

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM TECNOLOGIAS COMPUTACIONAIS PARA O AGRONEGÓCIO

MARCELO ANDERSON CARLET

**AUTOMAÇÃO DE HORTA HIDROPÔNICA UTILIZANDO
MICROCONTROLADOR ARDUINO
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Medianeira

2020

MARCELO ANDERSON CARLET

AUTOMAÇÃO DE HORTA HIDROPÔNICA UTILIZANDO MICROCONTROLADOR ARDUINO

Hydropower Vegetable Automation Using Arduino Microcontroller.

Dissertação de Mestrado em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Campus Medianeira, como requisito parcial a Obtenção do Título de Mestre.

Orientador(a): Profa. Dra. Carla A. P. Schmidt

Co-Orientador: Prof. Dr. Pedro Luiz de Paula Filho

Medianeira

2020



Esta licença permite o download e o compartilhamento da obra desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-la ou utilizá-la para fins comerciais.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Carlet, Marcelo Anderson
Automação de horta hidropônica utilizando microcontrolador arduino / Marcelo Anderson Carlet. – Medianeira, 2020.
1 arquivo de texto (84 f):PDF/A ; 1.752 KB.

Orientadora: Carla Adriano Pizarro Schmidt
Coorientador: Pedro Luiz de Paula Filho
Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio, Medianeira, 2020.
Inclui bibliografias.

1.Horticultura. 2. Inovações agrícolas. 3. Ciência da Computação - Dissertações. I. Schmidt, Carla Adriana Pizarro, orient. II. Paula Filho, Pedro Luiz de, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio. IV. Título.

Biblioteca da UTFPR - Câmpus Medianeira

Bibliotecária/Documentalista:
Marci Lucia Nicodem Fischborn – CRB-9/1219



Ministério da Educação

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação

Mestrado em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio



TERMO DE APROVAÇÃO

AUTOMAÇÃO DE HORTA HIDROPÔNICA UTILIZANDO MICROCONTROLADOR ARDUINO

Por

Marcelo Anderson Carlet

Esta Dissertação de Mestrado foi apresentada no dia 25 de junho 2020 como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado para elaboração da dissertação.

Profa. Dra. Carla Adriana Pizarro Schmidt
UTFPR – Câmpus Medianeira
(Orientadora)

Prof. Dr. Pedro Luiz de Paula Filho
UTFPR – Câmpus Medianeira
(Co-orientador)

Prof. Dr.
IFPR – Câmpus Foz do Iguaçu
(Banca)

Profa. Dra. Fabiana Schutz
UTFPR – Câmpus Medianeira
(Banca)

Prof. Dr. Pedro Luiz de Paula Filho
UTFPR – Câmpus Medianeira
(Coordenador)

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso-.

AGRADECIMENTOS

À A minha família, pela confiança e motivação.

Aos amigos e colegas, pela força e pela vibração em relação a esta jornada.

Aos professores e colegas de Curso, pois juntos trilhamos uma etapa importante de nossas vidas.

A todos que, com boa intenção, colaboraram para a realização e finalização deste trabalho.

“Se existe uma forma
de fazer melhor, descubra-a.”

Thomas Edison

RESUMO

CARLET, Marcelo A. **Automação de horta hidropônica utilizando microcontrolador Arduino**. 2019. 52p. Dissertação de Mestrado em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

A oferta de alimentos depende muito da expansão agrícola, que é bastante restrita devido a disponibilidade de áreas agrícolas ser limitada. O sistema de cultivo hidropônico apresenta vantagem competitiva e pode ser visto como alternativa para suprir demandas por alimentos no mundo, pois produz com insumos de baixo custo (água e solução nutritiva), reduzindo o espaço territorial e a vantagem nutricional nos vegetais produzidos. Para que as plantas atinjam seus níveis máximos de qualidade e produtividade no sistema de hidroponia, é necessário o máximo de controle sobre o cultivo. Isso é possível de ser realizado através de microcontroladores como o Arduino, visando a eficiência produtiva nesse método de cultivo. Sendo assim, o objetivo desse estudo foi automatizar o controle de temperatura e condutividade elétrica da solução hidropônica utilizada no cultivo de alface, com o auxílio de microcontrolador Arduino. Os resultados foram baseados na comparação da qualidade e produtividade das plantas cultivadas sob variação de temperatura da água, proveniente de dois diferentes tratamentos, com as propriedades da solução nutritiva utilizada no cultivo de alface hidropônica, sendo acompanhadas e controladas.

Palavras-chave: *Lactuca sativa*. Tecnologias Computacionais. Agricultura.

ABSTRACT

CARLET, Marcelo A. **Hydropower vegetable automation using Arduino microcontroller**. 2019. 52p. Dissertation Master in Computational Technologies for Agribusiness - Federal Technological University of Paraná.

The supply of food depends greatly on agricultural expansion, which is rather restricted because the availability of agricultural areas is limited. The hydroponic cultivation system has a competitive advantage and can be seen as an alternative to supply demands for food in the world, because it produces with low cost inputs (water and nutrient solution), reduced territorial space and nutritional advantage in the vegetables produced. For plants to reach their maximum levels of quality and productivity in the hydroponics system, maximum control over cultivation is necessary. This is possible through microcontrollers such as Arduino, aiming at productive efficiency in this cultivation method. Thus, the objective of this study was to automate the temperature and electrical conductivity control of the hydroponic solution used in the cultivation of lettuce, with the aid of an Arduino microcontroller. The results of this study were based on the comparison of the quality and productivity of the plants grown under water temperature variation from two different treatments with the nutrient solution properties used in the hydroponic lettuce cultivation being monitored and controlled.

Key-words: *Lactuca sativa*. Computer Technologies. Agriculture.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Sistema com solução nutriente ventilada de crescimento hidropônico, feito com bomba de ar de aquário, de modo que o ar possa ser impulsionado pela solução nutriente	19
Figura 2. Arranjo típico de um sistema NFT fechado em que a solução nutriente é bombeada de um tanque de armazenamento na calha NFT inclinada e então pela gravidade a solução nutriente flui para trás no tanque de armazenamento	20
Figura 3. Arranjo típico dos sistemas DFT a esquerda e NFT a direita	21
Figura 4. Diagrama esquemático de um sistema aeropônico	21
Figura 5. Componentes do sistema de Hardware	25
Figura 6. Ilustração da instalação dos componentes do sistema	26
Figura 7. Arquitetura geral do sistema automatizado de plantas com nutrição hidropônica	27
Figura 8. Estrutura dos componentes do experimento	28
Figura 9. Diagrama do processo de automação aquaponics	29
Figura 10. Posicionamento geográfico da estufa e horta hidropônica de alface	33
Figura 11. Classificação climática da região oeste do Paraná	34
Figura 12 - Estufa para horta hidropônica	35
Figura 13. Placa Arduino Uno e cabo medidor de condutividade elétrica	35
Figura 14. Sensor de temperatura DS18B20 e Sensor de temperatura e umidade DHT11	36
Figura 15. Módulo Micro SD Card, Real Time Clock e Relé 5V	36
Figura 16. Válvula Solenóide para Água 110V 180°C	37
Figura 17. Galão de 50 litros	37
Figura 18. Bomba d'água	38
Figura 19. Modelo de perfis de PVC para produção em horta hidropônica	38
Figura 20. Protótipo de coleta de dados com placa Arduino.	39
Fluxograma 1 – Esquema de funcionamento do processo de automação e funcionamento do Arduino	40
Figura 21. Três zonas observadas em um típico gráfico de controle, sendo do meio para as laterais linha de dados estáveis, linha de atenção ou aviso e linha de ação.	

(UCL - Limite Superior, CL – Linha Central e LCL – Limite Inferior).....	49
Figura 22. Produtividade da alface em horta hidropônica automatizada com Arduino, nas 3 épocas de cultivo.....	58
Figura 23 – Avaliação das temperaturas da solução nutritiva da Testemunha nos 3 períodos de cultivo, por meio das ferramentas de Controle Estatístico do Processo.	61
Figura 24 – Avaliação das temperaturas da solução nutritiva do Tratamento nos 3 períodos de cultivo, por meio das ferramentas de Controle Estatístico do Processo.	62

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Interpretação gráfica de Cp e Cpk, mostrando os limites superiores (USL), inferiores (LSL) e limite central (CL) conforme valores encontrados para Cp e Cpk	50
Gráfico 2 – Efeito das interações entre épocas de cultivo nos dois tratamentos de solução nutritiva.	52
Gráfico 3 - Valores de Efeito da Interação entre época e tratamentos.	53
Gráfico 4 – Diferença entre as médias dos níveis do fator	54
Gráfico 5 – Intervalo de segurança entre os níveis de valor, agrupando ciclos como repetições.....	56
Gráfico 6 – Intervalo de segurança entre os níveis de valor das temperaturas sem diferenciar.....	57
Gráfico 7 – Condutividade Elétrica nos 3 ciclos produtivos da alface hidropônica	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidade de sais para o preparo de 1000 litros de solução nutritiva (Furlani <i>et al.</i> , 1999) UFU, Uberlândia, 2004.	41
Tabela 2 – Composição de sais das soluções de ajuste para as aculturas de hortaliças de folhas (Furlani <i>et al.</i> , 1999). UFU, Uberlândia, 2004.	41
Tabela 3 – Composição da solução nutritiva utilizada no estudo, segundo fabricante.	42
Tabela 4 – Média dos caracteres agronômicos da alface em 3 épocas de cultivo	44
Tabela 5 – Resultado de Análise de Resíduo Orgânico	45
Tabela 6. Diretrizes gerais para as medidas de capacidade e performance de processos	50
Tabela 7 - Resultados da ANOVA em esquema fatorial aplicada aos dados de temperatura dentro das três épocas onde foram aplicados os dois tratamentos.	51
Tabela 8 - Valores de Efeito da Interação entre época e tratamentos.	53
Tabela 9 - Tukey comparando as interações entre todos os tratamentos nas diferentes épocas	54
Tabela 10 – Variância das temperaturas nos dois tratamentos agrupando os ciclos de cultivo como repetições	55
Tabela 11 – Teste de Tukey entre os dois tratamentos sem distinção de épocas de produção	55
Tabela 12 – Análise de variância das temperaturas nas três épocas, sem diferenciar o tratamento	55
Tabela 13 – Teste de Tukey entre as épocas sem distinguir os tratamentos	56
Tabela 14 - Resultados da análise de variância dos pesos em gramas das plantas de alface analisadas	57
Tabela 15 - Síntese dos valores da análise descritiva dos pesos em gramas dos pés de alface colhidos sob os dois diferentes sistemas de estocagem da solução nutritiva	58
Tabela 16. Resumo dos resultados da análise de variância em delineamento fatorial, com dois tratamentos e 3 épocas de cultivo, para as 14 características das plantas avaliadas nos experimentos de cultivo hidropônico de alfaces	64
Tabela 17. Valores médios e seus respectivos desvios padrão encontrados para as	

14 variáveis em função das três diferentes épocas de cultivo, a saber Primeira (nov.-dez.), Segunda (dez.- jan.) e Terceira (jan.- fev.).....65

Tabela 18. Valores médios e seus respectivos desvios padrão encontrados para as 14 variáveis em função do tratamento de enterrar o depósito de solução nutritiva e a testemunha onde o depósito foi mantido na superfície do solo, bem como as médias e desvios padrão gerais dos experimentos.66

Tabela 19. Teste de Comparação de Média de Cada experimento individualmente 67

LISTA DE SIGLAS

EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
IAPAR	Instituto Agrônômico do Paraná
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NFT	<i>Nutrient Film Technique</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
WIFI	<i>Wireless Fidelity</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 HIDROPONIA.....	18
2.1.1 Produção de alface em hidroponia	22
2.2 AUTOMATIZAÇÃO DE SISTEMAS PARA HIDROPONIA	25
2.3 A SOLUÇÃO NUTRITIVA PARA CULTIVO	30
3 MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1 METODOLOGIA.....	31
3.1.2 Estrutura Física do Projeto Estufa para Horta Hidropônica	33
3.2 COLETA DE DADOS E ANÁLISES ESTATÍSTICAS	43
3.3.1 Análise de Variância	46
3.3.2 Controle Estatístico e Capacidade dos Processos	48
4. RESULTADOS	51
4.1 ANÁLISE DAS TEMPERATURAS	51
4.2 ANÁLISE DA PRODUTIVIDADE DAS PLANTAS	63
5 CONCLUSÃO	68
REFERÊNCIAS	70
APÊNDICES	77
APÊNDICE A – Código fonte de programação do Arduino para automação de horta hidropônica	78
ANEXO	83
ANEXO A – Resultado de análise foliar de resíduos orgânicos em amostras de alface hidropônica	84

1 INTRODUÇÃO

Em 2017, uma em cada nove pessoas no mundo não teve comida suficiente para levar uma vida saudável. Isso significa que, aproximadamente, 821 milhões de pessoas não tiveram acesso à alimentação de boa qualidade (FAO, 2018). Estimativas apontam ainda que, em 2017, aproximadamente 10% da população mundial esteve exposta à insegurança alimentar grave, o que corresponde a 770 milhões de pessoas (FAO, 2018). Observa-se que, em grande parte, o problema de insegurança alimentar existente é causado pela impossibilidade de algumas classes menos favorecidas terem acesso à alimentos em quantidade e qualidade necessárias para uma alimentação saudável e balanceada.

Estimativas apontam que, na próxima década, o crescimento populacional e a expansão das cidades, o aumento do consumo *per capita* as restrições no uso da terra e os problemas climáticos farão parte dos discursos sobre a incapacidade de atender às necessidades humanas no quesito alimentos. Tudo isso terá por consequência o aumento na busca por alimentos (FAO, 2018).

Segundo a ONU, em 2018, a população urbana chegou à 4,2 bilhões de pessoas. Essa urbanização, associada ao crescimento populacional, poderá trazer mais de 2,5 bilhões de pessoas às áreas urbanizadas até 2050 (ONU, 2018).

A oferta de alimentos depende muito da expansão agrícola, que é bastante restrita devido à disponibilidade de áreas agrícolas ser limitada. O Brasil possui forte potencial de expansão de oferta de alimentos e já se apresenta como grande produtor mundial. Segundo o IBGE, em 2017, os dados preliminares apontaram um total de 350.253.329 hectares de área de terras, dentre esses, aproximadamente 18% são de lavouras permanentes e temporárias, 45,29% são de pastagens e 32,75% são de matas naturais e plantadas.

Nos próximos anos, a produtividade também irá enfrentar restrições. Segundo Cordell *et al.* (2009) destacam que agricultura moderna é dependente de fósforo derivado do fosfato de rocha, que, por não ser um recurso renovável,

poderá ter suas reservas globais p esgotadas em 50 a 100 anos. Outro aspecto importante são as mudanças climáticas. A variabilidade e extremos do clima estão prejudicando a produtividade agrícola, os planos de produção e o cultivo de alimentos, contribuindo assim para a falta de disponibilidade de alimentos (FAO, 2018)

A produção hidropônica pode ser vista como alternativa para suprir as demandas por alimentos no mundo, pois o uso de insumos de baixo custo (água e solução nutritiva), a redução do espaço territorial para o cultivo, bem como o aumento do valor nutricional dos vegetais produzidos são fatores que contribuem para que este cultivo tenha uma grande vantagem competitiva no mercado agrícola. Um dos exemplos é o cultivo de hortaliças em hidroponia, uma técnica que vem se aprimorando e conquistando adeptos no exterior e no Brasil, há vários anos, devido as suas vantagens em relação ao cultivo tradicional do solo, pois é de fácil produção, não depende do clima e pode ser associado a outros tipos de produção, como peixes, onde recebe a denominação de aquaponia.

No cultivo por hidroponia, a temperatura da água desempenha um papel relevante no crescimento e desenvolvimento das plantas, afetando diretamente a sua qualidade e a sua produtividade. (CORTELLA *et al.*, 2014). Roupael *et al.* (2018) explicam que, em condições de estufa, tanto a temperatura ambiente como a temperatura da zona das raízes possuem igual importância para o desenvolvimento das plantas, bem como para a manutenção da qualidade dos vegetais produzidos.

Encontrou-se apenas um trabalho que avaliou a influência da temperatura da água na produção de alface sob cultivo hidropônico de Economakis e Said (2002), e este foi realizado com equipamentos que aqueciam a água diferente do projeto aqui apresentado. Economakis e Said (2002), ao compararem a solução nutritiva utilizada no cultivo hidropônico de alface à temperatura ambiente de 10°C, com soluções aquecidas a 15°C e 20°C, observaram que o aquecimento da solução resultou no aumento do peso fresco da parte aérea, do conteúdo e absorção de água pelas plantas, do número de folhas por planta, apenas o peso seco da raiz foi menor na temperatura de 20°C.

Na primeira parte desse projeto, encontra-se o referencial teórico pesquisado e analisado como parte do processo de pesquisa sobre os dados que foram coletados nesse estudo. A segunda parte, engloba toda a metodologia de pesquisa aplicada ao experimento, bem como a análise dos dados coletados e sua exposição gráfica. A terceira e última parte mostra os resultados obtidos durante todo o processo de estudo desse experimento.

1.1 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

O principal objetivo desse projeto foi automatizar o controle de temperatura e condutividade elétrica da solução hidropônica utilizada no cultivo de alface, com o auxílio de microcontrolador Arduino.

A partir desse objetivo, foi possível elencar outros mais específicos como:

- a) programar o Arduino para coletar e armazenar os dados de temperatura da solução nutritiva e sua condutividade elétrica;
- b) possibilitar que o Arduino mantenha os níveis ideais de condutividade elétrica para a cultura, através da leitura de dados coletados pelos sensores instalados na solução nutritiva;
- c) monitorar a temperatura da solução nutritiva, em dois diferentes tratamentos, a fim de analisar se os resultados se equiparam na produção de alface hidropônica;
- d) analisar estatisticamente os dados de rendimento da cultura a fim de verificar se há diferença entre os tratamentos estudados no experimento.

Dessa forma, nesse projeto de pesquisa, além de acompanhar os dados de condutividade elétrica da solução nutritiva, foi possível levantar dados sobre a temperatura da solução nutritiva e, posteriormente, dados sobre a produtividade das plantas do experimento. O diferencial está na utilização de dois tanques de água distintos: um instalado próximo à horta de alface, em temperatura ambiente; e outro instalado sob a terra, o que possibilitou buscar variações de temperatura diferenciadas para comparar e verificar qual melhor

se adapta à eficiência produtiva das plantas. Os dados de temperatura da água foram controlados também por sensores que armazenaram as informações obtidas para avaliação durante o experimento.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 HIDROPONIA

A hidroponia é uma técnica de cultivo que visa obter produtos com excelente qualidade, sabor e aspectos externos superiores aos obtidos com agricultura tradicional, oferecendo menor risco de contaminações de doenças endêmicas. O cultivo em hidroponia é uma técnica de produção agrícola adequada às exigências de alta qualidade e produtividade com mínimo desperdício de água e nutrientes. Este sistema de cultivo vem crescendo, substancialmente no Brasil e se apresenta como alternativa, proporcionando maior rendimento e qualidade da produção, bem como a redução da ocorrência de doenças (SANTOS *et al.*, p. 107, 2002).

