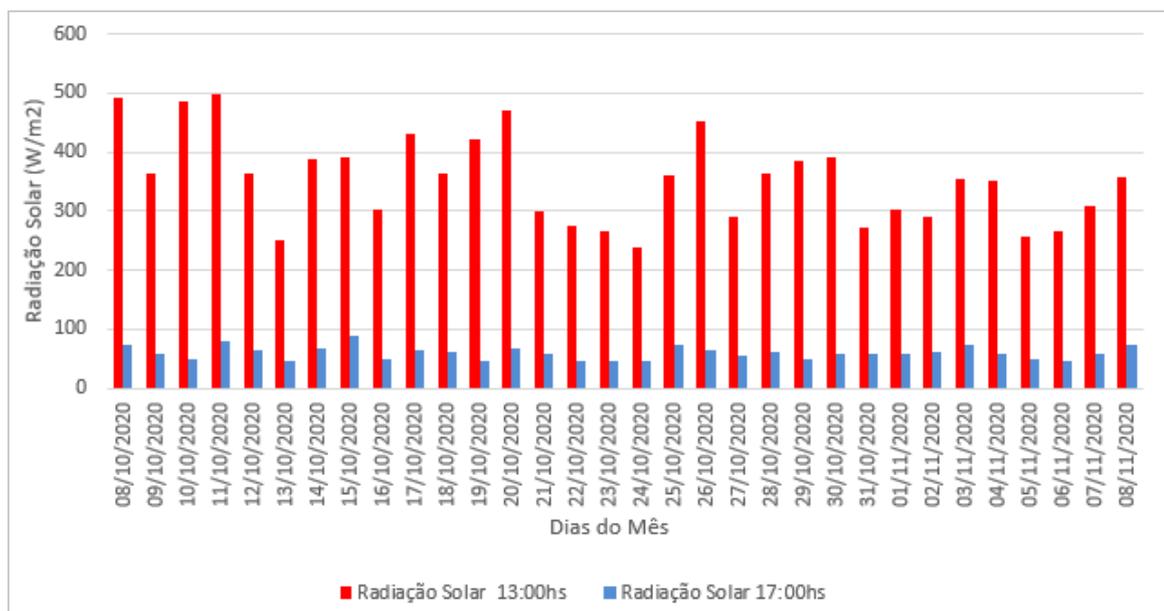


Figura 34. Radiação solar diária no período de 08/10 a 08/11/20 no horário das 13:00 e 17:00 horas.

#### 4.7 Avaliação da Tensão (V) e Corrente (A)

Foram coletados os dados de tensão (V) por 32 dias, do dia 08/10 a 08/11/20. Os resultados obtidos de tensão estão na Figura 35 em cor vermelha para medição no horário das 13:00 horas, pois a força de tensão foi maior no referido horário. Para a medição das 17:00 horas, a tensão foi menor, estando em cor azul na Figura 35.

Para a corrente (A), foi feita medição nos mesmos dias e mesmos horários que a tensão. Para a medição das 13:00 horas, foi alocado na figura (35) em cor violeta, quando seu resultado foi bem superior ao resultado das medições ocorridas às 17:00 horas, em cor roxa na Figura 35.

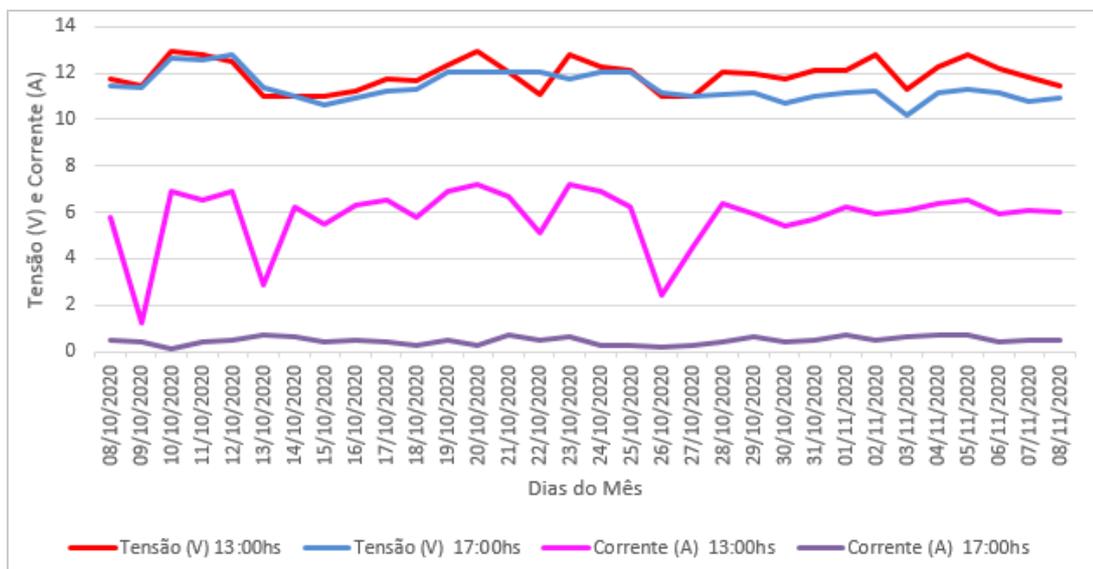


Figura 35. Tensão (V) e corrente (A) diária no período de 08/10 a 08/11/20 no horário das 13:00 e 17:00 horas.

#### 4.8 Desempenho das plantas de alface crespa (Vera) em cultivo hidropônico conduzidas em dois tratamentos, luz de LED vermelha e luz natural

Na Tabela 15, podem ser observadas as características do número de folhas (NF), altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC), comprimento do caule (CC), comprimento da raiz (CR), massa verde da planta (MVP), massa verde do caule (MVC), massa verde da raiz (MVR), massa seca da planta

(MSP), massa seca do caule (MSC), massa seca da raiz (MSR), diferença mínima significativa (DMS) e coeficiente de variação (CV), da variedade crespa (Vera) de alface, conduzidas com lâmpadas de LED vermelha e luz natural.

A alface crespa no cultivo hidropônico em luz vermelha se destacou significativamente em relação à alface crespa em cultivo de luz natural. A alface crespa em luz vermelha apresentou os maiores valores para o NF (27,67), DC (0,95 cm), CR (16,37 cm), MVP (72,04 g), MVC (1,24 g), MVR (21,37 g), MSP (4,96 g), MSC (0,10 g) e MSR (1,00 g). Nos demais parâmetros, não ocorreu diferença significativa entre os dois sistemas de cultivo.

De todas as características avaliadas, 81,81% dos resultados foram significativos para o tratamento com lâmpadas vermelhas complementares de LED na alface crespa.

Foi possível observar que o número de folhas totais foi de 68,87% no tratamento em luz vermelha complementar. Ceccherini et al. (2020) salientam que uma das particularidades importantes da alface é seu número de folhas, visto que é o que se consome da hortaliça. Sendo assim, a variedade que possuir uma característica genética com maior número de folhas vai se destacar perante as demais.

Outros resultados constam no Anexo A.

Tabela 15. Características agrônômicas da variedade de alface crespa (Vera) conduzidas com lâmpadas de LED vermelha e luz natural

Alface crespa	Parâmetros avaliados										
	NF	AP	DC	CC	CR	MVP	MVC	MVR	MSP	MSC	MSR
	Unidade	cm				g					
LV	27,67 A	24,63 A	0,95 A	1,83 A	16,37 A	72,04 A	1,24 A	21,37 A	4,96 A	0,10 A	1,00 A
Natural	17,22 B	24,30 A	0,53 B	2,15 A	12,69 B	45,01 B	0,95 B	13,36 B	2,64 B	0,06 B	0,65 B
Média	22,44	24,47	0,74	1,99	14,53	58,53	1,09	17,36	3,80	0,08	0,82
DMS	2,61	1,77	0,17	0,65	3,48	12,62	0,29	3,66	1,07	0,03	0,22
CV (%)	11,66	7,24	22,83	32,88	23,97	21,58	26,18	21,09	28,34	39,66	26,78

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância

NF: número de folhas, AP: altura da planta, DC: diâmetro do caule, CC: comprimento do caule, CR: comprimento da raiz, MVP: massa verde da planta, MVC: massa verde do caule, MVR: massa verde da raiz, MSP: massa seca da planta, MSC: massa seca do caule, MSR: massa seca da raiz, LV: luz vermelha.

#### **4.9 Desempenho das plantas de alface lisa (Regiane) em cultivo hidropônico conduzidas em dois tratamentos, luz de LED vermelha e luz natural**

Os resultados das análises estatísticas dos dados, relativos às características avaliadas da alface lisa em relação ao crescimento das plantas em dois sistemas, são apresentados na Tabela 16.

Observa-se que, na Tabela 16, o tratamento com lâmpada de LED vermelha favorece o crescimento das plantas, pois a luz vermelha intensificou a clorofila, fotossíntese dando mais energia para seu crescimento em relação à testemunha (sistema luz natural) nas características avaliadas. Wang et al. (2016) ao avaliarem o desenvolvimento da alface em luz vermelha e azul, encontrou que o maior teor de clorofila pode ajudar com uma maior taxa de fotossíntese. Houve diferença significativa para NF (18,11), DC (0,71), CR (16,25), MVP (63,19), MVC (1,02), MVR (18,24), MSP (3,36), MSR (0,87). Esses resultados estão em conformidade com Souza et al. (2019), quando afirmaram que as características agrônômicas mais importantes encontradas para as cultivares de alface são o número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC) e massa verde da planta (MVP). Por essa questão, e com amparo na Tabela 16, verificou-se que as cultivares de alface que receberam a faixa de luz vermelha de LED complementar, tiveram desempenho agrônômico superior, quando comparado com as cultivares de alface que não receberam iluminação complementar.

Em destaque (DC), teve uma diferença entre os tratamentos de 75,24% positivamente para o tratamento com luz vermelha.

O tratamento em luz natural para alface lisa destacou-se 9,09% entre as características avaliadas, pois apresentou correlações superiores significativas a 5%. A característica destacada foi o (CC) com valor de 60,43% superior ao (CC) do tratamento de luz vermelha que atingiu 39,57%. Santos (2020) avaliou que, quanto menor o comprimento do caule, maior é sua tolerância no pendoamento precoce na alface.