Segundo Van Ginkel *et al.* (2017), frutas e vegetais que são produzidos no sistema hidropônico, apresentam produtividade superior entre 10 a 29 vezes, pois produz várias vezes em períodos de tempo pré-determinados e espaços reduzidos, porém, consomem 30 vezes mais energia do que os vegetais cultivados no método tradicional.

Van Ginkel *et al.* (2017), afirmam ainda que as técnicas de cultivo hidropônico consomem menos água, aproximadamente 8 a 66 vezes menos, do que o cultivo em solo. Além disso, na produção convencional é aplicado 2 vezes mais nitrogênio do que o necessário em cultivo hidropônico.

O cultivo hidropônico, por ser um sistema de produção sem solo e em ambiente fechado, permite obter produtos de qualidade superior ao cultivo de campo. A solução nutritiva e as condições de cultivo variam para cada espécie vegetal, a qual possui diferentes potenciais produtivos e exigências nutricionais (TEIXEIRA, 1996).

Jones Jr. (2005) explica que o controle da qualidade química da solução do solo é muito complexo, e que o fornecimento de solução nutritiva equilibrada pura ou em suportes inertes, tais como areia, cascalho, perlite ou lã de rocha é bem mais simples e seria uma boa alternativa. Buckseth *et al.* (2016),

acrescentam à lista de materiais inertes adequados para o cultivo de plantas a fibra de coco, a serragem e a vermiculita.

Em locais com escassez de água, especialmente nas regiões semiáridas do Brasil, onde existe baixa oferta de água potável, Paulus *et al.* (2012) explica que, mesmo utilizando água salobra no preparo da solução nutritiva e na reposição da lâmina diária evapotranspirada, não foram observados sintomas de deficiência mineral nas plantas. O autor constatou ainda que houve redução do crescimento e do consumo hídrico da alface “Verônica”, devido à salinidade da água, além do aumento significativo nos teores de NaCl nas folhas.

Soares (2007) concluiu que, em hidroponia NFT (*Nutrient Film Technique*), a tolerância à salinidade foi maior do que no solo.

No cultivo com água, as raízes das plantas ficam suspensas em uma solução nutritiva. Jones Jr. (2005) cita três tipos de técnicas de produção: a) Solução nutritiva aerada (*Standard Aerated Nutrient Solution*); b) Filme nutritivo (*Nutrient Film Technique*); e c) Aeroponia.

A técnica de aeração da solução nutritiva, de acordo com Jones Jr. (2005) é a mais antiga e remonta aos anos 1800. Nesse processo, a solução precisa ser renovada a cada 3 a 5 dias, dependendo do número de plantas que estão sendo cultivadas no recipiente. Esse método tem aplicação comercial limitada, embora a alface e algumas ervas já tenham sido cultivadas com sucesso em folhas de isopor, que foram mantidas flutuando em uma solução de nutrientes constantemente aerada (Figura 1)

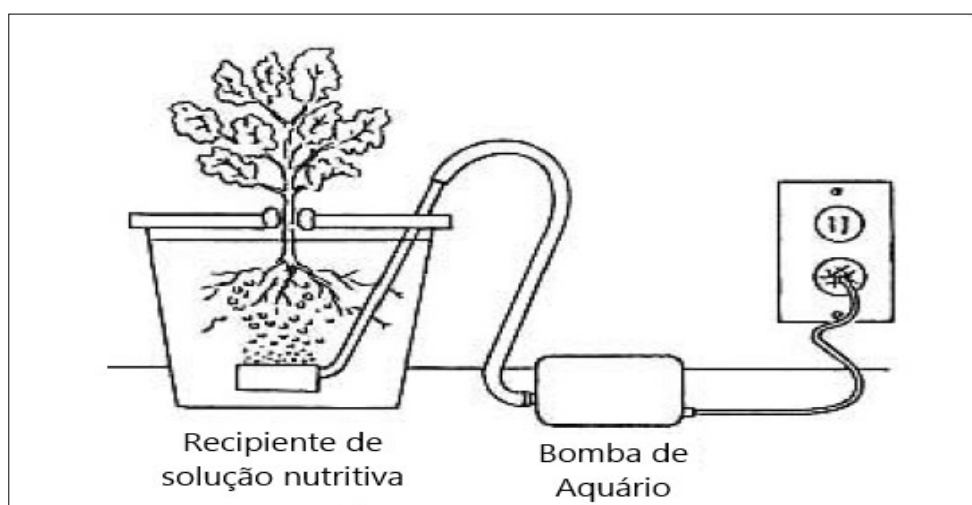


Figura 1. Sistema com solução nutritiva ventilada de crescimento hidropônico, feito com bomba de ar de aquário, de modo que o ar possa ser impulsionado pela solução nutritiva
Fonte: Jones Jr. (2005).

Na técnica NFT (*Nutrient Film Technique*) (Figura 2), as raízes das plantas crescem em um perfil e ficam circundadas por solução aquosa com nutrientes dissolvidos (MOSA; EL-BANNA; GAO, 2016). Jones Jr. (2005), explica que essa técnica surgiu nos anos 70 e funciona em sistema fechado.

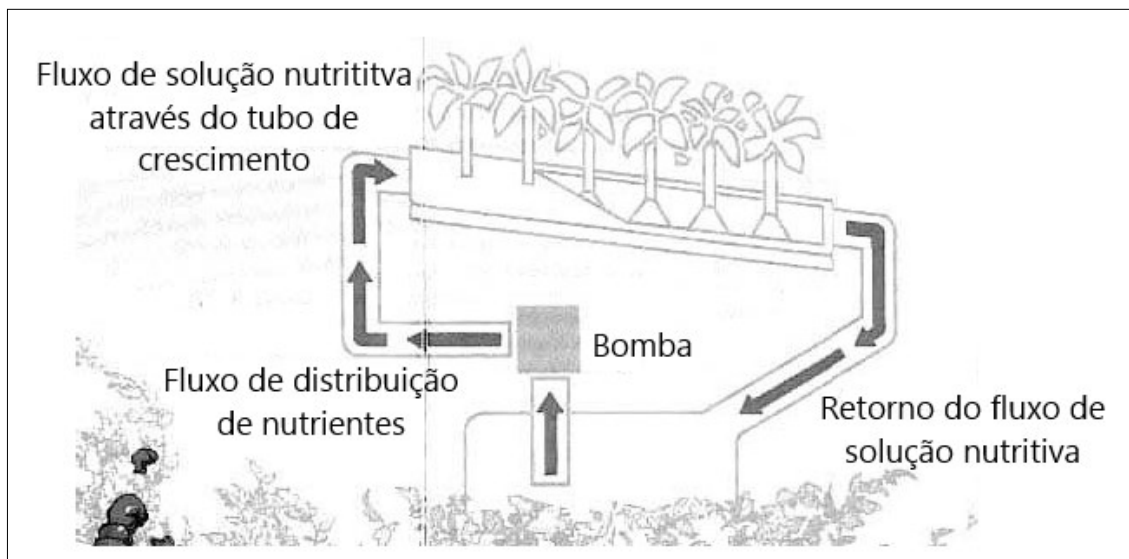


Figura 2. Arranjo típico de um sistema NFT fechado em que a solução nutritiva é bombeada de um tanque de armazenamento na calha NFT inclinada e então pela gravidade a solução nutritiva flui para trás no tanque de armazenamento
 Fonte: Jones Jr. (2005).

Nos sistemas NFT, o fluxo da solução, geralmente, é contínuo com velocidade de $2\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$, mas alguns sistemas são operados intermitentemente fornecendo a solução alguns minutos a cada hora. O propósito do fluxo intermitente é assegurar a aeração adequada dos sistemas radiculares e também reduzir o consumo de energia; mas, sob condições de crescimento rápido, as plantas podem sentir deficiência hídrica se o período do fluxo for demasiadamente curto ou pouco frequente. A temperatura da água nos canais deve estar entre 20 e 25 C (JOHNSON JR, 2018).

Furlani *et al.* (1999) explicam ainda que existem mais dois sistemas semelhantes ao NFT, que são o cultivo na água ou *Floating* e o DFT (*Deep Film Technique*) onde a solução nutritiva forma uma lâmina de 5 a 20 cm sem canais. Possui apenas uma mesa onde a solução é circulada e o sistema com substratos. Esse último sistema é chamado por Johnson Jr, (2018) de *Gravel-bed culture*, como o cascalho retêm pouca água e nutrientes, a solução também precisa ficar circulando periodicamente.

Awad *et al.* (2017), testaram o uso somente da casca de arroz em combinação com perlita, como substratos no cultivo de repolho, endro, malva, alface e outros vegetais, por meio da técnica de filme nutriente. com o uso de substrato. Os pesquisadores observaram que o uso do substrato foi eficiente na redução da contaminação da solução por algas.

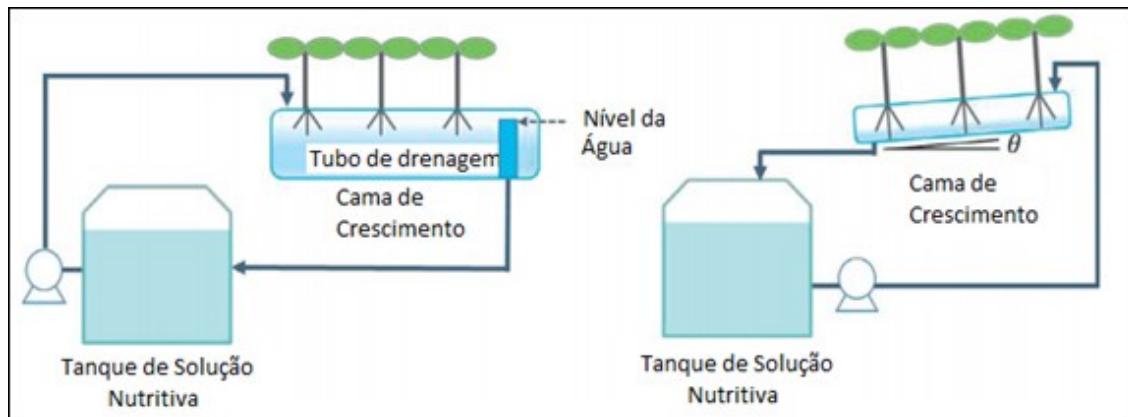


Figura 3. Arranjo típico dos sistemas DFT a esquerda e NFT a direita
 Fonte: Adaptado de Eek Son, Kim e Ahn (2016).

No sistema de aeroponia (Figura 4), um spray de água com nutrientes é fornecido às plantas, sendo que a vantagem dessa técnica é a maior aeração das raízes e a economia de água e nutrientes, porém a frequência de fornecimento da solução e o caráter do aerossol precisam ser bem avaliados, pois são pontos críticos do sistema (JONES JR., 2005).

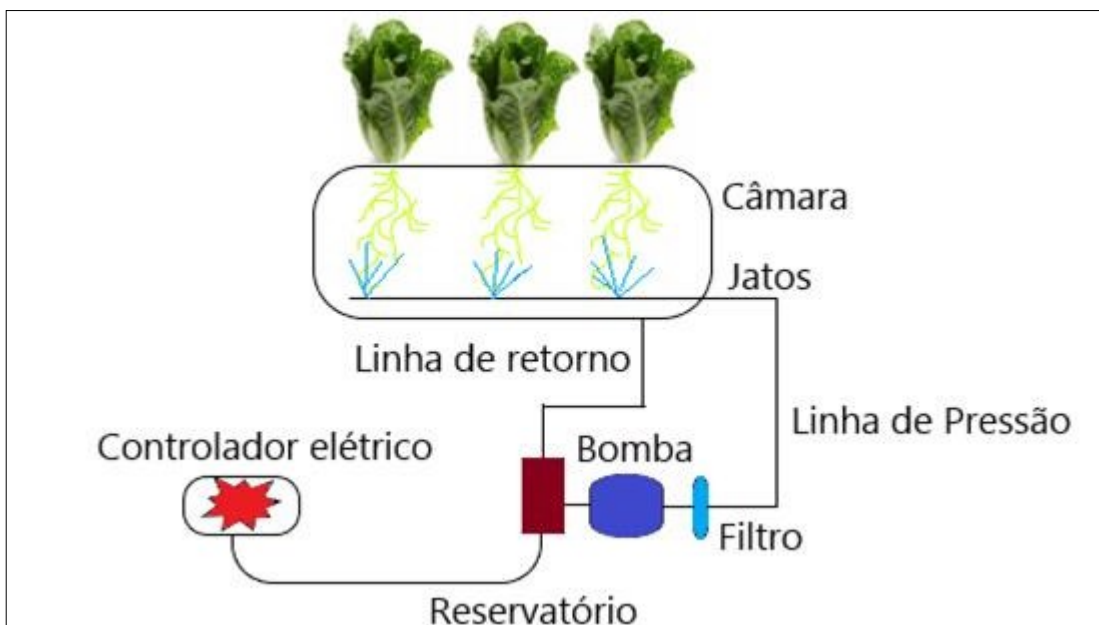


Figura 4. Diagrama esquemático de um sistema aeropônico
 Fonte: Adaptado de Buckseth *et al.* (2016).

O cultivo realizado na cidade de Lyon, na França, em sistemas de hidroponia vertical foi avaliado por Romeo, Vea e Thomsen (2018), em comparação ao cultivo em estufa aquecida e cultivo tradicional em solo e apresentou rendimento mais elevado. Os autores concluíram que a agricultura urbana, em sistemas de hidroponia vertical, foi capaz de aumentar a autossuficiência e a resiliência das cidades, trazendo benefícios sociais e ambientais.

Para Teixeira (1996) a hidroponia possui diversas vantagens, já que pode ser feita em locais áridos e degradados, independe das condições climáticas. O processo de cultivo gera pouco trabalho intensivo como a capina, permitindo antecipação da colheita devido ao curto ciclo de vida da planta e dispensando a rotação de culturas. Além disso, a eficiência na utilização de água e nutrientes traz benefícios ambientais, permitindo maior padrão e controle da produção, reduzindo custos.

Atualmente (início do século XXI), as ameaças à segurança alimentar assombram o futuro da humanidade e aumentam a necessidade de técnicas mais eficientes para a produção de alimentos, para uma população que está em constante expansão. Nesse contexto, o cultivo hidropônico se mostra como um processo interessante, pois é muito eficiente e vem sendo alvo de inúmeras inovações tais como a melhor gestão da solução nutritiva, a biofotificação e a aplicação de bioestimulantes vegetais, a automatização dos controles por meio de sensores, o cultivo vertical e a tecnologia de iluminação LED. Para o futuro, a busca será pelo cultivo em locais remotos, como as regiões polares e até mesmo no espaço (GWYNN-JONES *et al.*, 2018; ROUPHAEL *et al.*, 2018).

2.1.1 Produção de alface em hidroponia

Domingues *et al.* (2012), afirmam que a alface (*Lactuca sativa* L.) é um dos vegetais folhosos mais consumidos, sendo amplamente cultivado em sistemas hidropônicos, porém para que esse sistema funcione, a manutenção da composição e condutividade elétrica da solução nutritiva é muito importante., No entanto, s autores explicam ainda que a manutenção das

características da solução nutritiva são dificultadas pela absorção dos nutrientes pelas plantas, o que ocasiona uma variação contínua, isso posto, percebe-se a necessidade de sistemas de monitoramento e reajuste contínuo dos parâmetros de pH e condutividade elétrica no sistema.

Em geral a condutividade elétrica em cultivos hidropônicos, sem controles automáticos, deve ser ajustada duas vezes por semana ou a cada três dias, com o intuito de reduzir o potencial risco de doenças nas plantas (WORTMAN, 2015).

Ao estudar um sistema de cultivo de alfaces sob Aeroponia, Jie e Kong (1997) perceberam que a manutenção da planta em temperatura ambiente elevada, mas com a zona das raízes em temperatura de 20°C, foi benéfica ao desenvolvimento das plantas, resultando na elevação da produtividade em 20 a 30 %, em relação às plantas que se desenvolveram com as raízes em temperaturas superiores a 20°C.

Wortman (2015) afirma que a manutenção da condutividade elétrica entre 1 e 3 dS m⁻¹ e o pH entre 5,5 e 6 são os mais comuns, variando de acordo com as exigências das diferentes plantas cultivadas. Pantanella et al (2012), ao cultivarem alfaces sob sistema hidropônico utilizaram-se de uma solução nutritiva com condutividade elétrica de 1,7 dS m⁻¹ e pH 5,5.

Pantanella et al (2012) relatam que culturas fertilizadas com alta condutividade elétrica e baixo pH, produzem folhas mais verdes e plantas com maior altura. Os autores afirmam que alfaces que receberam solução nutritiva com condutividade entre 0,4 e 0,5 dS m⁻¹, tiveram perda de 18 % de produtividade.

Monteiro Filho *et al.* (2014), explica em seu experimento sobre hidroponia de alface que atualmente muitos produtores vem ofertando o produto ao consumidor, utilizando somente a massa fresca da planta, ou seja, a alface tem suas folhas destacadas, lavadas e embaladas para serem vendidas. Isso mostra que, na produção hidropônica de alface, o mais relevante são as folhas verdes e não a “cabeça” de alface como é popularmente conhecida. Essa massa fresca se torna então a variável mais importante da produção, pois está diretamente relacionada com a altura da planta e seu aspecto comercial.

Ohse *et al.* (2001) apontaram, em seus experimentos, que a composição nutricional da alface, produzida em sistema hidropônico, pouco difere da alface produzida em solo. Na produção em hidroponia, porém, revelou ter menor valor calórico, menor teor de extrato etéreo e de carboidratos totais, mantendo apenas o teor de proteína. A composição média de 100g de alface hidropônica é formada por 94,6% de água; 0,2g de extrato etéreo; 1,3g de proteína; 1,8g de carboidratos totais e 13,8Kcal de valor calórico. Na produção em solo, são 94% de água; 0,3g de extrato etéreo; 1,3g de proteína; 3,5g de carboidratos totais e 18Kcal de valor calórico.

Para Fu *et al.* (2017), devido à incapacidade do corpo humano em sintetizar e armazenar, em curto prazo, a vitamina C, é necessária uma dieta rica desse nutriente através do consumo diário de alimentos contendo essa vitamina. Os vegetais são parte dessa dieta e responsáveis também pelo fornecimento de 80 % dos nitratos ingeridos pelos seres humanos. Esses nitratos, quando ingeridos em excesso, podem ser prejudiciais à saúde. Comumente, em plantas produzidas em estufas há um maior índice de nitrato e menor de Vitamina C.

, Fu *et al.* (2017), em seus experimentos para tratar os problemas de Vitamina C e nitratos, utilizaram-se de diferentes intensidades de luz e nitrogênio. A partir das análises, os autores constataram que esses são fatores cruciais para a quantidade de Vitamina C e nitrato na alface.

O estudo apontou que a alface apresentou a maior biomassa seca e baixa de nitrogênio na alta iluminação. Isso contribuiu para o acúmulo de vitamina C e diminuição de nitrato em folhas de alface, melhorando a qualidade nutricional do cultivo.

Cortella *et al.* (2014) afirmam que a temperatura de um meio de crescimento tem papel importante no desenvolvimento e na fisiologia das plantas. Por sua vez, as temperaturas podem afetar o crescimento e a qualidade da produção. Nas culturas sem solo (como na hidroponia), este aspecto é relevante quando, na estação do verão ou início da primavera, a solução nutritiva pode ter sua temperatura variando constantemente, afetando a produtividade da planta.