A característica da altura da planta (AP) foi uma das que estatisticamente não diferiu entre si. Nos dois tratamentos, Ceccherini et al. (2020) avaliaram que esses resultados estão em conformidade com altura de

alface em sistema hidropônico, pois encontraram a altura das plantas próximas de 23 cm.

Os resultados da análise de variância estão no Anexo B.

Tabela 16. Características agronômicas da variedade de alface lisa (Regiane) conduzidas com lâmpadas de LED vermelha e luz natural

Alface lisa	Parâmetros avaliados											
	NF	AP	DC	CC	CR	MVP	MVC	MVR	MSP	MSC	MSR	
	Unidade	cm					g					
LV	18,11 A	23,51 A	0,71 A	1,78 B	16,25 A	63,10 A	1,02 A	18,24 A	3,36 A	0,07 A	0,87 A	
Natural	11,22 B	23,12 A	0,38 B	2,25 A	11,22 B	30,94 B	0,59 B	10,91 B	1,84 B	0,05 A	0,57 B	
Média	14,67	23,32	0,54	2,02	13,74	47,02	0,81	14,58	2,60	0,06	0,72	
DMS	2,27	1,54	0,09	0,40	3,67	9,49	0,22	2,62	0,74	0,02	0,19	
CV (%)	15,48	6,60	16,20	19,75	26,72	20,21	27,88	18,01	28,65	41,05	26,45	

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância

NF: número de folhas, AP: altura da planta, DC: diâmetro do caule, CC: comprimento do caule, CR: comprimento da raiz, MVP: massa verde da planta, MVC: massa verde do caule, MVR: massa verde da raiz, MSP: massa seca da planta, MSC: massa seca do caule, MSR: massa seca da raiz, LV: luz vermelha.

## 5 CONCLUSÃO

O uso complementar de luz vermelha de LED para o cultivo hidropônico de alface mostrou-se satisfatório, aumentando o crescimento das plantas em quase todas as características avaliadas.

A luz vermelha elevou as características agronômicas em número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC), comprimento da raiz (CR), massa verde da planta (MVP), massa verde do caule (MVC), massa verde da raiz (MVR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca do caule (MSC) e massa seca da raiz (MSR).

Para todas as características avaliadas dessa pesquisa, temos em destaque a alface crespa com 68,87% em seu (NF) e para a alface lisa o destaque foi de 75,24% no (DC) nos tratamentos com luz vermelha, quando comparado com a luz natural.

A análise das plantas indica que a hidroponia com uso complementar de luz de LED vermelha pode funcionar como ativador do fitocromo, fotorreceptor da luz vermelha, que auxiliou no fornecimento de energia para um desempenho melhor nas cultivares (crespa e lisa).

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11704:2008 Sistemas Fotovoltaicos – Classificação**. 2008. Disponível em: <https://energypedia.info/images/temp/d/d2/20140508124638!phpU5v7IA.pdf>. Acesso em: 30 de maio de 2020.

AGRODOMUS. **Solução nutritiva alface**. 2020. Disponível em: <http://www.agrodomus.com/hidroponia.php>. Acesso em: 08 de setembro de 2020.

ALBERONI, R. B. **Hidroponia**. Como instalar e manejar o plantio de hortaliças dispensando o uso do solo. São Paulo: Editora Nobel, 1997.

ATMAN. **Bomba submersa AT-306**. Disponível em: <https://www.aquaricamp.com.br/atman-bomba-submersa-at-306.html>. Acesso em: 12 de agosto de 2020.

BALDISSARELLI, Viveiro. **Características das mudas de alface**. 2020. Disponível em: <https://www.facebook.com/pages/category/Nurseries---Gardening-Store/Baldissarelli-solu%C3%A7%C3%B5es-em-HF-341535836611812/>. Acesso em: 26 de outubro de 2020.

BANDEIRA, F. P. M. **O aproveitamento da energia solar no Brasil – situação e perspectivas**. Brasília: Câmara dos Deputados, 2012. Disponível em: [file:///C:/Users/M/Downloads/aproveitamento\\_energia\\_bandeira.pdf](file:///C:/Users/M/Downloads/aproveitamento_energia_bandeira.pdf). Acesso em: 2 de agosto de 2020.

BAREJA, B. G. **Climatic Factors Promote or Inhibit Plant Growth and Development**. Crop Farming Review, 2011.

BELTRANO, J. et al. **Cultivo em Hidroponia**. La Plata: Universidad Nacional de La Plata, 2015. Disponível em: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/46752>. Acesso em: 27 de junho de 2020.

BERNARDES, A. F. **Épocas e Densidades de Plantio Sobre a Fenologia e Rendimento Econômico da Cúrcuma**. Minas Gerais, 1996.

BEWLEY, L. D., BLACK, M. **Seeds: Physiology of development and germination**. New York: Plenum, p.445, 1994.

BLUESOL, ENERGIA SOLAR. **Livro Digital de Introdução aos Sistema Solares**. 2019. Disponível em: <http://programaintegradoronline.com.br/wp-content/uploads/2016/03/livro-Digital-de-Introdu%C3%A7%C3%A3o-aos-Sistemas-Solares-novo.pdf>. Acesso em: 15 agosto de 2020.

CARRUTHERS, S. **Hydroponic Gardening**. Australia: Casper Publications, 2015.

CARVALHO, S. P.; SILVEIRA, G. S. R. **Cultura da alface**. Departamento Técnico da Emater. 2011.

CARMELLO, Q. A. de C. **Cultivo protegido: hidroponia, manejo e instalações**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, Petrolina: SOB, 1998.

CASTELLANE, P. D.; ARAÚJO, J. A. C. **Cultivo sem solo – hidroponia**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, p.43, 1995.

CECCHERINI, G. et al. Different tray cell volumes for lettuce grown in conventional and hydroponic system. *Cienc. Rural*, Santa Maria, v.50, n.1, e20190491, 2020.

CLEAN ENERGY. **Produtos de energia solar**. 2020. Disponível em: <https://cleanenergy.rio.br/produtos/energia-solar/sistemas-off-grid/>. Acesso em: 14 de julho de 2020.

CRESESB, Cepel. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: [https://http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2004.pdf](https://http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2004.pdf). Acesso em: 08 de dezembro de 2020.

DECORLUX. **Temporizador TE-1163**. 2020. Disponível em: [https://www.americanas.com.br/produto/1378318969?opn=YSMESP&sellerid=18190053000188&WT.srch=1&epar=bp\\_pl\\_00\\_go\\_pla\\_casaconst\\_geral\\_gmv&acc=e789ea56094489dff798f86ff51c7a9&i=5b0b75e7eec3dfb1f890a709&o=5debaa67f8e95eac3d9ee810&gclid=EAlaIqobChMIq6PXjLTa7gIVIoKRCh24yQznEAYYBCABEGKhY\\_D\\_BwE](https://www.americanas.com.br/produto/1378318969?opn=YSMESP&sellerid=18190053000188&WT.srch=1&epar=bp_pl_00_go_pla_casaconst_geral_gmv&acc=e789ea56094489dff798f86ff51c7a9&i=5b0b75e7eec3dfb1f890a709&o=5debaa67f8e95eac3d9ee810&gclid=EAlaIqobChMIq6PXjLTa7gIVIoKRCh24yQznEAYYBCABEGKhY_D_BwE). Acesso em: 15 de agosto de 2020.

DELFIN. pHmetro e Termômetro. 2020. Disponível em: <https://www.mercadolivre.com.br>. Acesso em: 26 de agosto de 2020.

EPSTEIN, E. Sillion. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. v.50, p.641-664, 1999.

FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; VILELA, L. A. **A. Produção de alface em hidroponia**. Lavras: UFLA, p.50, 1996.

FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. **Germinação: Do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artmed, p.323, 2004.

FERREIRA, D. F. SISVAR Versão 5.0. **Departamento de Ciências Exatas**. UFLA, Lavras, MG, 2007.

FILGUEIRA, F. A. R. Novo manual de olericultura: **agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2.ed. Viçosa. UFV. 2007.

FILGUEIRA, F. A. R. Manual de olericultura: **cultura e comercialização de hortaliças**. 3 ed. Viçosa: UFV, p.421, 2008.

FURLANI, P. R. **Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de Hidroponia NFT**. Campinas, Instituto Agrônômico. Boletim técnico, nº168. p.30, 2004.

GREENPRO. Energia fotovoltaica: manual sobre tecnologias, projeto e instalação. 2004. Disponível em: <<http://www.greenpro.de/po/index.htm>>. Acesso em: 12 julho 2018.

GILL, R. **Nutrient Management for Growing Dandelion (*Taraxacum officinale* L.) in Nutrient Film and Deep Flow Hydroponics.** p.62, 2016. Dissertação (Mestre em Ciências em Horticultor ) – University of Arkansa, Fayetteville, 2015. Disponível em: <<http://scholarwors.uark.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3044&contexto=etd>>. Acesso em: 15 junho de 2020.

GOTO, R; TIVELLI, S.W. **Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais.** In: Tivelli, S.W. **Manejo do ambiente em cultivo protegido.** São Paulo: UNESP, 1998. Disponível em: <[http://uemat.br/revistas/rcaa/docs/vol8/8\\_artigo\\_v8.pdf](http://uemat.br/revistas/rcaa/docs/vol8/8_artigo_v8.pdf). Acesso em: 15 junho de 2020.

GOMES, S. M. **Coentro hidropônico sob diferentes condições de cultivo relacionadas à solução nutritiva: temperatura, salinidade e recirculação.** UFRB, engenharia agrícola, 2019.

GOOGLE EARTH. **Projeto Hidroponia.** 2020. Disponível em: [https://www.google.com/search?client=ms-android-samsung&sa=X&hl=pt-BR&biw=360&bih=560&cs=0&sxsrf=ALeKk028LjnLFfxe\\_t5Lx5NUCjB8OfqfEA:1612785748714&q=R.+Arauc%C3%A1ria,+239+-+Parque+Verde&ludocid=13760900024505209117&lsig=AB86z5Xy0MgTiCaF0V0V-OBIN\\_ST&kgs=b142e753daab2543&shndl=-1&source=sh/x/kp/local&entrypoint=sh/x/kp/local](https://www.google.com/search?client=ms-android-samsung&sa=X&hl=pt-BR&biw=360&bih=560&cs=0&sxsrf=ALeKk028LjnLFfxe_t5Lx5NUCjB8OfqfEA:1612785748714&q=R.+Arauc%C3%A1ria,+239+-+Parque+Verde&ludocid=13760900024505209117&lsig=AB86z5Xy0MgTiCaF0V0V-OBIN_ST&kgs=b142e753daab2543&shndl=-1&source=sh/x/kp/local&entrypoint=sh/x/kp/local). Acesso em: 18 de setembro de 2020.