2.2 AUTOMATIZAÇÃO DE SISTEMAS PARA HIDROPONIA

Muitos dos sistemas automatizados de hidroponia disponíveis no mercado são caros e não controlam todos os parâmetros necessários para um crescimento saudável das plantas (PALANDE *et al.*, 2018). Em seus estudos Palande *et al.*, (2018) utilizaram 2 microcontroladores Arduino, um Raspberry Pi (usado para executar um *software* de automação de código aberto chamado Domoticz), *software* de fonte aberta e alguns sensores, criaram um sistema chamado de TITAN SMARTPONICS (FIGURA 5).

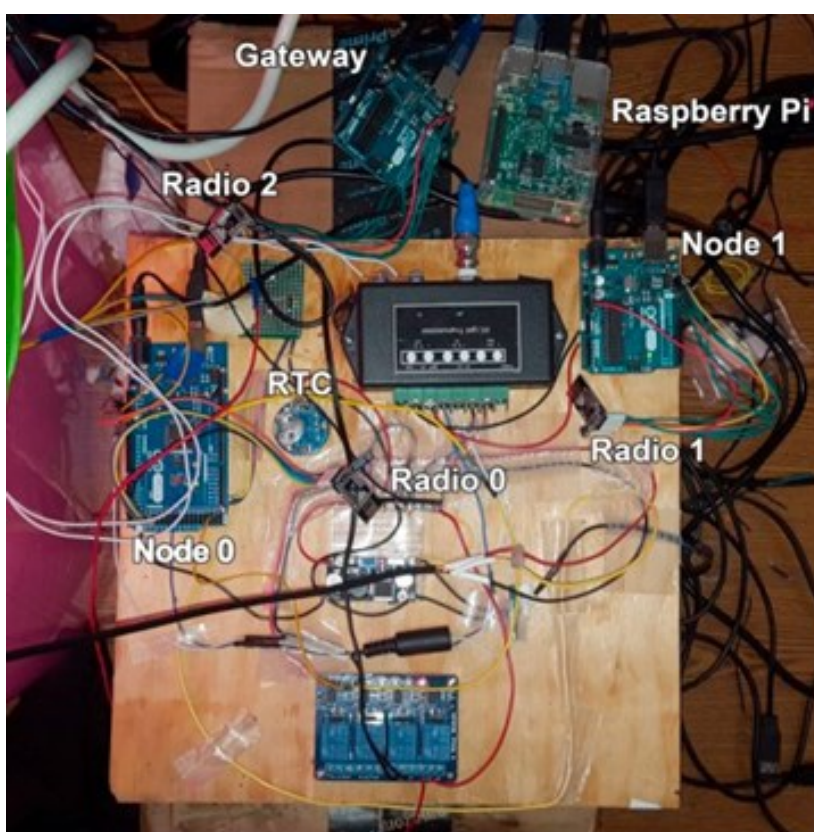


Figura 5. Componentes do sistema de Hardware
Fonte: Palande *et al.* (2018).

Esse sistema, totalmente automatizado, era de baixo custo e de fácil acesso para usuários domésticos quando comparado a outros sistemas. Titan Smartponics provou a sua importância através do seu aspecto completo de automação (controle de pH, temperatura e condutividade elétrica da solução

nutritiva, por exemplo), bem como a sua capacidade de ser pequeno e acessível o suficiente, para uso do consumidor (PALANDE *et al.* 2018).

Em outro experimento, Eridani *et al.* (2017) criaram um sistema capaz de realizar a entrega de água automaticamente, quando o nível de água é menor do que o nível mínimo, e adicionar os nutrientes automaticamente quando a concentração da solução nutritiva for inferior a 800 ppm (parte por milhão). Esse sistema (FIGURA 6), foi concebido através de um centro de controle, utilizando uma placa Arduino UNO R3, um sensor de proximidade SHARP GP2Y0A21 utilizado para perceber o nível de água, um sensor TDS (*Total Dissolved Solid*) utilizado como detector de condutividade elétrica na solução nutritiva e um motor usado para abertura do recipiente de solução nutritiva.

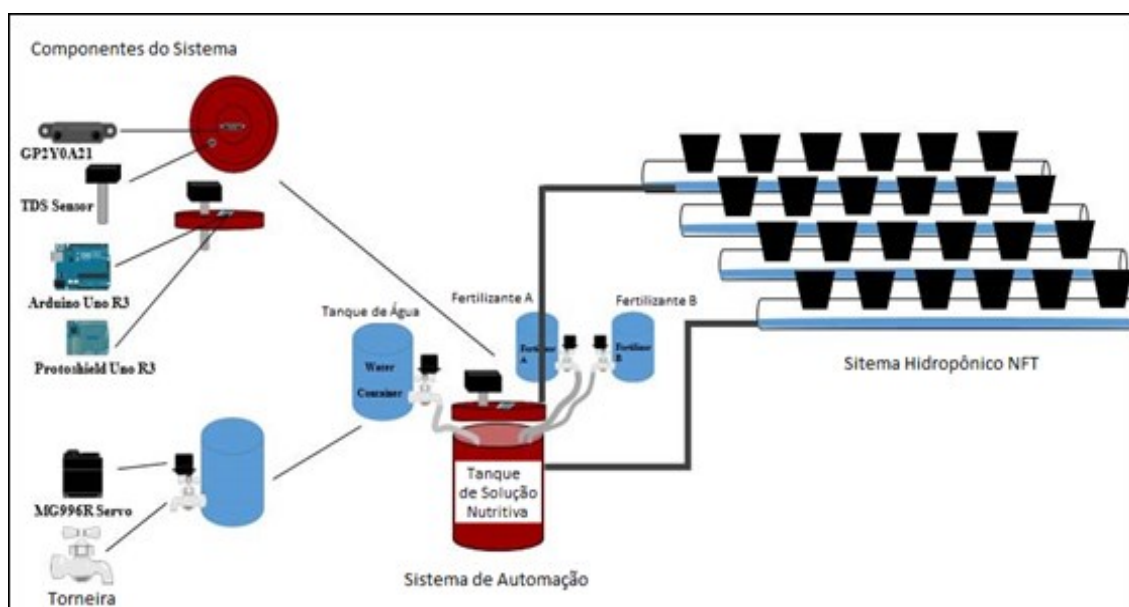


Figura 6. Ilustração da instalação dos componentes do sistema
Fonte: Adaptado de Eridani *et al.* (2017).

Sihombing *et al.* (2018), desenvolveram uma ferramenta de controle automático de fluxo de nutrientes em plantações hidropônicas também utilizando um microcontrolador Arduino, controlado por *smartphone*. Segundo os autores, esse microcontrolador fez seu papel através da lógica C++, enviando dados referente aos níveis de fluido (solução), temperatura próximo a planta para o *smartphone* com sistema operacional Android (FIGURA 7). O nível da água é detectado pelo sensor ultrassônico HC-SR04 e a temperatura detectada pelo sensor de temperatura LM35. Todos os dados do sensor foram encaminhados para o Arduino Uno e exibidos no display de cristal líquido

(LCD)., Em seguida, o sistema transmitiu os dados através de uma rede sem fio (WIFI), módulo ESP8266, para o aparelho de *smartphone*. Em trabalhos futuros, Sihombing *et al.* (2018) propuseram o estudo da comunicação com outros sistemas operacionais de *smartphones*.

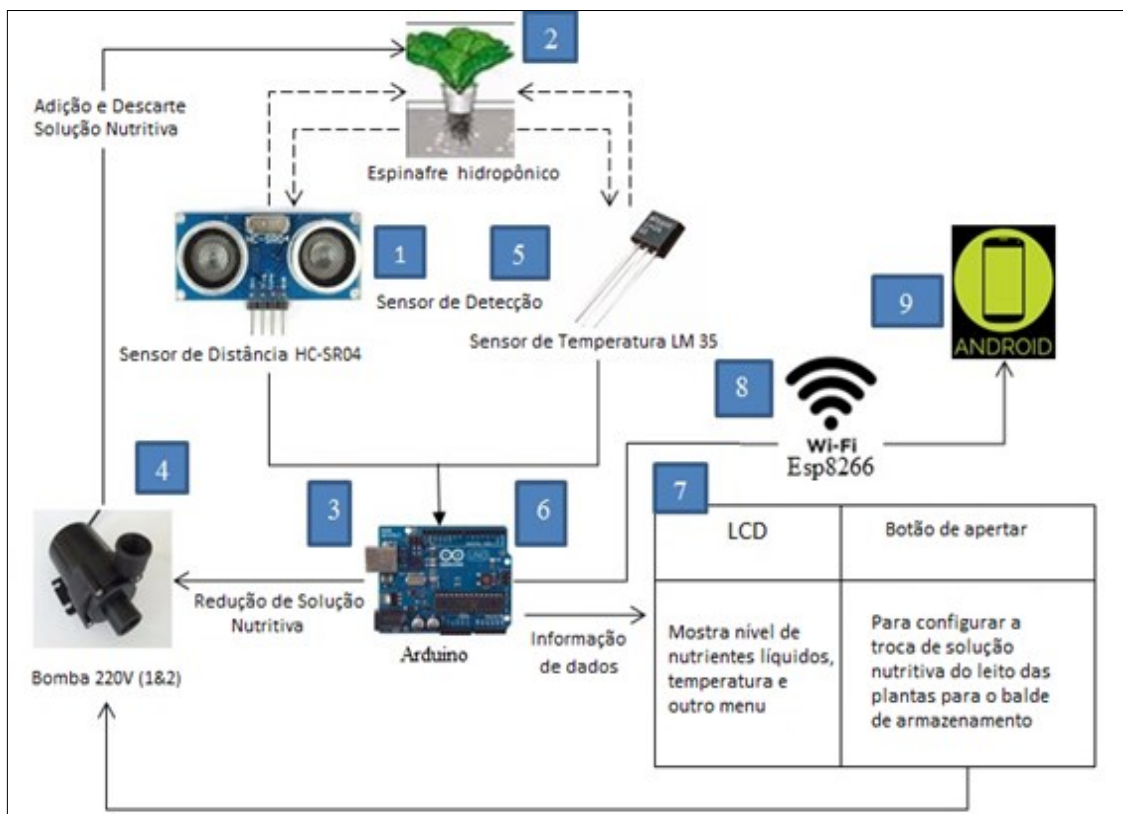


Figura 7. Arquitetura geral do sistema automatizado de plantas com nutrição hidropônica
Fonte: Adaptado de Sihombing *et al.* (2018).

Yildirim, *et al.* (2016), realizaram um processo de irrigação controlada de mudas de videira em NFT (*Nutrient Film Technique*) através de gotejamento. Esse sistema realizado através de um microcontrolador PIC16F84, transportava água e solução nutritiva para mudas de videira a cada 4 horas através de sensores de umidade na raiz das mudas e do bombeamento de água, a cada 4 horas. Esse sistema (Figura 8), tem a vantagem de o custo ser reduzido, pois economiza água, diminui quantidade de mão de obra. Portanto, pode ser adquirido por pequenos produtores (YILDIRIM *et al.* 2016).

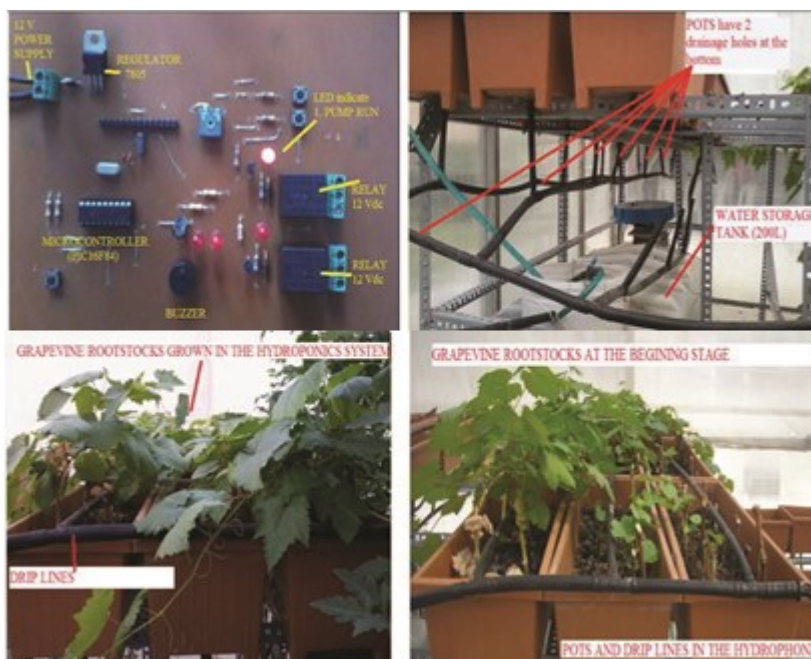


Figura 8. Estrutura dos componentes do experimento
Fonte: Yildirim, et al. (2016).

Darder et al (2018), realizaram um experimento utilizando uma técnica conhecida como *Case-Based Reasoning* (CBR – Raciocínio Baseado em Casos), que é amplamente utilizada na análise de água potável. Para o estudo proposto, o CBR atuou como um sistema multissensor com quatro eletrodos: um eletrodo íon-seletivo para cálcio (Orion, 93-20BN), uma célula de condutividade (Orion, 990101), e um eletrodo de meia célula de pH (Orion, 9101SC), que são todos comerciais; além de um sensor caseiro, feito de material híbrido biopolímero-argila sintetizado. Esse multissensor possibilitou a análise qualitativa eficiente das soluções nutritivas empregadas na produção hidropônica, com o objetivo de automatizar a fertirrigação de recirculação de solução nutritiva, a fim de alterar a sua composição, caso a concentração iônica fosse modificada devido à absorção e evaporação, por exemplo.

Kyaw e Ng (2017) automatizaram um sistema que uniu a aquaponia (que utiliza a água da hidroponia para a piscicultura) e hidroponia (cultivo de plantas sem solo), através de um circuito fechado de reciclagem de água doce entre peixes e plantas. Nesse circuito, os resíduos gerados pelo peixe tornam-se nutrientes para as plantas e o biofiltro das plantas limpa a água antes de retorná-la para o aquário. Em todo esse processo, o funcionamento deve ser monitorado constantemente para evitar doenças e proporcionar crescimento saudável para plantas e peixes.

O sistema de Kyaw e Ng (2017) foi projetado e desenvolvido integrando unidade de aquisição de dados, unidade de alarme, sistema unidade de retificação, unidade central de processamento, aplicativo da Web, aplicativo móvel e servidor em nuvem (FIGURA 9). Assim, ele pode monitorar e controlar continuamente a qualidade da água, a intensidade da luz e a alimentação dos peixes; enviar automaticamente avisos antecipados em forma de e-mail, SMS e notificação *push* – um tipo de mensagem enviada por aplicativos de celular e/ou sites – além de retificar anormalidades do sistema sem interferência

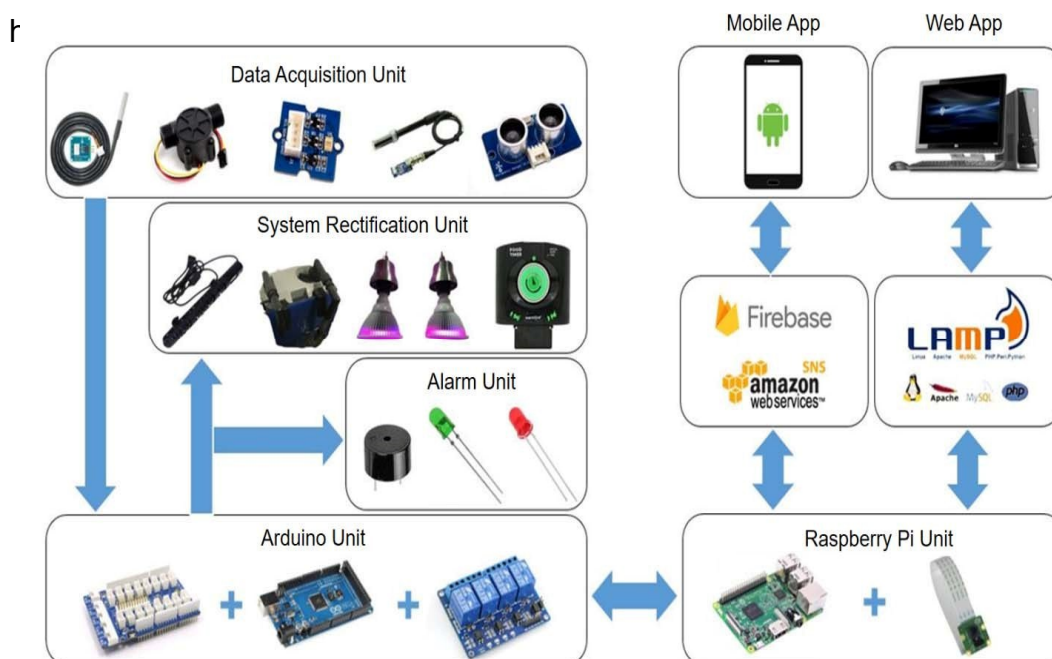


Figura 9. Diagrama do processo de automação aquaponics
 Fonte: Kyaw e Ng (2017).

Como melhoria desse sistema, Kyaw e Ng (2017) sugeriram futuramente: a) adicionar um sensor de oxigênio dissolvido e um sensor para detectar o nível de oxigênio e o nível de concentração de nitrato na água respectivamente; b) incorporar painéis solares para aproveitar a energia solar para alimentar os atuadores; e c) fornecer imagens de vídeo, ao vivo do sistema *aquaponics*, usando o aplicativo móvel. Com uma implementação em grande escala, o sistema proposto poderá reduzir significativamente a mão de obra e custos operacionais, aumentando a produção e a rentabilidade, o que contribui para a sustentabilidade (KYAW e NG, 2017).

2.3 A SOLUÇÃO NUTRITIVA PARA CULTIVO

Para a preparação de soluções nutricionais utilizadas em cultivo hidropônico, o controle da condutividade elétrica foi de grande importância, pois de acordo com Baron *et al.* (2018), este fator determina quanto, dos elementos minerais (íons), estão disponíveis na solução nutriente. Quanto mais elevada a concentração iônica, mais elevado o nível de condutividade elétrica, por isso ela pode ser usada como um indicador da força iônica.

Lin *et al.*, (2013), ao cultivarem alfaces sob hidroponia, renovavam a solução nutritiva semanalmente e ajustavam o pH para 6 e a condutividade elétrica em $1,1 \text{ mS cm}^{-1}$, sendo que o fotoperíodo utilizado foi de 16h de luz por 8h de escuro. A temperatura do ar, umidade relativa e níveis de CO_2 para todos os tratamentos foram mantidos, respectivamente, ao longo do experimento a 24°C e 20°C (dia e noite), 75% e $900 \mu\text{mol. mol}^{-1}$, na câmara de crescimento.

Eek Son, Kim e Ahn (2016) descrevem que as soluções nutritivas para cultivos hidropônicos são geralmente compostas de 13 elementos essenciais. Cada nutriente tem uma concentração adequada e taxa relativa para o crescimento normal de uma planta. No entanto, a concentração iônica nas soluções de nutrientes muda com o tempo, e, posteriormente, um desequilíbrio de nutrientes ocorre no sistema hidropônico fechado.