HENZ, G. P.; SUINAGA, F. A. **Tipos de alface cultivados no Brasil.** Brasília: Embrapa Hortaliças, v. 75, p.7, 2009.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa de orçamentos familiares 2017-2018: análise do consumo alimentar pessoal no Brasil.** Rio de Janeiro: IBGE, p.150, 2017.

INSTRUTHERM. Luxímetro THDL-400. 2020. Disponível em: <https://www.instrutherm.com.br/termo-higro-decibel-luxim-mod-thdl-400-digital-portatil>. Acesso em: 17 de agosto de 2020.

JBL. **Lâmpada LED tubular vermelha.** 2020. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-865421510-impada-tubo-led-t8-18w->

colorida-8-cores-a-escolher-6-pecas-  
\_JM?matt\_tool=26177295&matt\_word=&matt\_source=google&matt\_campaign  
\_BwE. Acesso em: 22 de agosto de 2020.

JESUS FILHO, J. D. **Hidroponia: Cultivo sem solo**. Viçosa-MG: CPT, 2009.

JONES Jr., J. B. **A guide for the hydroponic & soilless culture grower**.  
Portland: Timber Press, p.124, 1983.

KESKINEN, I. A.; BURKE, A.; ANNOUS, B. A. Efficacy of chlorine, acidic  
electrolized water and aqueous chlorine dioxide solutions to decontaminate  
Escherichia coli O157:H7 from lettuce leaves. *International Journal of Food  
Microbiology*. v.132, p.134-140, 2009.

KOLLING, E. M. et al. **Análise operacional de um sistema fotovoltaico de  
bombeamento de água**. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.24, n.3, p.527-  
535, set./dez. 2004.

MALDONADE, I. R.; MATTOS, L. M.; MORETTI, C. L. **Manual de boas  
práticas na produção de Alface**. Brasília, DF, Embrapa Hortaliças, p. 44,  
2014.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; ECHER, M. P. S. **Levantamento dos  
recursos de energia solar no Brasil com emprego de satélite  
geoestacionário: o Projeto Swera**. *Revista Brasileira de Ensaio Físico*, v.26,  
n.2, p.145-159, 2004.

MARTINEZ, P.; EMILIA, H.; SILVA, F. J. B.; **Introdução ao cultivo  
Hidropônico de plantas** – 2.ed – Viçosa :UFV, 2004.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. (2nd edition). London.  
Elsevier Ltd. 1995.

MASCARENHAS, S. P. **Hidroponia**. Irriga Fértil. 2003.

MENÉNDEZ, M. Net production of *Ruppia cirrhosa* in the Ebro Delta. **Aquatic**

**Botany**, v.73, n.2, p.107-113, 2002.

MELO, R. P. et al. **Estudo interdisciplinar para investigar a influência da cor no crescimento de plantas** – UFRPE: Recife, 2013.

MICHELS, R. N. et al. **Avaliação do bombeamento de água em um sistema alimentado por painéis fotovoltaicos**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.29, n.3, p. 370-379, jul./set. 2009.

MINIPA. **Amperímetro alicate ET-3880 e multímetro**. 2020. Disponível em: <https://minipa.com.br>. Acesso em: 24 de setembro de 2020.

MOURA. Bateria Moura Clean Nano 12MF105. 2020. Disponível em: <https://www.moura.com.br/wp-content/uploads>. Acesso em: 16 de setembro de 2020.

NABORS, M. W. **Introdução à Botânica**; São Paulo: Roca, 2012.

NEOSOLAR. Sistemas de Energia e Seus Componentes. 2020. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saibamais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus.componentes>. Acesso em: 27 de junho de 2020.

OLIVEIRA, M. S. **Caracterização de famílias F3 de alface americana quanto à resistência o mildio e aos nematoides das galhas e aspectos comerciais**. 100 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG. 2012.

PAZUCH, F. A. **Desenvolvimento de uma Ferramenta Computacional para o Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos Isolados e Interligados à Rede**. 2017. 104 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste, Cascavel – PR. Fevereiro de 2017. Disponível em: [http://portalpos.unioeste.br/media/File/bruna.silva21/Dissertacao\\_Felix\\_Pazuch.pdf](http://portalpos.unioeste.br/media/File/bruna.silva21/Dissertacao_Felix_Pazuch.pdf). Acesso em: 03 de julho de 2020.

PEREZ, E. L. Hidroponia para o lar. San Jose, C.R.:IICA, 2008.

PORTO, V. C. N. et al. **Fontes e Doses de Matéria Orgânica na Produção da Alface**. Caatinga, Mossoró, RN, Dezembro, 1999.

QUEIROGA, R. C. et al. **Produção da alface em função de cultivares e tipos de tela de sombreamento nas condições de Mossoró**. Horticultura Brasileira, Brasília, v.19, n.3, p.192-196, 2001. Disponível em: <[http://uemat.br/revistas/rcaa/docs/vol8/8\\_artigo\\_v8.pdf](http://uemat.br/revistas/rcaa/docs/vol8/8_artigo_v8.pdf). Acesso em: 15 de junho de 2020.