Santos *et al.* (2013) citam a composição da solução proposta por Furlani em 1995, para o cultivo hidropônico de alface, que apresenta valores para 15 elementos químicos em quantidades de $823,7 \text{ mg.L}^{-1}$ de NO_3 , $315,8 \text{ mg.L}^{-1}$ de K, $147,3 \text{ mg.L}^{-1}$ de Ca, $126,1 \text{ mg.L}^{-1}$ de PO_4 , $106,2 \text{ mg.L}^{-1}$ de SO_4 , $72,6 \text{ mg.L}^{-1}$ de Cl, $24,6 \text{ mg.L}^{-1}$ de Mg, $23,9 \text{ mg.L}^{-1}$ de NH_4 , $1,6 \text{ mg.L}^{-1}$ de Na, $2,4 \text{ mg.L}^{-1}$ de Fe, $1,94 \text{ mg.L}^{-1}$ de BO_3 , $0,89 \text{ mg.L}^{-1}$ de Mn, $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ de Zn, $0,17 \text{ mg.L}^{-1}$ de MoO_4 e $0,06 \text{ mg.L}^{-1}$ de Cu.

Luz, Guimarães e Korndorfer, (2006), ainda disponibilizam as Tabelas 1 e 2 deste estudo, com informações bem detalhadas para produção da solução nutritiva base para cultivo hidropônico de alfaces bem como o preparo e utilização das soluções de reposição.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 METODOLOGIA

Este estudo teve abordagem quantitativa, uma vez que buscou, por meio de dados numéricos coletados pelo sistema Arduino, apresentar diferentes resultados sobre a produtividade da alface em cultivo hidropônico. Ao mesmo tempo também possuiu uma abordagem qualitativa pois, com esse método, é possível explicar alguns fatos observados durante o cultivo em horta hidropônica e sua relação com a produtividade da alface. A pesquisa qualitativa apresenta valores simbólicos que podem ser ou não levados em consideração nos resultados do estudo.

Esclarece Fonseca (2002, p. 20):

Diferentemente da pesquisa qualitativa, os resultados da pesquisa quantitativa podem ser quantificados. Como as amostras geralmente são grandes e consideradas representativas da população, os resultados são tomados como se constituíssem um retrato real de toda a população alvo da pesquisa. A pesquisa quantitativa se centra na objetividade. Influenciada pelo positivismo, considera que a realidade só pode ser compreendida com base na análise de dados brutos, recolhidos com o auxílio de instrumentos padronizados e neutros. A pesquisa quantitativa recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis, etc. A utilização conjunta da pesquisa qualitativa e quantitativa permite recolher mais informações do que se poderia conseguir isoladamente.

A pesquisa teve natureza aplicada, pois se dedicou à geração de conhecimento que aponte soluções para problemas específicos, ou seja, . é dirigido à investigação da verdade para determinada aplicação prática em situação específica. No caso desse estudo, foi analisado o efeito da temperatura obtida em dois diferentes sistemas de estocagem de água, sobre a produtividade e qualidade da alface produzida em sistema de hidroponia. Dessa maneira, a pesquisa aplicada, buscou apresentar soluções para determinadas questões sobre a qualidade e a temperatura da solução nutritiva no cultivo hidropônico.

De acordo com Gil (1999, p. 43), “a pesquisa aplicada possui muitos pontos de contato com a pesquisa pura, pois depende de suas descobertas e se enriquece com o seu desenvolvimento”.

O levantamento explicativo, tanto qualitativo quanto quantitativo) possibilitou a coleta dos os dados da automação do cultivo hidropônico por meio do Arduino. Esse processo contribuiu para a descrição detalhada dos resultados para as análises.

Segundo Gil (2007), a pesquisa explicativa serve para identificar fatores de determinados fenômenos. No geral, esse método explica o porquê das coisas por meio de experimentação. Uma pesquisa explicativa pode ser a continuação de outra descritiva, posto que a identificação de fatores que determinam um fenômeno exige que este esteja, suficientemente, descrito e detalhado.

O procedimento experimental desse estudo determinou seu objeto e selecionou as variáveis que mais influenciaram no experimento, bem como definiu as formas de controle e de observação dos efeitos que as variáveis produziram no objeto: no caso dessa pesquisa, a influência da temperatura sobre a produtividade e qualidade da alface.

O estudo experimental segue um planejamento rigoroso. As etapas de pesquisa iniciaram pela formulação exata do problema e das hipóteses, que delimitaram as variáveis precisas e controladas, que atuaram no fenômeno estudado (TRIVIÑOS, 1987).

Para Gil (2007), a pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

O foco principal desse estudo foi utilizar a automação para o cultivo em sistema hidropônico de alface, melhorando o desenvolvimento das plantas cultivadas, através do acompanhamento da condutividade elétrica, nutrientes e temperatura da solução, bem como a temperatura do ambiente de cultivo.

3.1.2 Estrutura Física do Projeto Estufa para Horta Hidropônica

O universo/população desse estudo é uma horta hidropônica que abrigou 240 pés de alface, divididos em 80 plantas para cada um dos 3 ciclos de produção. Essas plantas ficaram alojadas em estufa própria, localizada em área residencial, à Rua Sicília, 3030 - Bairro Nazaré - Medianeira/PR.

Seu posicionamento geográfico está em $25^{\circ}18'17.7''S+54^{\circ}04'58.1''W$. (Figura 10).

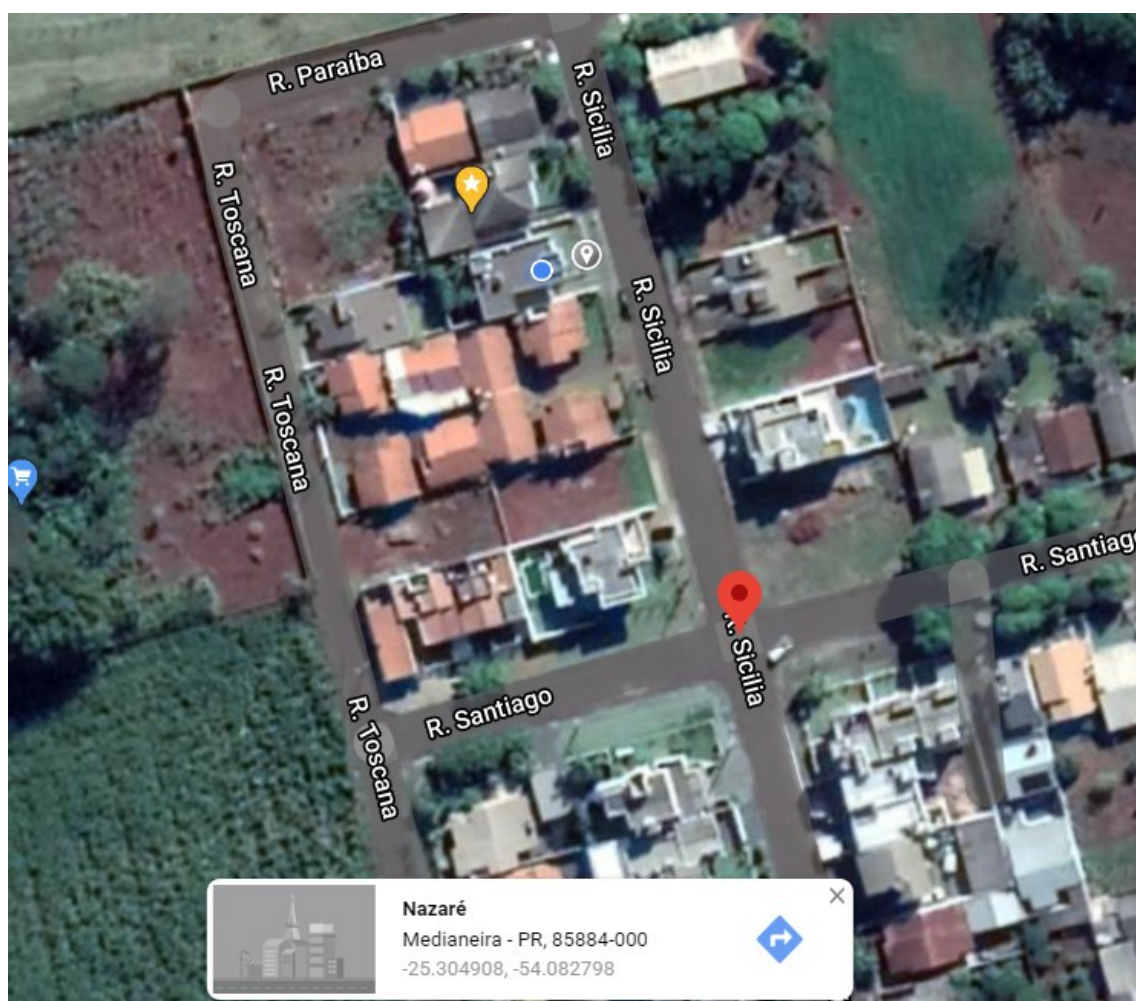


Figura 10. Posicionamento geográfico da estufa e horta hidropônica de alface
Fonte: Google Maps (2019).

Segundo o IAPAR, (Figura 11) a estufa esteve localizada em um município de classificação climática Cfa, ou seja, subtropical com verões quentes, grande umidade e pouca frequência de geadas.

A estrutura da horta foi projetada e montada para a pesquisa com materiais de fácil aquisição e baixo custo. Um exemplo, são as canaletas de cultivo onde foram plantadas as alfaces: elas eram usadas por um produtor de hortaliças que, após a troca de toda a estrutura de plantio, as disponibilizou para serem reutilizadas. Como estavam em boas condições de uso, as mesmas foram reaproveitadas para este estudo.

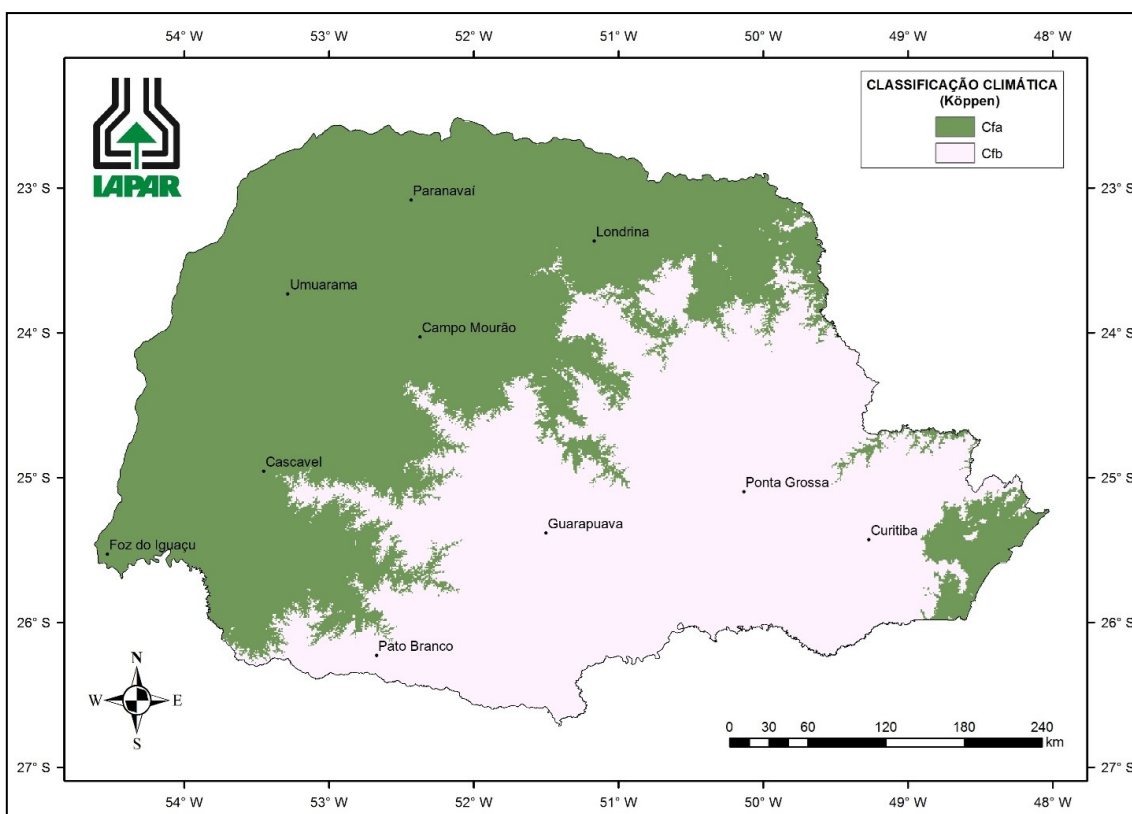


Figura 11. Classificação climática da região oeste do Paraná
Fonte: IAPAR (2019).

A estufa tinha 3m de largura, 3m de profundidade e 4m de altura. Foi coberta com filme transparente de polietileno de baixa densidade para proteção contra as fortes chuvas e com tela “sombrite” para manter a temperatura e ventilação local, bem como proteger contra possíveis insetos e pequenos animais (FIGURA 12).



Figura 12 - Estufa para horta hidropônica
Fonte: Autoria Própria (2019).

O instrumento para coleta de dados foi uma plataforma Arduino Uno. Essa placa foi utilizada para controlar os sensores e realizar a coleta de dados. A condutividade elétrica também foi controlada pela programação do Arduino através de suas portas analógicas. (Figura 13)

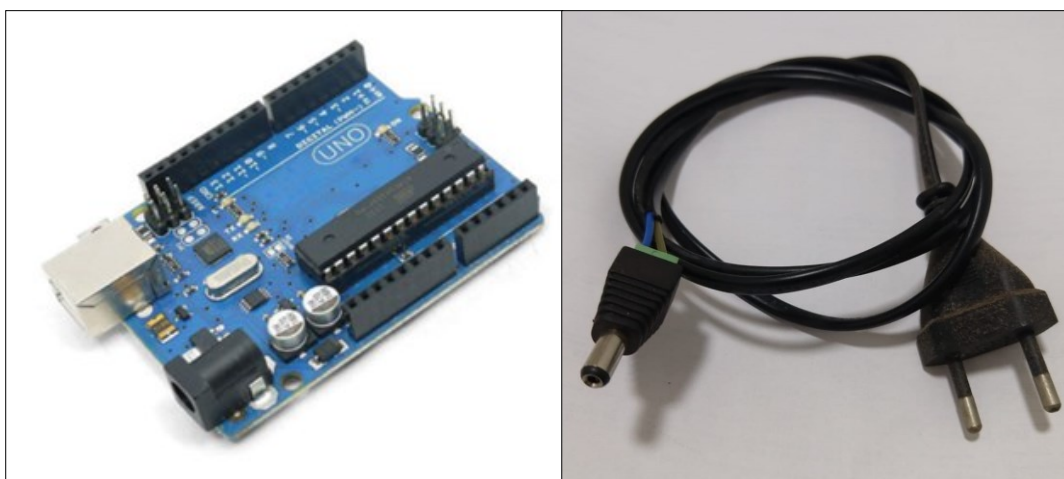


Figura 13. Placa Arduino Uno e cabo medidor de condutividade elétrica
Fonte: Autoria Própria

O sistema contou ainda com um sensor de temperatura DS18B20 - à prova d'água e um sensor de temperatura e umidade DHT11 - que possibilita medir a temperatura ambiente (Figura 14).



Figura 14. Sensor de temperatura DS18B20 e Sensor de temperatura e umidade DHT11
Fonte: Robocore (2019).

O projeto utilizou um módulo Micro SD Card, um dispositivo *Real Time Clock*, um módulo Relé de 5V (Figura 15) e duas válvulas solenoides para fazer a alimentação dos nutrientes na solução (Figura 16). Essas válvulas, quando acionadas, liberavam os nutrientes diluídos em água para dentro dos galões.

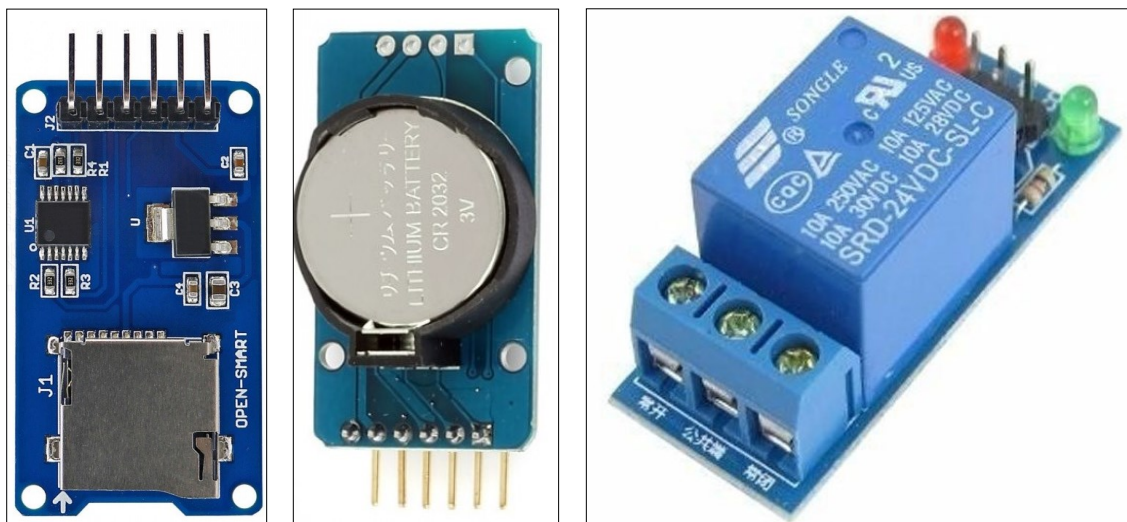


Figura 155. Módulo Micro SD Card, Real Time Clock e Relé 5V.
Fonte: Autoria Própria.

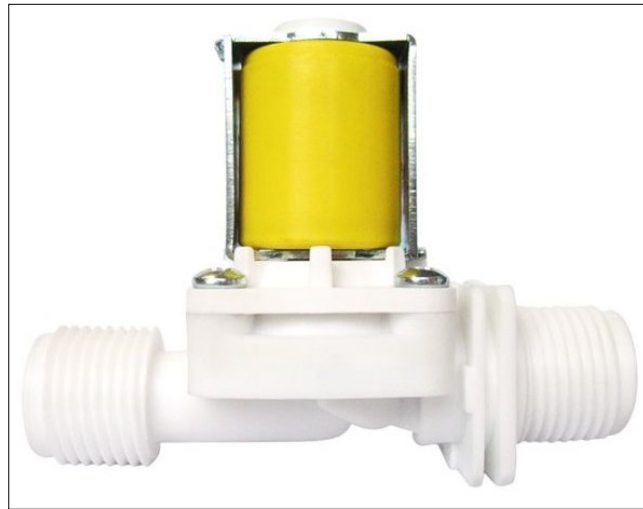


Figura 16. Válvula Solenoide para Água 110V 180°C
Fonte: Dfrobot (2019).

A horta hidropônica era composta de dois galões de 50 litros cada, para armazenar a água (Figura 17). Um dos galões esteve enterrado, logo abaixo da horta, para análise da temperatura da água fora das condições climáticas e da luz do sol.



Figura 17. Galão de 50 litros
Fonte: Autoria Própria.

Duas bombas d'água de 24 V foram instaladas em cada um dos galões, as quais realizaram a circulação de água entre os galões e a horta (Figura 18)

e 10 perfis de pvc para hidroponia 8 cm x 4 cm - barras com 2 m cada (Figura 19).