RADIN, B. et al. Crescimento de cultivares de alface conduzidas em estufa e a campo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, n.2, p.178-181, 2004.

RESENDE, F. V. S.; SAMINÉZ, T. C. O.; VIDAL, M. C.; SOUZA, R. B.; CLEMENTE, F. M. V. **Cultivo de alface em sistema orgânico de produção**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, p.16, 2007.

RESH, H. M. **Cultivos hidropônicos: Nuevas técnicas de producción**. Mundi-prensa: Espanha, 1997. REN21. Renewables 2015: Global Status Report. Paris: GSR, 2015.

REIS, L. B. **Geração de energia elétrica: tecnologia, inserção ambiental, planejamento, operação e análise de viabilidade**. 3. Ed. Barueri: Manole, 2003.

RODRIGUES, L. R. F. **Cultivo pela técnica de hidroponia**. Técnicas de cultivo hidropônico e de controle ambiental no manejo de pragas, doenças e nutrição vegetal em ambiente protegido. Jaboticabal. Funep. 2002.

SALA, F. C; COSTA, C. P. Retrospectiva e tendência da alface cultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 2, p. 187-194, jun. 2012.

SANTOS, C. P. **Desempenho Agrônômico e Teor de Clorofila na Relação com Absorção de Água em Alface**. Araras, SP: UFSC, p. 24-48, 2020.

SANTOS, O. S. dos. **Soluções nutritivas**. In: SANTOS, S. dos S. (Ed.). Hidroponia da alface. Santa Maria, RS: UFSM, p. 72-85, 1998b.

SANTOS, A. et al. **Produção de alface hidropônica**: uma abordagem pela dinâmica de sistemas. Congresso Brasileiro de Sistemas Centro Universitário de Franca Uni-FACEF, 2008.

SEAB/DERAL Secretaria da Agricultura e do Abastecimento – Departamento de Economia Rural do Estado do Paraná. **Olericultura** – Análise da conjuntura agropecuária (2018). Disponível em: [http://agricultura.pr.gov.br/arquivos/file/deral/prognosticos/olericultira\\_2016\\_17.pdf](http://agricultura.pr.gov.br/arquivos/file/deral/prognosticos/olericultira_2016_17.pdf)>. Acesso: 18 de junho de 2018.

SOLARTEC. **Painel fotovoltaico modelo KS50**. Disponível em: <https://solartec.com.br>. Acesso em: 15 de outubro de 2020.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre – RS. 6<sup>o</sup> Edição, Atmed Editora Ltda, 2017.

TERZAGHI, W. et al. Light-Regulated Transcription. Annu. **Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.** v. 46, p. 445-474, 1995.

TEIXEIRA, N.T. **Hidroponia** – uma alternativa para pequenas áreas. Guaíba: Agropecuária, p. 86, 1996.

TONIN, F. S. **Caracterização de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica na Cidade de Curitiba**. 2017. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Curitiba – PR. 2017. Disponível em: [http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2876/1/CT\\_PPGSE\\_M\\_Tonin%2020Fabianna%20Stumpf\\_2017.pdf](http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2876/1/CT_PPGSE_M_Tonin%2020Fabianna%20Stumpf_2017.pdf). Acesso em: 30 de maio de 2020.

TOSMALQUIN, M. T. **Fontes Renováveis de Energia no Brasil** – Rio de Janeiro: Interciência: GENERGIA, p. 240-304, 2003.

UMinho. **Exemplos de células solares**. Universidade de Minho, Portugal, 2018. <http://www.fisica.uminho.pt/>. Acesso em: 15 de junho de 2020.

URBANETZ JUNIOR, J. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e**

**análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade.** 2010. 189 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis – SC, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/94284>. Acesso em: 05 de junho de 2020.

WANG, J. Et al. Leaf morphology, photosynthetic, performance, chlorophyll fluorescence, stomatal development of lettuce (*Lactuca sativa* L.) exposed to diferente rations of red light to blu light. **Frontiers in Plant Science**. Pág. 1-10. 2016

## ANEXO A – RESULTADOS SISVAR COM LÂMPADAS DE LED VERMELHA E LUZ NATURAL EM ALFACE CRESPA

Arquivo analisado:

Dados Dani\Alface crespa.DBF

---

**Variável analisada: NF**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

---

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LUZ	1	490.888889	490.888889	71.692	0.0000
erro	16	109.555556	6.847222		
Total corrigido	17	600.444444			
CV (%) =	11.66				
Média geral:	22.4444444	Número de observações:	18		

---

Teste Tukey para a FV LUZ

DMS: 2.61497429424666 NMS: 0.05

Média **harmônica** do número de repetições (r): 9  
 Erro padrão: 0.872239914894866

---

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	17.222222	a1
1	27.666667	a2

---



---

**Variável analisada: AP**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

---

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LUZ	1	0.500000	0.500000	0.159	0.6951
erro	16	50.220000	3.138750		
Total corrigido	17	50.720000			
CV (%) =	7.24				
Média geral:	24.4666667	Número de observações:	18		

---

Teste Tukey para a FV LUZ

DMS: 1.77047001332069 NMS: 0.05

Média **harmônica** do número de repetições (r): 9  
 Erro padrão: 0.590550590550886

---

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	24.300000	a1
1	24.633333	a1

---

**Variável analisada: CR**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LUZ	1	61.235556	61.235556	5.048	0.0391
erro	16	194.104444	12.131528		
Total corrigido	17	255.340000			
CV (%) =	23.97				
Média geral:	14.5333333	Número de observações:		18	

Teste Tukey para a FV LUZ

DMS: 3.48071096263572 NMS: 0.05

Média **harmônica** do número de repetições (r): 9  
Erro padrão: 1.16101142581122

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	12.688889	a1
1	16.377778	a2

**Variável analisada: DC**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LUZ	1	0.802222	0.802222	27.769	0.0001
erro	16	0.462222	0.028889		
Total corrigido	17	1.264444			
CV (%) =	22.83				
Média geral:	0.7444444	Número de observações:		18	

Teste Tukey para a FV LUZ

DMS: 0.169853942529797 NMS: 0.05

Média **harmônica** do número de repetições (r): 9  
Erro padrão: 0.0566557723732532

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	0.533333	a1
1	0.955556	a2

**Variável analisada: CC**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LUZ	1	0.467222	0.467222	1.086	0.3128
erro	16	6.882222	0.430139		
Total corrigido	17	7.349444			
CV (%) =	32.88				
Média geral:	1.9944444	Número de observações:		18	

Teste Tukey para a FV LUZ

DMS: 0.655412269229846 NMS: 0.05

Média harmônica do número de repetições (r): 9

Erro padrão: 0.218616581888344

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
1	1.833333	a1
2	2.155556	a1

**Variável analisada: MVR**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LUZ	1	288.640356	288.640356	21.520	0.0003
erro	16	214.599156	13.412447		
Total corrigido	17	503.239511			
CV (%) =	21.09				
Média geral:	17.3622222	Número de observações:		18	

Teste Tukey para a FV LUZ

DMS: 3.65985791758971 NMS: 0.05

Média harmônica do número de repetições (r): 9

Erro padrão: 1.22076693663461

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	13.357778	a1
1	21.366667	a2

**Variável analisada: MVPA**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LUZ	1	3289.416050	3289.416050	20.623	0.0003
erro	16	2552.028311	159.501769		
Total corrigido	17	5841.444361			
CV (%) =	21.58				
Média geral:	58.5272222	Número de observações:		18	

Teste Tukey para a FV LUZ

DMS: 12.6209767078679 NMS: 0.05

Média harmônica do número de repetições (r): 9

Erro padrão: 4.2098003310324

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	45.008889	a1
1	72.045556	a2

**Variável analisada: MVC**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LUZ	1	0.384272	0.384272	4.684	0.0459
erro	16	1.312556	0.082035		
Total corrigido	17	1.696828			
CV (%) =	26.18				
Média geral:	1.0938889	Número de observações:		18	

Teste Tukey para a FV LUZ

DMS: 0.286225991544282 NMS: 0.05

Média harmônica do número de repetições (r): 9

Erro padrão: 0.0954723474928865

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	0.947778	a1
1	1.240000	a2

**Variável analisada: MSR**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LUZ	1	0.554756	0.554756	11.349	0.0039
erro	16	0.782089	0.048881		
Total corrigido	17	1.336844			
CV (%) =	26.78				
Média geral:	0.8255556	Número de observações:		18	

Teste Tukey para a FV LUZ

DMS: 0.220941999104432 NMS: 0.05

Média harmônica do número de repetições (r): 9  
Erro padrão: 0.0736964913649637

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	0.650000	a1
1	1.001111	a2

**Variável analisada: MSPA**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LUZ	1	24.290450	24.290450	20.940	0.0003
erro	16	18.560444	1.160028		
Total corrigido	17	42.850894			
CV (%) =	28.34				
Média geral:	3.8005556	Número de observações:		18	

Teste Tukey para a FV LUZ

DMS: 1.07632742678426 NMS: 0.05

Média harmônica do número de repetições (r): 9  
Erro padrão: 0.359015285619766

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	2.638889	a1
1	4.962222	a2

---

**Variável analisada: MSC**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

---

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

---

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LUZ	1	0.006422	0.006422	6.207	0.0241
erro	16	0.016556	0.001035		
Total corrigido	17	0.022978			
CV (%) =	39.66				
Média geral:	0.0811111	Número de observações:		18	

---

Teste Tukey para a FV LUZ

---

DMS: 0.032145641778805 NMS: 0.05

---

Média harmônica do número de repetições (r): 9  
 Erro padrão: 0.010722366147566

---

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	0.062222	a1
1	0.100000	a2

---

## ANEXO B – RESULTADOS SISVAR COM LÂMPADAS DE LED VERMELHA E LUZ NATURAL EM ALFACE LISA

Arquivo analisado:

Dados Dani\Alface Lisa.DBF

**Variável analisada: NF**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LUZ	1	213.555556	213.555556	41.445	0.0000
erro	16	82.444444	5.152778		
Total corrigido	17	296.000000			
CV (%) =	15.48				
Média geral:	14.666667	Número de observações:	18		