Figura 18. Bomba d'água
Fonte: Aatoria Própria.

As canaletas de cultivo formaram uma horta de 2m x 2m (Figura 19) e foram irrigadas com água proveniente de poço artesiano, abastecendo os dois galões de 50 litros, que fizeram parte do sistema hidropônico proposto (FIGURA 17).



Figura 189. Modelo de perfis de PVC para produção em horta hidropônica
Fonte: Aatoria Própria.

O Arduino iniciou a coleta de informações no dia 22/10/2019 e encerrou no dia 20/02/2020. Os dados coletados pelo sistema Arduino (Figura 20) e

armazenados em arquivos TXT foram importados para o Excel e com a ajuda do *Software Action Stat®*, construiu-se gráficos de controle estatístico do processo (CEP) e análises de capacidade, para as duas variáveis do processo de produção acompanhados.

Atualmente, no mercado de insumos e fertilizantes, existem diversas marcas de soluções nutritivas prontas para hidroponia de folhosas. Todas com formulação, que seguem os padrões químicos específicos e percentuais adequados para a produtividade das plantas, nesse sistema de cultivo.

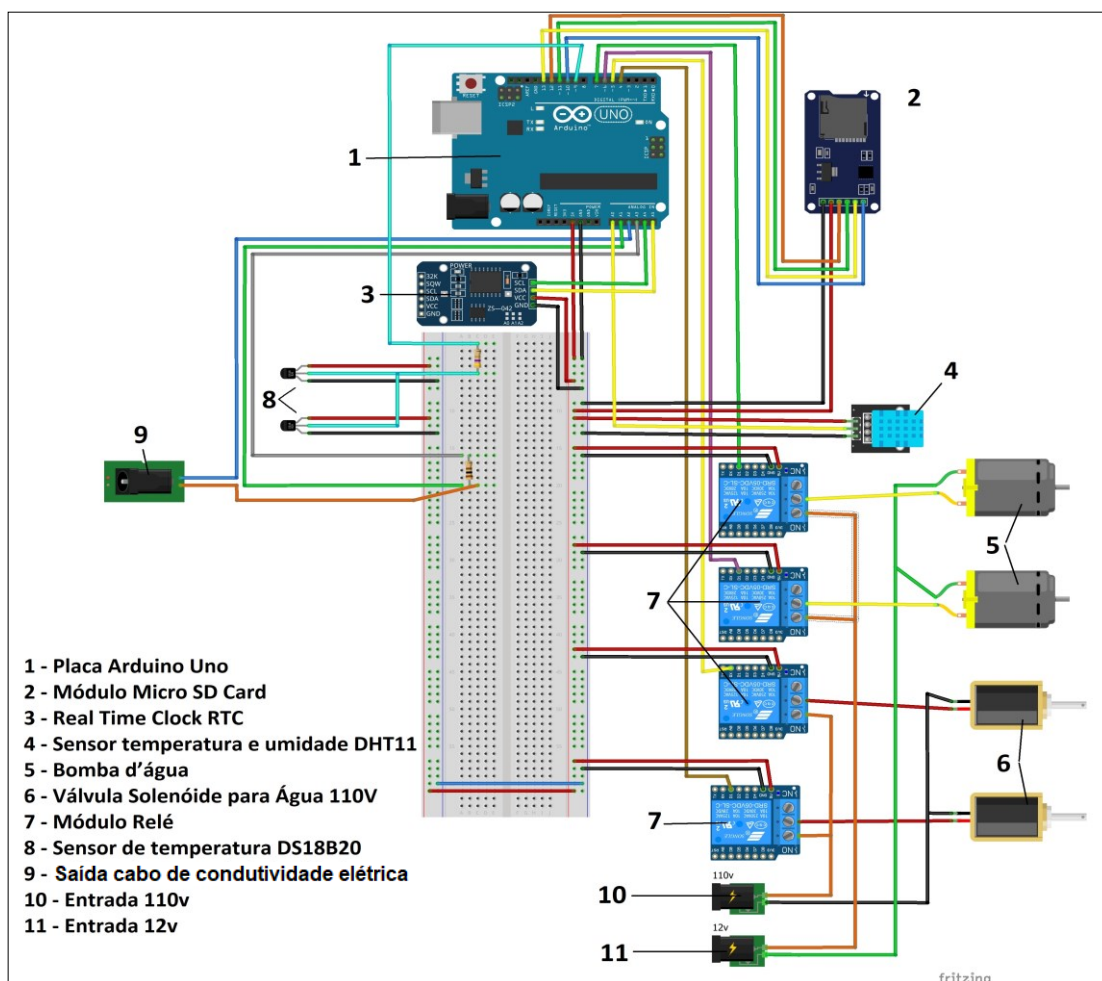
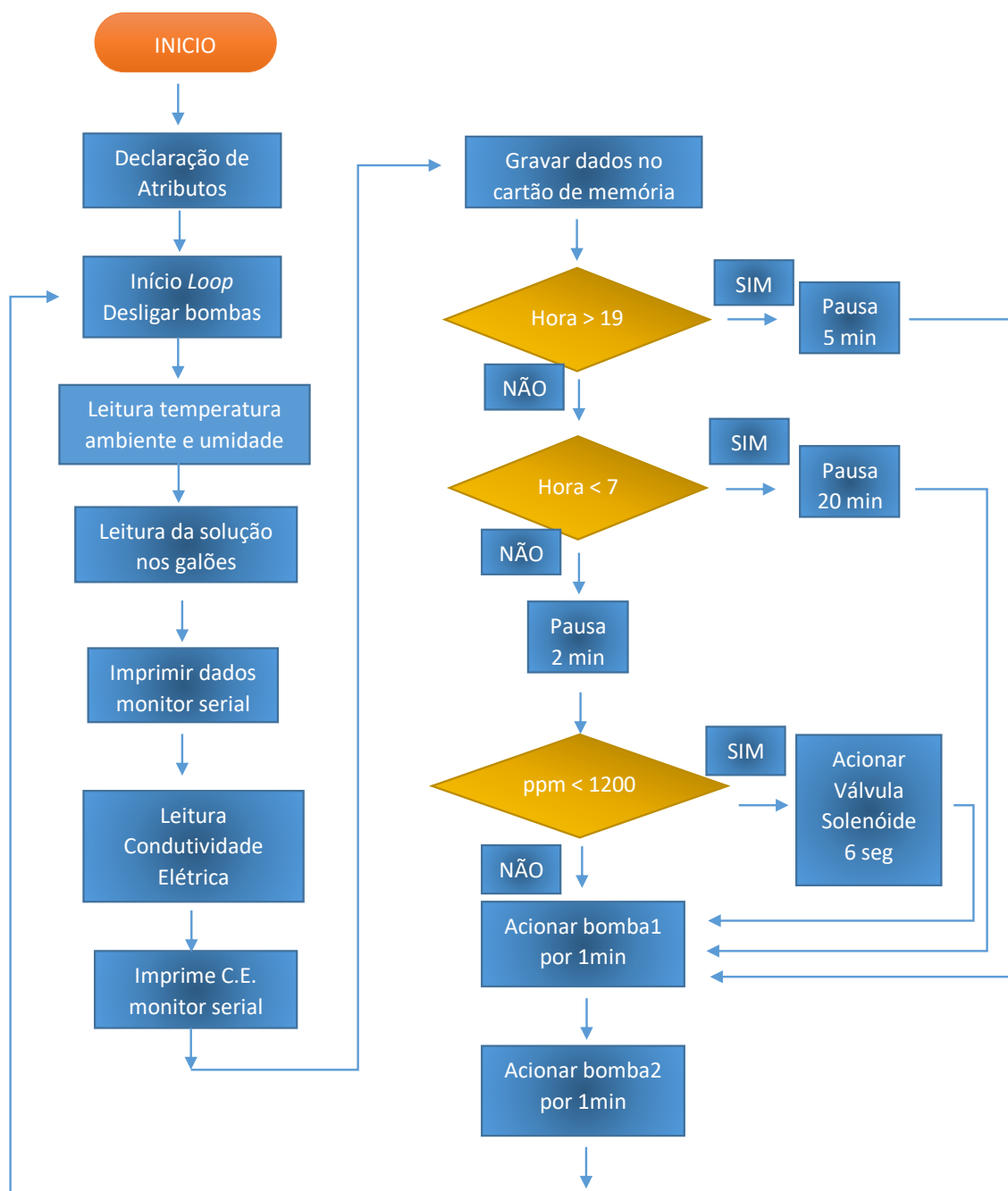


Figura 20. Protótipo de coleta de dados com placa Arduino.
Fonte: Autoria Própria.

O Fluxograma 1, mostra o funcionamento do código de controle (Apêndice A) e foi apresentado para ilustrar melhor o processo de acionamento dos sensores de automatização da hora.



Fluxograma 1 – Esquema de funcionamento do processo de automação e funcionamento do Arduino

Fonte: Autoria Própria

De acordo com as metodologias apresentadas, a solução nutritiva foi preparada com base em sugestões e formulações sistematizadas ao longo de pesquisas, como as apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Quantidade de sais para o preparo de 1000 litros de solução nutritiva (Furlani *et al.*, 1999) UFU, Uberlândia, 2004.

Sal ou Fertilizante	g.1000L⁻¹
Nitrato de cálcio hydro especial	750,0
Nitrato de potássio	500,0
Fosfato monoamônio (MAP)	150,0
Sulfato de magnésio	400,0
Sulfato de cobre	0,15
Sulfato de zinco	0,50
Sulfato de manganês	1,50
Ácido bórico, ou	1,50
Bórax	2,30
Molibdato de sódio (Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O), ou	0,15
Molibdato de amônio	0,15
Tenso-Fe (FeEDDHMA – 6 % Fe.) ou	30,0
Dissolvine (FeEDTA – 13 % Fe.) ou	13,8
Ferrilene (FeEDDHA – 6 % Fe.) ou	30,0
FeEDTANa ₂ (10 mg. mL ⁻¹ de Fe.)	180,0 mL

Fonte: Luz, Guimaraes e Korndorfer, (2006).

Tabela 2 – Composição de sais das soluções de ajuste para as aculturas de hortaliças de folhas (Furlani *et al.*, 1999). UFU, Uberlândia, 2004.

Solução	Sal ou Fertilizante	Quantidade (g 10L⁻¹)
A	Nitrato de potássio	1.200,
	Fosfato monoamônio purificado	200,0
	Sulfato de magnésio	240,0
B	Nitrato de cálcio hydro especial	600,0
	Sulfato de cobre	1,0
C	Sulfato de zinco	2,0
	Sulfato de manganês	10,0
	Ácido bórico	5,0
	Molibdato de sódio	1,0
	FeEDTANa ₂ (10 mg. mL ⁻¹ de Fe.)	120,0 mL

Fonte: Luz, Guimaraes e Korndorfer, (2006).

Para o experimento, a solução nutritiva utilizada foi adquirida em comércio específico, sendo composta por duas embalagens específicas, denominadas de Kit de Solução A + Solução B. Cada uma delas contendo os componentes necessários, conforme tabelas 1 e 2 descritas anteriormente. De acordo com o fabricante, as soluções são basicamente compostas por:

Tabela 3 – Composição da solução nutritiva utilizada no estudo, segundo fabricante.

Solução A	+	Solução B
Nitrogênio: 9 %		Nitrogênio: 13 %
P2O5: 9 %		Cálcio: 10,80 %
K ₂ O: 37 %		Magnésio: 3,70%
Manganês: 0,067%		
Cobre: 0,031 %		
Zinco: 0,014 %		
Boro: 0,048%		
Molibdênio: 0,010%		
Ferro: 0,126%		
Níquel: 0,006 %		

Fonte: Ouro Verde Hidropônicos.

A diluição desses componentes foi realizada de acordo com as especificações do fabricante. Como a horta era equipada com dois reservatórios de 50 litros cada, o preparo foi realizado para 100 Lts de solução nutritiva, utilizando 60g da Solução A + 54g da Solução B+ 100Lts de Água. Essa solução era diluída em recipientes separados, antes de ser distribuída nos reservatórios da horta.

Nesse caso, a fórmula sugeria, ainda, o controle da condutividade elétrica entre 1,2 a 1,6 mS (1.200 a 1.600 μ S), valores dentro dos parâmetros indicados para a produtividade das alfaces (Pantarella et al, 2012).

O sistema utilizado para esse estudo foi o NFT (*Nutrient Film Technique*), com canais de cultivo com vazão de 5 L/min de solução nutritiva. No total, foram 10 canaletas: 05 com bombeamento de solução nutritiva em galão na temperatura ambiente (denominado de Testemunha) e 05 com bombeamento de solução nutritiva do galão enterrado na terra (denominado de Tratamento). A programação para acionamento das motobombas para irrigação das plantas foi de 1 minuto ligadas e 3 minutos desligadas, das 7h às 19h. Das 20h às 23h, as bombas ficaram ligadas por 1 minuto e desligadas por 6 minutos. De madrugada, das 00h às 6h da manhã, ficaram ligadas por 1 minuto e desligadas por 21 minutos.

A condução da solução nutritiva aconteceu por bombeamento dos reservatórios até a parte mais alta do canal de cultivo, através de tubulação de PVC (Policloreto de Vinila). Foram utilizados 2 galões, cada qual com capacidade de 50 Lt para armazenamento da solução nutritiva.

Os sensores ligados ao Arduino, após programação, realizaram o acionamento e desligamento das bombas de solução nutritiva, coletaram os dados de temperaturas dessa solução nos dois tratamentos e de condutividade elétrica, automatizando também, a liberação de solução quando a condutividade elétrica estava fora dos parâmetros desejados para o cultivo. Os dados coletados pelo microcontrolador foram armazenados em cartão de memória micro Sd, sendo transferido, posteriormente, para o computador em arquivos de extensão TXT (Bloco de notas).

3.2 COLETA DE DADOS E ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A coleta de dados experimentais aconteceu em 3 ciclos de cultivo, nos períodos entre outubro de 2019 e fevereiro de 2020, em ambiente protegido do tipo arco simples, com cobertura de filme transparente de polietileno com baixa densidade e 0,10 mm de espessura, as laterais foram protegidas com tela de 50% de sombreamento. Ribeiro *et al.* (2007), em seu estudo sobre a influência do sombreamento sobre cultivo, concluiu que o uso dessas telas não influencia no crescimento das plantas, tornando o uso desse material opcional.

De acordo com Ferreira *et al.* (2013), alguns caracteres agronômicos que podem ser acompanhados em plantas de alface são: massa fresca total (MFT), massa fresca comercial (MFC), massa seca total (MST), massa seca comercial (MSC), número de folha total (NFT), número de folha comercial (NFC), produtividade (PR), diâmetro de caule (DCL), diâmetro de cabeça (DC) e altura de caule (AC).

Souza *et al.* (2008), em seus estudos, também acompanharam alguns caracteres agronômicos por ocasião da colheita das plantas, 32 dias após o transplante, tais como: o número de folhas por planta (NF), onde contaram o número de folhas maiores que três cm, partindo das folhas basais; o diâmetro da planta (DP), onde utilizaram as distâncias entre as margens opostas das plantas, expressas em centímetros; peso fresco da planta (PFP), aferido após o corte rente ao solo no ato da colheita, com posterior descarte de folhas

impróprias para a comercialização; o peso fresco das folhas (PFF), obtido em quilogramas após a contagem do número de folhas; o comprimento do caule (CC), medido em centímetros, após a retirada das folhas, considerando-se o corte feito na planta rente ao solo e apendoamento (PEND), quantificado pela contagem do número de plantas com início do desenvolvimento do pendão floral, por ocasião da colheita.

Tabela 4 – Média dos caracteres agronômicos da alface em 3 épocas de cultivo

		Tratamento ¹	Testemunha ²
Peso Total (gr)	PT	278,67	272,90
Número de Folhas (un)	NF	22,90	22,43
Peso Útil (gr)	PU	191,63	192,50
Peso Maior Folha (gr)	PMR	18,23	18,07
Peso Menor Folha (gr)	PMN	0,30	0,32
Comprimento Menor Folha (cm)	CMF	3,52	3,59
Altura Maior Folha (cm)	AMF	24,03	23,20
Largura Maior Folha (cm)	LMF	21,09	20,77
Peso 3 Folhas Frescas (gr)	PFF	49,03	50,17
Peso 3 Folhas Secas (gr)	PFS	2,89	2,97
Área da raiz (cm ²)	AR	190,34	172,92
Peso Raiz Úmida (gr)	PRU	43,43	45,03
Comprimento do Caule (cm)	CC	17,19	16,28
Peso do Caule (gr)	PC	34,87	35,83

¹ - Solução nutritiva em galão enterrado sob a terra

² - Solução nutritiva em galão à temperatura ambiente

Fonte: Autoria Própria

Seguindo os caracteres agronômicos já mencionados, o estudo do cultivo hidropônico baseou-se na avaliação de 60 pés de alface. Em cada ciclo de cultivo foram avaliados 10 pés que receberam tratamento e 10 pés da testemunha, ou seja, 20 pés avaliados em cada um dos 3 ciclos produtivos. As plantas foram colhidas após 31 dias de crescimento.

Foram analisados o peso total do pé de alface (PT); o número de folhas (NF); o peso útil, ou peso de todas as folhas (PU); o peso da maior folha (PMR); o peso da menor folha (PMN); o comprimento da menor folha (CMN); a altura da maior folha (AMF); a largura da maior folha (AMF); o peso das 3 maiores folhas frescas (PFF); o peso das 3 maiores folhas secas (PMS); a área da raiz (AR); o peso da raiz úmida (PRU); o comprimento do caule (CC) e o peso do caule (PC) (TABELA 4).A pesagem das amostras foi realizada com

Balança Shimadzu, modelo BL 3200H com referências D = 0,01gr, E = 0,1gr, peso mínimo 0,5gr e máximo 3200gr.

Após coletadas, as 3 maiores folhas de cada planta foram desidratadas em forno elétrico para panificação, com circulação de ar e temperatura máxima de 300°C. As amostras ficaram nesse forno, expostas ao calor de 60°C, durante 4 horas. Após totalmente secas, as folhas foram pesadas e encaminhadas para análise no Laboratório de Tecido Vegetal e Resíduos Orgânicos, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná de Pato Branco/PR (Anexo A).

Foram avaliadas seis amostras de cada experimento do primeiro ciclo de cultivo (E1). O analista, ao avaliar a fisiologia das amostras, não conhecia qual delas tinha recebido ou não o tratamento.

O resultado da análise realizada apontou os teores de Nitrogênio (N), Potássio (K) e Fósforo (P) das amostras coletadas (Tabela 5).

Tabela 5 – Resultado de Análise de Resíduo Orgânico

Amostras	Talhão	N (%)	P (%)	K (%)
352 P	A1	3,63	0,52	8,06
353 P	A2	3,63	0,60	3,86
354 P	A3	4,36	0,65	3,73
355 P	A4	4,54	0,58	3,99
356 P	A5	4,00	0,59	4,12
358 P	A6	4,00	0,54	3,68
359 P	B1	4,00	0,54	4,14
360 P	B2	4,36	0,66	3,81
361 P	B3	4,36	0,62	3,65
362 P	B4	4,18	0,62	4,04
363 P	B5	3,81	0,53	3,89
364 P	B6	3,63	0,57	3,47

Fonte: UTFPR, 2019.

Observando os valores de cada componente e o resultado residual de cada uma das amostras, não houve diferença significativa entre os cultivos A (Tratamento) e B (Testemunha). Isso provou que as temperaturas das soluções nutritivas não influenciaram na composição residual das plantas, nos diferentes tratamentos.

A análise de variância (ANOVA) e os testes de comparação de médias foram utilizados para contrastar os dois sistemas (depósito de água na superfície e depósito de água enterrado), verificou-se os dados de temperatura coletados e o desenvolvimento das alfaces, medido por meio dos caracteres

agronômicos das plantas. Os dados foram analisados de forma estatística, através do Portal *Software Action Stat*®. Esse portal apresenta diversas soluções para aplicação de técnicas estatísticas. Segundo o Portal *ActionStat*, a ANOVA é uma coleção de modelos estatísticos no qual a variância amostral é particionada em diversos componentes devido à diferentes fatores (variáveis), que nas aplicações estão associados a um processo, produto ou serviço.

Os valores limites superiores e inferiores utilizados para a avaliação da capacidade do processo foram baseados nos indicados por Johnson Jr (2018), para a temperatura da solução nutritiva estar entre 20°C e 25°C; e da temperatura ambiente, na faixa entre 10°C a 22°C ,conforme recomendado por Esmaeli e Roshandel (2020),.,.

Já o controle estatístico do processo produtivo e a análise de capacidade foram utilizados para acompanhar a estabilidade e avaliar a adequação com base nas exigências das plantas cultivadas, dos sensores e a realização de controles de condutividade elétrica, além de acompanhar o que ocorre com a temperatura nos dois tratamentos. Na sequência, uma descrição mais detalhada das ferramentas estatísticas será apresentada.

3.3.1 Análise de Variância

Os dados fisiológicos coletados das plantas foram comparados por meio da análise de variância que foi aplicada através do DBC – Delineamento em Blocos ao Acaso - em esquema fatorial, com 2 tratamentos, em 3 épocas distintas.

Os experimentos fatoriais se constituem de um esquema de desdobramentos dos graus de liberdade e a soma dos quadrados de tratamentos de um determinado delineamento, ou seja, experimentos nesse esquema, não constituem delineamento experimental, mas um esquema de

tratamentos. Para Fagundes¹ (2012 *apud* VAZ, 2013, p. 19), a combinação dos níveis dos fatores determina o número de tratamentos que são executados.

Para esse estudo, o DBC combina um delineamento fatorial de 2x3; 2 tratamentos T e 3 épocas E de plantio, utilizando a combinação de réplicas, conforme Equação 1 abaixo:

$$y_{kij} = m + b_j + T_k + E_l + (TE)_{kl} + e_{kij} \quad (1)$$

Para o fator tratamento, temos a seguinte hipótese de esquema fatorial:

H_0 : aos níveis do fator T têm o mesmo efeito, ou seja, $T_1 = T_2 = \dots = T_K$

H_a : pelo menos dois níveis do fator T têm efeitos diferentes.

Para o fator época de cultura E , temos os seguintes efeitos:

H_0 : aos níveis do fator E têm o mesmo efeito, ou seja, $E_1 = E_2 = E_3 \dots = E_l$

H_a : pelo menos dois níveis do fator E têm efeitos diferentes.

Na combinação entre os dois fatores, temos:

H_0 : todas as combinações entre os níveis do fator T e do fator E têm o mesmo efeito, ou seja, $T_1E_1 = T_1E_2 = T_1E_3 = \dots = T_KE_L$

H_a : pelo menos duas combinações entre os níveis do fator T e do fator E têm efeitos diferentes.

Vieira (2006) cita que, para obter a análise de variância, deve-se aceitar algumas hipóteses básicas que são: a) Aditividade: para os efeitos dos fatores; b) Independência: os erros ou desvios devidos ao efeito dos fatores não controlados na parcela; c) Homogeneidade de variâncias: os erros ou desvios devidos aos efeitos dos fatores não controlados devem possuir uma variância comum. Essa análise define que a repetição de um tratamento deve ser semelhante aos outros tratamentos.

Existem vários tipos de teste para a verificação da homogeneidade da variância, como: o teste de Cochran, o de Bartlett, o de Levene e o de Hartley

¹ FAGUNDES, R.S. Notas de aula. Disponível em www.fag.edu.br/professores/pos/materiais/.../introduo.pdf Acesso em 30 fev. 2012

ou teste da razão máxima ou ainda teste do F máximo sendo o de Bartlett o mais usado.

A normalidade dos erros ou desvios devidos aos efeitos dos fatores não controlados devem possuir uma distribuição normal de probabilidade. Para isso, aplicam-se os testes de aderência. Os mais conhecidos são: a) Teste de χ^2 ; b) Teste de Komogorov-Smirnov; e c) Teste de Shapiro-Wilks.

Segundo Duarte (1996), o termo delineamento experimental (experimental *desing* em inglês e *deseño* experimental em espanhol) pode ser definido como o desenho básico em que o experimento é montado/instalado. Vieira (2006) conceitua delineamento como a forma de como as unidades experimentais são arrançadas.

O delineamento experimental ideal depende dos fatores que serão estudados (c). Caso decida investigar as variações de um só fator de tratamento este é chamado de experimentos uni fatoriais, já as combinações dos níveis de dois ou mais destes fatores são denominados experimentos fatoriais ou ensaios fatoriais (DUARTE, 1996; VIEIRA, 2006).

3.3.2 Controle Estatístico e Capacidade dos Processos

Qualquer processo pode ser acompanhado por controles de estabilidade de capacidade. O uso dessa ferramenta estatística foi de grande valia nesse estudo ao ser aplicado aos dados obtidos na saída dos controles., Ao controlar a estabilidade haverá a possibilidade de avaliar a capacidade dos sensores em se manter estáveis às características de condutividade elétrica da solução nutritiva, assim como avaliar o comportamento da temperatura da água, advinda dos dois diferentes tratamentos.

Para criar o gráfico de CEP (Controle Estatístico do Processo), as medidas de uma característica a ser acompanhada são coletadas por amostragens dos dados reais do processo, ao longo de um período pré-definido (DJEKIC; TOMASEVIC, 2018). Rossi e Mirtchev (2016a) explicam que, para avaliar a estabilidade do processo, comumente são feitos gráficos de média e desvio padrão, como os que se pretende apresentar nesse estudo.

UCL = $+3\sigma$	
+2 σ	Zona de ação
+1 σ	Zona de perigo
CL	Zona estável
-1 σ	Zona estável
-2 σ	Zona de perigo
LCL = -3σ	Zona de ação

Figura 21. Três zonas observadas em um típico gráfico de controle, sendo do meio para as laterais linha de dados estáveis, linha de atenção ou aviso e linha de ação. (UCL - Limite Superior, CL – Linha Central e LCL – Limite Inferior)

Fonte: Djekic e Tomasevic (2018).

Djekic e Tomasevic (2018) explicam que o gráfico deve possuir uma linha central (CL) e limites de controle superior e inferior (UCL e LCL), que serão calculados com base nos dados coletados (Figura 21). O intervalo (UCL-LCL) representa onde os valores observados nas características do processo devem cair, caso não haja fontes incomuns de variabilidade presentes.

Rossi e Mirtchev (2016a) explicam que existem regras de execução para a detecção de mudanças no processo. Para execução dessa avaliação foi utilizado o *Software Action Stat*[®] (PORTAL ACTION STAT, 2019), o qual possui a capacidade para testar oito regras, que são as seguintes: i) um ponto fora dos limites de controle; ii) sete ou mais pontos em sequência, no mesmo lado da linha; iii) seis ou mais pontos em sequência, todos crescentes ou decrescentes; iv) quatorze ou mais pontos consecutivos, alternando-se acima e abaixo da linha central e v) dois de três pontos consecutivos, maiores que dois desvios da linha central; vi) quatro de cinco pontos consecutivos, maiores que um desvio padrão, a partir da linha central; vii) quinze ou mais pontos consecutivos dentro de um desvio padrão, a partir da linha central; e por fim, viii) oito ou mais pontos consecutivos, maiores que um desvio padrão, a partir da linha central.

Nas análises de capacidade e performance, os valores de Cp (capacidade potencial) e Cpk (capacidade real), representam o desempenho de curto prazo, enquanto Pp (performance potencial) e Ppk (performance real), representam desempenho de longo prazo. Esses índices podem indicar se um processo

está estável e centrado e pode ser considerado como uma medida da qualidade (ROSSI; MIRTICHEV, 2016b). O Gráfico 1 ilustra que todo processo tem potencial eficaz, mas para isso, deve-se coletar os dados reais e avaliar por meio do índice Cpk para que se possa atuar, centrando o processo dentro dos limites de capacidade estabelecidos, por meio da elevação do valor de Cpk acima de 1,33.

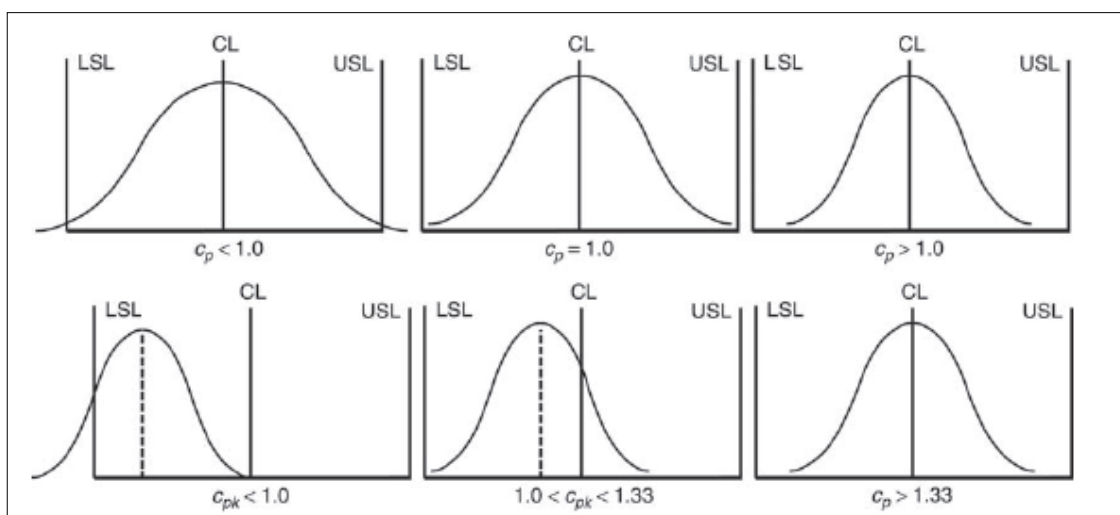


Gráfico 1. Interpretação gráfica de Cp e Cpk, mostrando os limites superiores (USL), inferiores (LSL) e limite central (CL) conforme valores encontrados para Cp e Cpk
 Fonte: Djekic e Tomasevic (2018).

A Tabela 6 apresenta as diretrizes para classificação das medidas de capacidade e performance reais dos processos. Essas diretrizes serão adotadas na avaliação dos dados de temperatura; na avaliação da capacidade do processo em mantê-los dentro dos limites considerados adequados para o cultivo das alfaces, com base em parâmetros ideais, fornecidos pela literatura para essa cultura.

Classificação	Cpk	Expectativas	Ppk
Excelente capacidade de processo	>1,67	Observar um defeito por milhão de unidades fabricadas	=1,67
Boa capacidade de processamento	entre 1,33 e 1,67	Observar 63 defeitos por milhão de unidades fabricadas	=1,33
Capacidade justa do processo	entre 1,0 e 1,33	Observar 2700 defeitos por de milhão unidades fabricadas	=1,00
Capacidade insatisfatória do processo	<1,0	Observar mais de 2700 defeitos por milhão de unidades fabricadas	<1,0

Tabela 6. Diretrizes gerais para as medidas de capacidade e performance de processos
 Fonte: Rossi e Mirtchev (2016b).

4. RESULTADOS

4.1 ANÁLISE DAS TEMPERATURAS

De acordo com Esmaeli e Roshandel (2020), para o cultivo de alface em casas de vegetação, as faixas de temperaturas entre 14 °C e 22°C durante o dia e 10°C e 17°C à noite, seriam as mais favoráveis. No período estudado, a temperatura local (ambiente interior da estufa) foi em média de 29,7°C com um mínimo de 19°C e máximo de 42,3°C, bem acima do preconizado pelos autores. A umidade relativa média foi de 28,8% com um mínimo de 11% e máximo de 81%. Na solução nutritiva, estocada no galão, que permaneceu sobre o solo e que nesse estudo foi denominado de Testemunha, a temperatura mínima da solução nutritiva foi de 17°C e a máxima de 44°C com uma média de 25,70°C. Já no galão que ficou enterrado, que será identificado como Tratamento, as mínimas foram de 16°C e as máximas de 41°C e uma média de 24,95°C. A temperatura, nos dois ambientes, ficou acima do recomendado por Goto e Trivelli (1998), que informam que a faixa ideal de temperatura para cultivo da alface deveria estar entre 18°C e 23°C e por Cometti *et al.* (2013), que recomendam a faixa entre 24 e 29°C.

Na Tabela 7 pode-se observar os resultados da análise de variância nas temperaturas das três épocas de cultivo. Por meio do teste de comparação de médias de Tukey, observou-se a existência de diferença significativa entre a temperatura nos dois tratamentos avaliados ao nível de 5% de confiabilidade.

Tabela 7 - Resultados da ANOVA em esquema fatorial aplicada aos dados de temperatura dentro das três épocas onde foram aplicados os dois tratamentos.

	<i>G.L.</i>	<i>Soma de Quadrados</i>	<i>Quadrado Médio</i>	<i>Estat. F</i>	<i>P-valor</i>
Épocas	2	86,11996796	43,05998398	5,901759554	0,003249724
Tratamentos	1	76,16592521	76,16592521	10,43922768	0,001449299
Época * Trat.	2	4,212950325	2,106475162	0,288711438	0,749549719
Resíduos	194	1415,448531	7,29612645		

Fonte: Autoria Própria

O gráfico das interações (Gráfico 2) aponta essa existência, mostrando que quanto mais quente o clima, maior o efeito do tratamento realizado com o reservatório de solução nutritiva enterrado sob a terra. Esse fato se comprova também, na medida em que avançaram os meses, durante o verão. Observa-se no Gráfico 3, um distanciamento maior nas temperaturas durante cada um dos 3 períodos de cultivo.

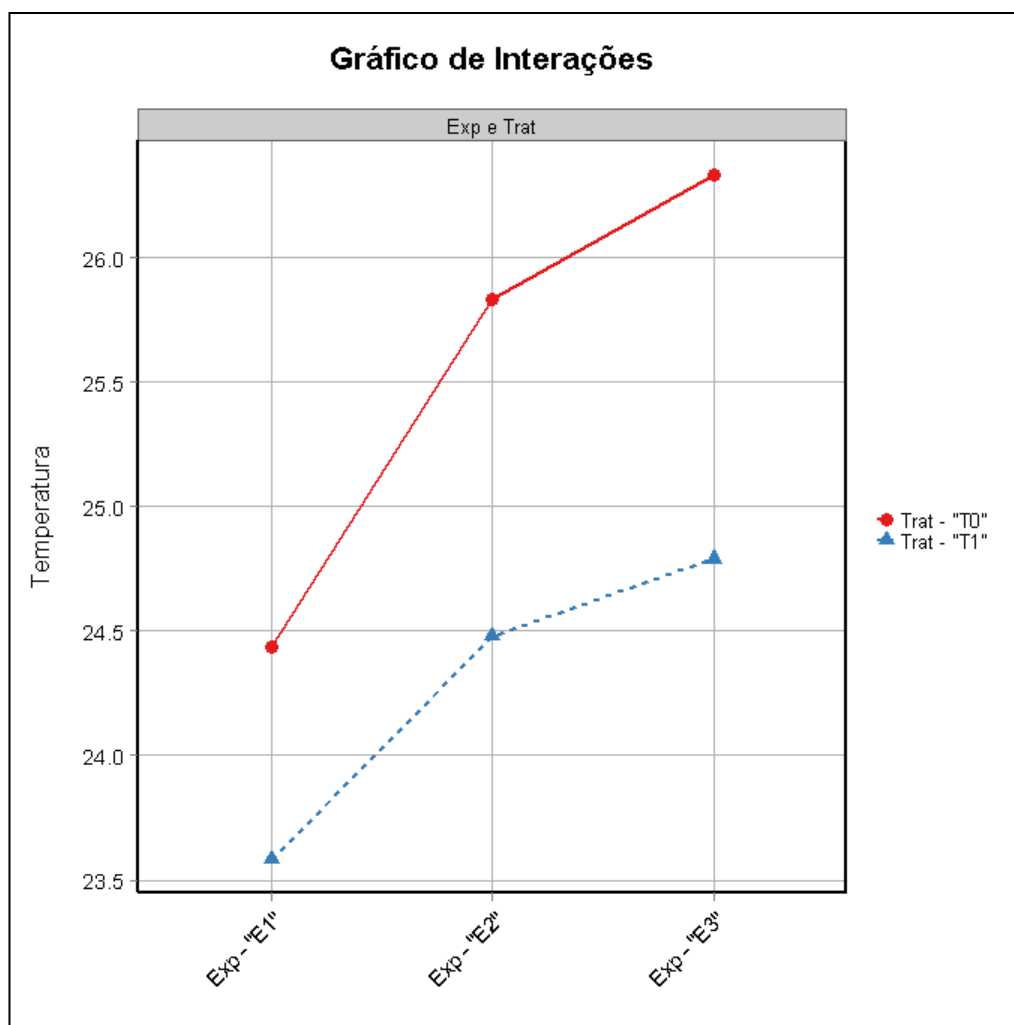


Gráfico 2 – Efeito das interações entre épocas de cultivo nos dois tratamentos de solução nutritiva.
Fonte: Autoria Própria

O galão exposto à temperatura ambiente (T0) aponta temperaturas mais elevadas, partindo de 24,43°C no primeiro cultivo (E1) e 26,33°C no último cultivo (E3), quando o calor é mais intenso entre os meses de janeiro e fevereiro. Em T1, temos o galão enterrado na terra, com temperaturas que ficaram entre 23,58°C em E1; e 24,79°C em E3.

A Tabela 8 define os valores de efeito das interações, utilizadas no Gráfico 2. O destaque ficou para as temperaturas do terceiro cultivo da experiência, que na Tabela 7 está denominado como E3.

Tabela 8 - Valores de Efeito da Interação entre época e tratamentos.

<i>Exp:Trat</i>	<i>Limite Inferior</i>	<i>Efeito</i>	<i>Limite Superior</i>
E1 T0	23,53642411	24,43691221	25,33740031
E2 T0	24,9297972	25,8302853	26,7307734
E3 T0	25,36087354	26,33351185	27,30615017
E1 T1	22,68357894	23,58406705	24,48455515
E2 T1	23,57870054	24,47918864	25,37967675
E3 T1	23,818046	24,79068431	25,76332263

Fonte: Autoria Própria

Há uma diferença de aproximadamente 1,5°C entre um tratamento e outro. Essa diferença comprova novamente que o tratamento T1 pode ser alternativa para chegar às temperaturas ideais de cultivo da alface, entre 24 e 29°C, de acordo com Cometti *et al.* (2013).