Teste Tukey para a FV LUZ

DMS: 2.26845892126932 NMS: 0.05

Média harmônica do número de repetições (r): 9

Erro padrão: 0.756657692882013

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	11.222222	a1
1	18.111111	a2

**Variável analisada: AP**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LUZ	1	0.680556	0.680556	0.287	0.5994
erro	16	37.924444	2.370278		
Total corrigido	17	38.605000			
CV (%) =	6.60				
Média geral:	23.316667	Número de observações:	18		

Teste Tukey para a FV LUZ

DMS: 1.53854369572129 NMS: 0.05

Média harmônica do número de repetições (r): 9

Erro padrão: 0.513190215739607

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	23.122222	a1
1	23.511111	a1

**Variável analisada: CR**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LUZ	1	114.005000	114.005000	8.457	0.0103
erro	16	215.677778	13.479861		
Total corrigido	17	329.682778			
CV (%) =	26.72				
Média geral:	13.7388889	Número de observações:		18	

Teste Tukey para a FV LUZ

DMS: 3.6690440118145 NMS: 0.05

Média harmônica do número de repetições (r): 9

Erro padrão: 1.22383101189626

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	11.222222	a1
1	16.255556	a2

**Variável analisada: DC**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LUZ	1	0.500000	0.500000	64.286	0.0000
erro	16	0.124444	0.007778		
Total corrigido	17	0.624444			
CV (%) =	16.20				
Média geral:	0.5444444	Número de observações:		18	

Teste Tukey para a FV LUZ

DMS: 0.0881328831826841 NMS: 0.05

Média harmônica do número de repetições (r): 9

Erro padrão: 0.0293972367896066

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	0.377778	a1
1	0.711111	a2

**Variável analisada: CC**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LUZ	1	1.027222	1.027222	6.476	0.0216
erro	16	2.537778	0.158611		
Total corrigido	17	3.565000			
CV (%) =	19.75				
Média geral:	2.0166667	Número de observações:		18	

Teste Tukey para a FV LUZ

DMS: 0.397994450383549 NMS: 0.05

Média harmônica do número de repetições (r): 9

Erro padrão: 0.13275336828165

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
1	1.777778	a1
2	2.255556	a2

**Variável analisada: MVR**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LUZ	1	241.633472	241.633472	35.045	0.0000
erro	16	110.318356	6.894897		
Total corrigido	17	351.951828			
CV (%) =	18.01				
Média geral:	14.5761111	Número de observações:		18	

Teste Tukey para a FV LUZ

DMS: 2.6240621141179 NMS: 0.05

Média harmônica do número de repetições (r): 9

Erro padrão: 0.875271210173181

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	10.912222	a1
1	18.240000	a2

Variável analisada: MVPA

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LUZ	1	4656.768356	4656.768356	51.578	0.0000
erro	16	1444.561822	90.285114		
Total corrigido	17	6101.330178			
CV (%) =	20.21				
Média geral:	47.0211111	Número de observações:		18	

Teste Tukey para a FV LUZ

DMS: 9.4955098299308 NMS: 0.05

Média harmônica do número de repetições (r): 9

Erro padrão: 3.16728263989617

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	30.936667	a1
1	63.105556	a2

Variável analisada: MVC

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LUZ	1	0.849339	0.849339	16.725	0.0009
erro	16	0.812511	0.050782		
Total corrigido	17	1.661850			
CV (%) =	27.88				
Média geral:	0.8083333	Número de observações:		18	

Teste Tukey para a FV LUZ

DMS: 0.225198179627238 NMS: 0.05

Média harmônica do número de repetições (r): 9

Erro padrão: 0.0751161651817033

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	0.591111	a1
1	1.025556	a2

**Variável analisada: MSR**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LUZ	1	0.423200	0.423200	11.596	0.0036
erro	16	0.583911	0.036494		
Total corrigido	17	1.007111			
CV (%) =	26.45				
Média geral:	0.7222222	Número de observações:		18	

Teste Tukey para a FV LUZ

DMS: 0.190907763984471 NMS: 0.05

Média harmônica do número de repetições (r): 9

Erro padrão: 0.0636783972129084

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	0.568889	a1
1	0.875556	a2

**Variável analisada: MSPA**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LUZ	1	10.412006	10.412006	18.739	0.0005
erro	16	8.890244	0.555640		
Total corrigido	17	19.302250			
CV (%) =	28.65				
Média geral:	2.6016667	Número de observações:		18	

Teste Tukey para a FV LUZ

DMS: 0.744915605352623 NMS: 0.05

Média harmônica do número de repetições (r): 9

Erro padrão: 0.248470941242583

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	1.841111	a1
1	3.362222	a2

-----  
**Variável analisada: MSC**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )  
 -----

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LUZ	1	0.001606	0.001606	2.598	0.1266
erro	16	0.009889	0.000618		
Total corrigido	17	0.011494			
CV (%) =	41.05				
Média geral:	0.0605556	Número de observações:		18	

-----  
 Teste Tukey para a FV LUZ  
 -----

DMS: 0.0248441401133835 NMS: 0.05  
 -----

Média harmônica do número de repetições (r): 9  
 Erro padrão: 0.00828690771676461  
 -----

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	0.051111	a1
1	0.070000	a1