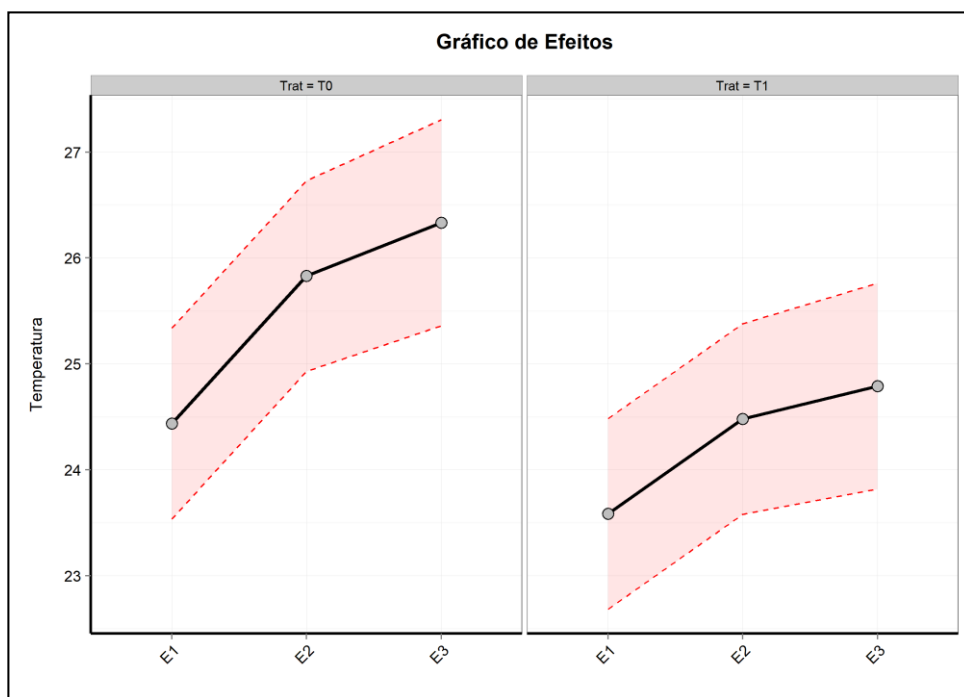


Gráfico 3 - Valores de Efeito da Interação entre época e tratamentos.

Fonte: Autoria Própria

No teste de Tukey, a Tabela 9 aponta os valores com hipótese de igualdade entre os níveis: E3T0-E2T0 (5-3); E3T1-E2T1 (6-4); E3T1-E1T0 (6-1) e E2T1-E1T0 (4-1).

Tabela 9 - Tukey comparando as interações entre todos os tratamentos nas diferentes épocas

Fator	Agrupamento			
	Médias	Grupos		
5	26,33351	a	E3T0	Terceiro experimento testemunha
3	25,83029	a	E2T0	Segundo experimento testemunha
6	24,79068	ab	E3T1	Terceiro experimento tratamento
4	24,47919	ab	E2T1	Segundo experimento tratamento
1	24,43691	ab	E1T0	Primeiro experimento testemunha
2	23,58407	b	E1T1	Primeiro experimento tratamento

Fonte: Autoria Própria

O Gráfico 4, apresenta as médias dos níveis de fator, de acordo com as igualdades entre níveis, descritas anteriormente.

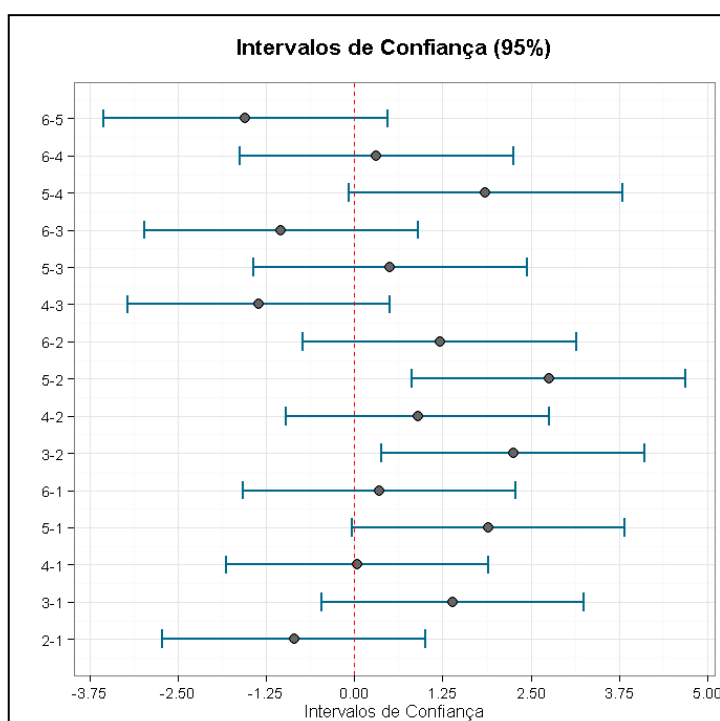


Gráfico 4 – Diferença entre as médias dos níveis do fator

Fonte: Autoria Própria

Percebeu-se, dessa forma que, ao enterrar o galão, reduziu-se, significativamente, a temperatura da solução nutritiva. Essa redução da temperatura é recomendada por Cometti *et al.* (2013) para que haja aumento da produtividade das plantas em horta hidropônica, o que nos leva a recomendar que os estoques de água para hidroponia sejam mantidos enterrados, para assim, reduzir a temperatura da água e poupar a energia em casos de necessidade de maiores resfriamentos, pois a água do reservatório

que se encontra enterrado estará, em média, 1°C abaixo da temperatura da água que estiver fora do solo.

A Tabela 10 possibilitou a análise dos dados coletados, utilizando-se dos resultados obtidos entre as épocas de tratamento como se fossem repetições.

Tabela 10 – Variância das temperaturas nos dois tratamentos agrupando os ciclos de cultivo como repetições

	<i>G.L.</i>	<i>Soma.de.Quadrados</i>	<i>Quadrado.Médio</i>	<i>Estat..F</i>	<i>P.valor</i>
Tratamentos	1	76,16592521	76,16592521	10,01530016	0,001797434
Resíduos	198	1505,78145	7,604956816		

Fonte: Autoria Própria

Esses dados, quando aplicados à análise, apontaram que a diferença de temperatura entre os dois tratamentos é de aproximadamente 1°C. Isso pode ser percebido também na Tabela 11, com dados do teste de Tukey.

Tabela 11 – Teste de Tukey entre os dois tratamentos se distinção de épocas de produção

<i>Fator</i>	<i>Médias</i>	<i>Grupos</i>
T0 - Testemunha	25,49357	a
T1 - Tratamento	24,25934	b

Fonte: Autoria Própria

Quando realizada a análise de variância entre as temperaturas, nas três épocas de plantio, sem diferenciar os tratamentos (Tabela 12), também é possível observar que as temperaturas ficaram bem próximas entre um cultivo e outro..

Tabela 12 – Análise de variância das temperaturas nas três épocas, sem diferenciar o tratamento

	<i>G.L.</i>	<i>Soma.de.Quadrados</i>	<i>Quadrado.Médio</i>	<i>Estat..F</i>	<i>P.valor</i>
Épocas	2	86,11996796	43,05998398	5,670986375	0,004030985
Resíduos	197	1495,827407	7,593032522		

Fonte: Autoria Própria

Os intervalos de confiança do teste de Tukey, (Gráfico 5), com segurança de 95%, mostra esse distanciamento entre as temperaturas dos dois tratamentos, sem distinguir as épocas de cultivo.

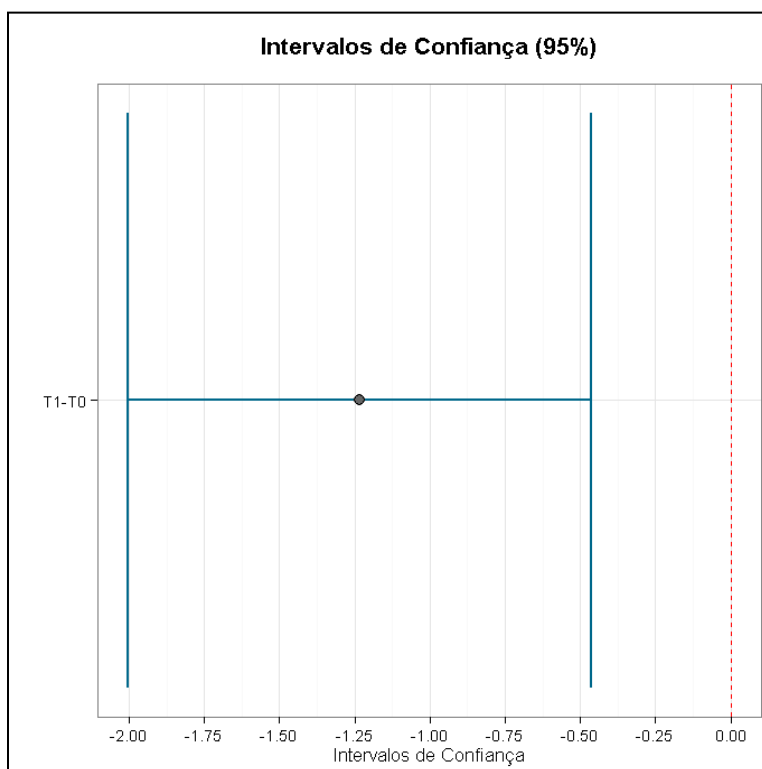


Gráfico 5 – Intervalo de segurança entre os níveis de valor, agrupando ciclos como repetições

Fonte: Autoria Própria

No teste de Tukey, é possível perceber a igualdade entre os níveis E1 e E2, exatamente em meses com temperaturas mais amenas, (início do verão), em que o tratamento T1 da solução nutritiva, não precisou gastar muita energia para manter as temperaturas adequadas para o cultivo da alface em horta hidropônica (Tabela 13). No ciclo E3, a temperatura se manteve aproximadamente 1°C abaixo, provando que o galão de solução nutritiva que fica enterrado, consegue manter a temperatura dentro dos parâmetros exigidos, dentro de um período de clima mais rigoroso de calor.

Tabela 13 – Teste de Tukey entre as épocas sem distinguir os tratamentos

<i>Fator</i>	<i>Médias</i>	<i>Grupos</i>
E3	25,5621	a
E2	25,15474	a
E1	24,01049	b

Fonte: Autoria Própria

O teste de Tukey é claro ao mostrar significativa igualdade entre os níveis E3-E2, através do Gráfico 6.

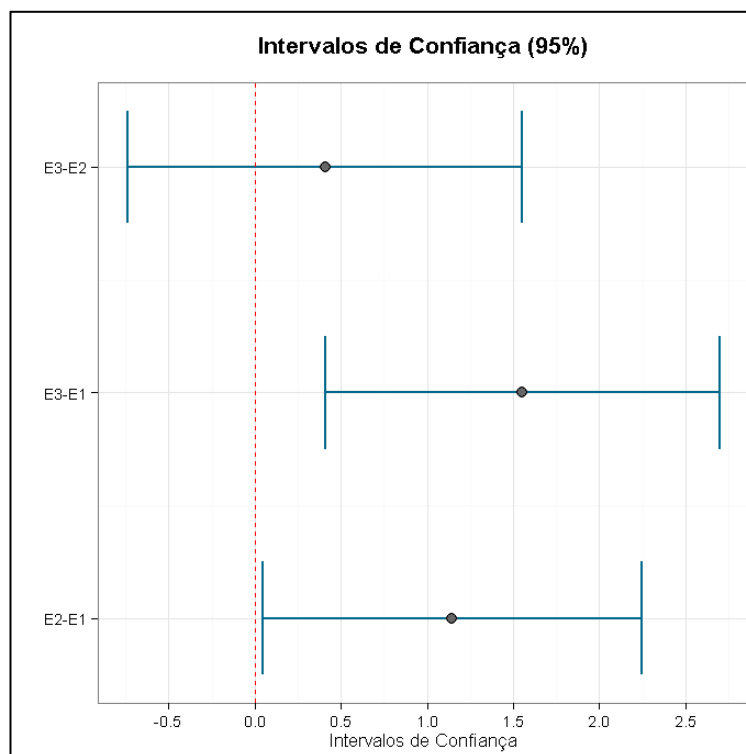


Gráfico 6 – Intervalo de segurança entre os níveis de valor das temperaturas sem diferenciar tratamentos.
Fonte: Autoria Própria

Com base no teste de comparação de média de Tukey, bem como nos resultados da ANOVA dos pesos em gramas dos 10 pés de alface comparados, para cada um dos tratamentos, não se pôde notar diferença entre os pesos médios das plantas cultivadas nos dois sistemas (Tabela 14), porém, os valores da análise descritiva (Tabela 15) dos pesos ilustram o melhor rendimento das plantas cultivadas com a solução mantida enterrada. Cometti *et al.* (2013) observaram que uma redução nas temperaturas médias é capaz de aumentar a produtividade das plantas, sendo assim, optou-se por manter o depósito de água enterrado, já que isso não acarreta grandes custos para a produção das alfaces. Também é interessante continuar os estudos pois, em outras épocas, os resultados encontrados podem ser diferentes.

Tabela 14 - Resultados da análise de variância dos pesos em gramas das plantas de alface analisadas.

Fonte da variação	SQ	GL	QM	F	valor-P	F crítico
Tratamentos	1462,05	1	1462,05	0,497673	0,497673	4,413873
Resíduo	54932,5	18	3051,806			
Total	56394,55	19				

Fonte: Autoria Própria

Tabela 15 - Síntese dos valores da análise descritiva dos pesos em gramas dos pés de alface colhidos sob os dois diferentes sistemas de estocagem da solução nutritiva.

Valores da Estatística Descritiva	Localização do Galão de Solução nutritiva	
	Sobre o solo	Enterrado
Mínimo	206	201
Média	279,6	296,7
Mediana	274,5	291,5
Máximo	378	406
Desvio Padrão da Média	17,28981717	17,64719052
Variância	2989,377778	3114,233333
Coefficiente de Variação	0,195547935	0,188086675

Fonte: Aatoria Própria

Podemos ver, na Figura 22, algumas amostras dos pés de alface em cultivo hidropônico e um dos pés colhidos para análise de produtividade.



Figura 22. Produtividade da alface em horta hidropônica automatizada com Arduino, nas 3 épocas de cultivo.

Fonte: Aatoria Própria

4.2 CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS

Inicialmente, analisou-se os dados de condutividade elétrica, coletados pelo Arduino, através de um sensor instalado no galão de solução nutritiva da Testemunha. Quando a condutividade elétrica diminuía para níveis abaixo de $1,2 \text{ dS m}^{-1}$, um comando do Arduino realizava a abertura da válvula solenoide, liberando mais solução nutritiva na água e fechando a mesma válvula, quando o sensor de condutividade informava valor maior que $1,2 \text{ dS m}^{-1}$. Essa automação foi realizada nas três épocas de cultivo, mas em alguns períodos houve a cristalização da solução nutritiva no sensor de condutividade e a falha no fornecimento de energia elétrica, contribuindo para que os dados não fossem coletados e armazenados no sistema. Os parâmetros de medição da condutividade elétrica estavam de acordo com Pantanella *et al.* (2012) que sugeriu condutividade elétrica entre 1,2 a 1,6 mS (1.200 a $1.600 \mu\text{S}$). O Gráfico 7 mostra os 17.720 dados coletados pelo sensor de condutividade elétrica durante os três ciclos de cultivo e suas possíveis falhas na coleta de dados.

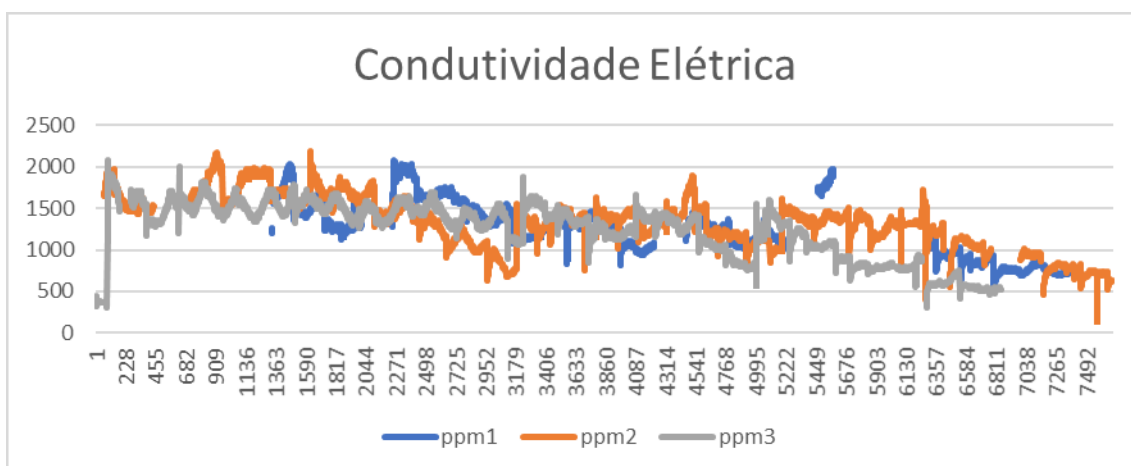


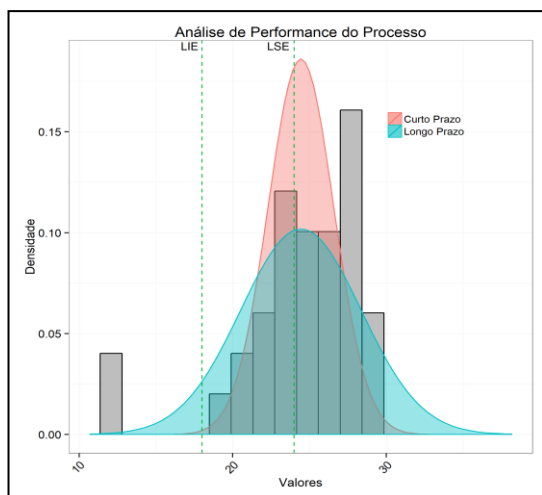
Gráfico 7 – Condutividade Elétrica nos 3 ciclos produtivos da alface hidropônica
Fonte: Autoria Própria

De qualquer forma, o sensor se comporta bem no acionamento da válvula solenoide, sendo possível manter níveis nutricionais desejados para a cultura da alface, possibilitando que a automação garanta esses parâmetros.

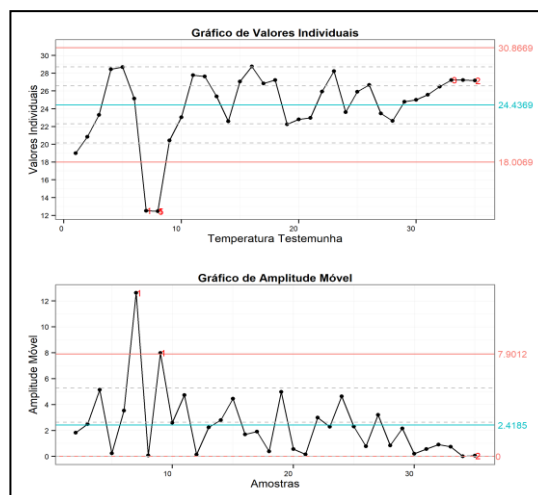
Baseado nas análises estatísticas utilizadas, notou-se que os dados referentes à temperatura da solução nutritiva da Testemunha (Figura 23), apresentou uma distribuição normal, mesmo assim, os testes paramétricos foram escolhidos para realização das análises. Os valores da temperatura da Testemunha se mantiveram bem próximas nos 3 ciclos de cultivo. Considerando que nenhum controle extra de temperatura foi utilizado na estufa, a variação se deu de forma gradual, o que não impossibilitou o processo de controle (Figuras 23B, 23D, 23F). Em relação à capacidade, notou-se que a temperatura se manteve dentro dos limites ideais descritos por Cometti *et al.* (2013) para as plantas, sendo que, no terceiro ciclo de cultivo, as temperaturas ficaram um pouco mais elevadas (Figuras 23A, 23C, 23E).

Observou-se que os dados referentes à temperatura da solução nutritiva do Tratamento (Figura 24) também apresentaram uma distribuição normal. Os valores encontrados oscilam de forma gradual ao longo dos 3 ciclos de cultivo, o que não chegou a comprometer o processo de controle (Figuras 23H, 23J, 23L). Em relação à capacidade do processo, notou-se que essa variável atende às especificações de temperatura ideal para o cultivo de alface descritas por Esmaeli e Roshandel (2020), pois nas três épocas de cultivo, as temperaturas ficaram bem semelhantes e abaixo das médias da Testemunha, (Figuras 23G, 23I, 23K). Considerando que as plantas de alface se adaptam melhor à climas mais frios e que na região de aplicação do estudo o clima é tropical, ou seja, mais quente que o ideal para as plantas, o cultivo sem nenhum tipo de alteração de temperatura ambiente das estufas, dificilmente, fornecerá a temperatura apropriada, conforme descrito pela literatura. A preferência pela manutenção das plantas em cultivos sob temperatura mais amenas é necessária pois, como explicam Seabra *et al.* (2009), a elevação da temperatura pode contribuir para um pendoamento precoce das plantas, tornando as folhas menos macias.

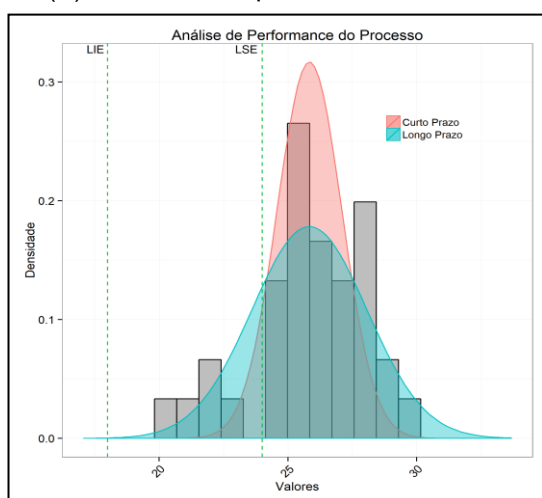
Cometti *et al.* (2013) perceberam que o resfriamento da solução proporcionou maior acúmulo de massa e elevação dos teores de água presente nas plantas, aumentando a produtividade da alface hidropônica em condições de clima tropical. Em seu experimento, a temperatura variou entre 24 e 29,9 °C na testemunha e não ultrapassou 26 °C no tratamento controlado, com resfriamento da solução.



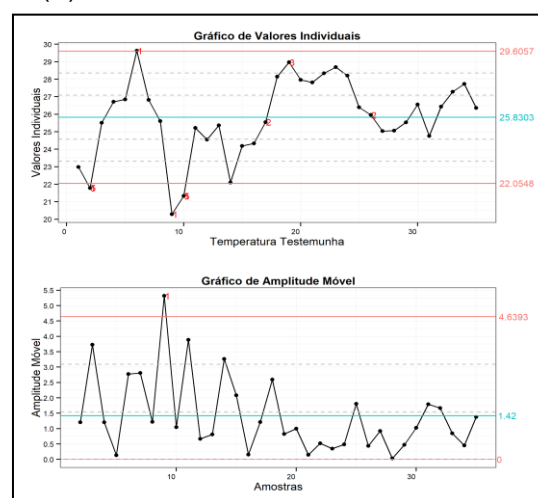
(A) Análise de Capabilidade – E1



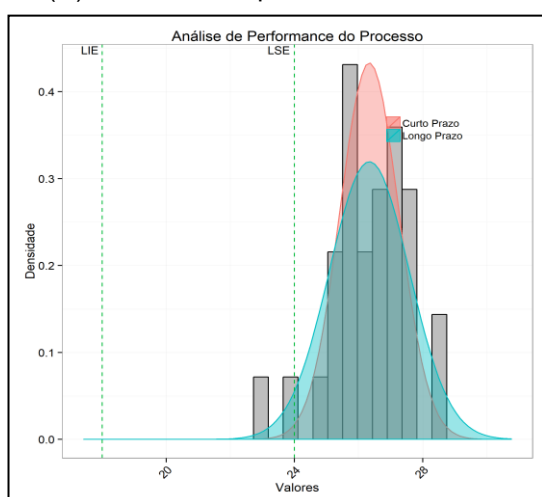
(B) Gráfico de CEP – E1



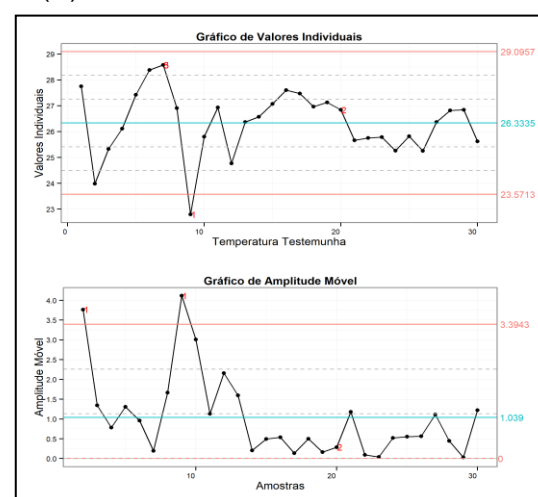
(C) Análise de Capabilidade – E2



(D) Gráfico de CEP – E2

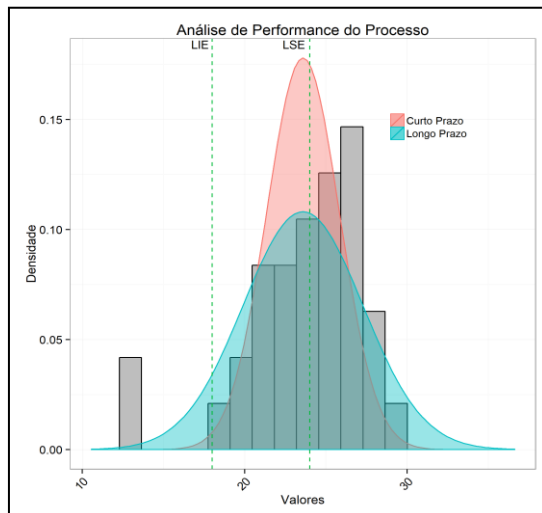


(E) Análise de Capabilidade – E3

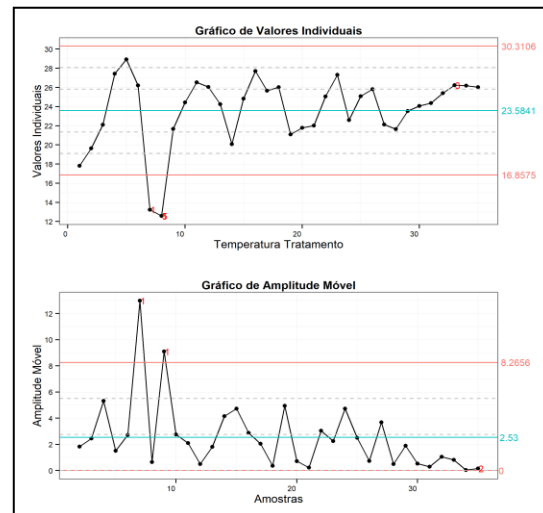


(F) Gráfico de CEP – E3

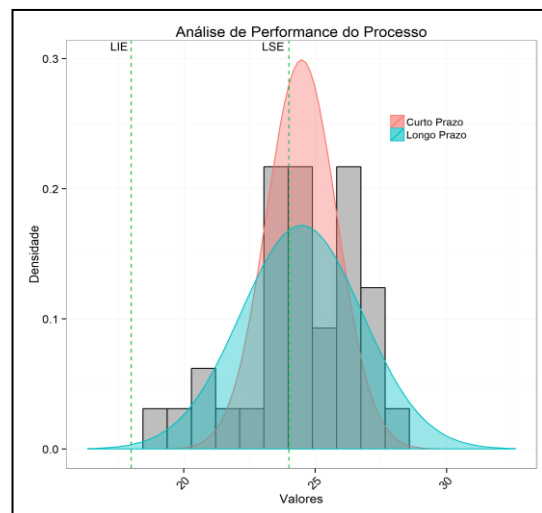
Figura 23 – Avaliação das temperaturas da solução nutritiva da Testemunha nos 3 períodos de cultivo, por meio das ferramentas de Controle Estatístico do Processo. Fonte: Autoria Própria



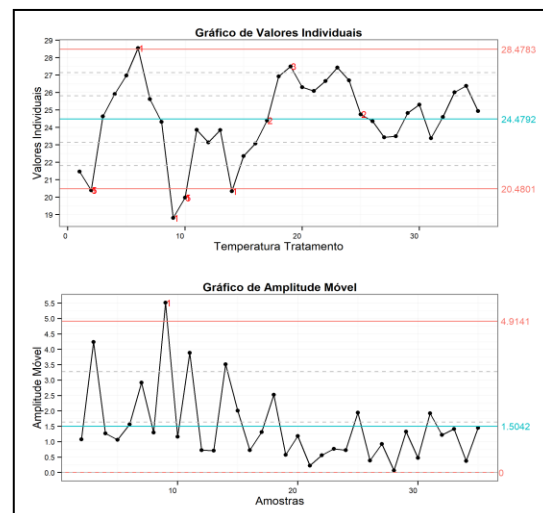
(G) Análise de Capabilidade – E1



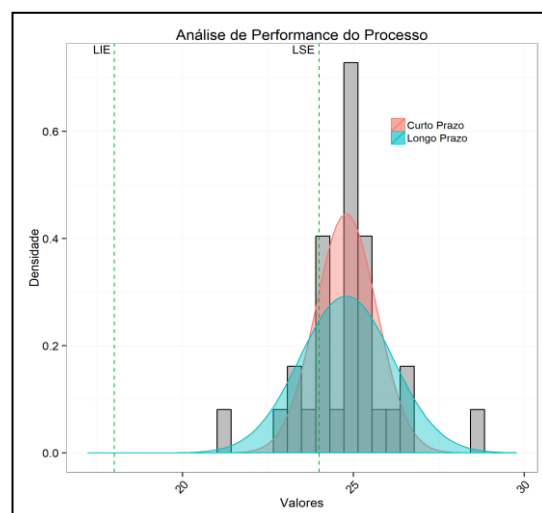
(H) Gráfico de CEP – E1



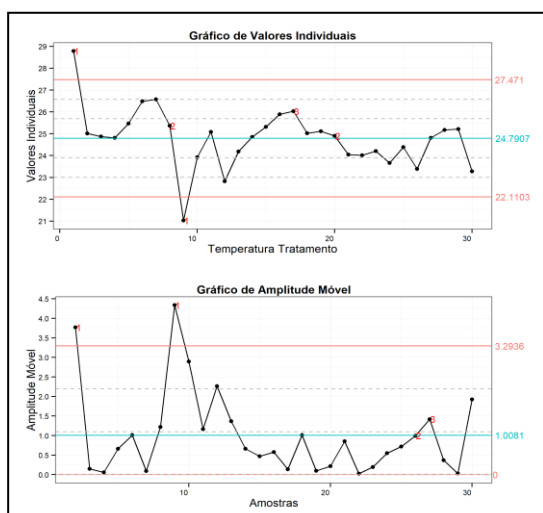
(I) Análise de Capabilidade – E2



(J) Gráfico de CEP – E2



(K) Análise de Capabilidade – E3



(L) Gráfico de CEP – E3

Figura 24 – Avaliação das temperaturas da solução nutritiva do Tratamento nos 3 períodos de cultivo, por meio das ferramentas de Controle Estatístico do Processo.
Fonte: Autoria Própria

4.2 ANÁLISE DA PRODUTIVIDADE DAS PLANTAS

Observou-se que as épocas de cultivo foram capazes de influenciar, significativamente, ao nível de 1%, no número de folhas; no peso total e útil das plantas; no peso, na largura e na altura da maior folha; no peso de 3 folhas frescas e secas; no peso da raiz úmida; na altura e no peso do caule, e na área da raiz. E, ao nível de 5% essas épocas influenciaram, substancialmente, na altura da menor folha e não ocasionaram diferenças significativas nos valores de peso útil e peso da menor folha (Tabela 16).

O tratamento de acordo com a análise de variância mostrou-se significativo ao nível de 1% apenas para os atributos: peso da menor folha, altura e peso do caule, não tendo apresentado efeito significativo para as demais características acompanhadas.

O efeito da interação pode ser considerado relevante ao nível de 1% para os atributos peso da menor folha e área da raiz, enquanto que ao nível de 5% mostrou-se significativo para os atributos altura da maior folha e peso de 3 folhas secas, apresentando resultados não expressivos para as outras variáveis, com base nos resultados da análise de variância.

Os maiores coeficientes de variação foram encontrados para as variáveis peso e altura do caule, peso da raiz úmida e número de folhas, todas com valores superiores a 20%, o que sugeriu uma elevada variação nos valores encontrados para essas características. As demais variáveis apresentaram valores inferiores a 20%, o que indicou variação de média a baixa nesses dados que se referem ao peso e ao tamanho das folhas e da área ocupada pelas raízes das plantas.

Pimentel-Gomes (1985) propôs uma classificação ao estudar os coeficientes de variação (CV) de diversos ensaios agrícolas: baixo, se inferior a 10%; médio, entre 10 e 20%; alto, quando entre 20 e 30%; e muito alto, quando são superiores a 30%. Essa classificação é inversamente proporcional à classificação da precisão do experimento, ou seja, quanto maior o CV menor a precisão experimental. Deste modo, CV baixo representa alta precisão, CV

médio, média precisão, CV alto, baixa precisão e CV muito alto, baixíssima precisão.

Tabela 16. Resumo dos resultados da análise de variância em delineamento fatorial, com dois tratamentos e 3 épocas de cultivo, para as 14 características das plantas avaliadas nos experimentos de cultivo hidropônico de alfaces. Medianeira, 2019-2020.

Fontes de Variação		Valores dos Quadrados Médios						
(FV)	GL	Número de folhas	Peso total	Peso útil	Peso menor folha	Peso maior folha	Altura menor folha	Altura maior folha
E	2	673,62**	14397,22**	953,02 ^{ns}	0,001 ^{ns}	83,27**	0,278*	59,38**
T	1	1,07 ^{ns}	4420,42 ^{ns}	3713,07 ^{ns}	0,021**	7,35 ^{ns}	0,004 ^{ns}	1,07 ^{ns}
E x T	2	1,82 ^{ns}	288,82 ^{ns}	47,02 ^{ns}	0,010**	5,60 ^{ns}	0,089 ^{ns}	4,68*
Resíduos	54	6,32	2088,92	1109,46	0,001	4,26	0,074	1,50
Média		22,67	275,78	195,37	0,31	18,52	3,56	23,62
CV (%)		23,63	18,07	17,07	13,01	14,32	7,98	7,10

Fontes de Variação		Valores dos Quadrados Médios						
(FV)	GL	Peso 3 folhas secas	Peso 3 folhas frescas	Peso raiz fresca	Larg. maior folha	Altura do caule	Peso caule	Área da raiz
E	2	3,78**	1186,25**	2465,52**	13,26**	558,43**	4753,62*	21203,24**
T	1	0,03 ^{ns}	38,40 ^{ns}	21,60 ^{ns}	0,52 ^{ns}	63,86**	464,82**	301,06 ^{ns}
E x T	2	0,42*	28,95 ^{ns}	40,85 ^{ns}	0,69 ^{ns}	7,90 ^{ns}	13,22 ^{ns}	2834,82**
Resíduos	54	0,09	25,66	71,06	2,67	4,42	35,66	502,55
Média		2,93	49,6	43,73	20,94	16,74	36,28	186,43
CV (%)		16,20	16,30	28,04	8,17	29,47	39,18	19,19

Obs. Valores com ** significativo ao nível de 1%, * significativo ao nível de 5%, ^{ns} Não significativo. GL = Graus de Liberdade; CV(%) = Coeficiente de Variação em percentual; E = Épocas de Cultivo; T = Tratamento e Testemunha.

Fonte: Autoria Própria

Realizando uma comparação de médias por meio do teste de Tukey pode-se notar que a época de cultivo não foi suficiente para alterar, significativamente, apenas as variáveis peso útil e peso da menor folha, sendo que, em todos os demais, foram observadas diferenças significativas (Tabela 17).

Percebeu-se que, no segundo ciclo de cultivo, as plantas apresentaram características inferiores relacionadas à massa das folhas e os tamanhos. No

entanto, um número maior delas, demonstrou características de caule e raiz superiores, exatamente o inverso das outras épocas.

Ainda, no segundo ciclo de cultivo, houve uma leve infestação por Tripes (*Frankliniella occidentalis*), uma praga muito conhecida em cultivos protegidos, como no caso da alface hidropônica (Daisie², 2006 *apud* Rais *et al.* 2013). Altas infestações podem provocar danos consideráveis e grandes perdas de produção, afetando também a qualidade dos produtos e sua comercialização (Murphy *et al.*, 1998). Nesse estudo, não foi realizado controle da infestação com inseticidas, por isso, o provável pendoamento precoce de algumas mudas e a redução no peso e no tamanho dos pés de alface pode ter sido gerado pelo estresse provocado pela infestação.

Há somente um inseticida capaz de controlar essa praga, o Espinosade (Rais *et al.* 2013), porém, mesmo com aplicação do produto, muitos insetos resistem ao agente químico.

Tabela 17. Valores médios e seus respectivos desvios padrão encontrados para as 14 variáveis em função das três diferentes épocas de cultivo, a saber Primeira (nov.- dez.), Segunda (dez.- jan.) e Terceira (jan.- fev.).

Variáveis	Épocas de Cultivo		
	Primeira	Segunda	Terceira
Número de Folhas	19,75 ^b ± 2,43	29,35 ^a ± 3,18	18,9 ^b ± 1,48
Peso Total	288,15 ^a ± 54,48	294,2 ^a ± 48,21	245 ^b ± 30,13
Peso útil	202,6 ^a ± 42,50	194,65 ^a ± 30,89	188,85 ^a ± 24,36
Peso menor folha	0,31 ^a ± 0,06	0,31 ^a ± 0,02	0,32 ^a ± 0,02
Peso maior folha	18,05 ^b ± 2,31	16,75 ^b ± 1,94	20,75 ^a ± 1,10
Altura menor folha	3,58 ^{ab} ± 0,25	3,66 ^a ± 0,26	3,43 ^b ± 0,29
Altura maior folha	25,53 ^a ± 1,40	22,17 ^c ± 1,07	23,15 ^b ± 1,30
Peso 3 folhas secas	3,05 ^b ± 0,31	2,45 ^c ± 0,37	3,29 ^a ± 0,26
Peso 3 folhas frescas	50,85 ^b ± 5,81	41,35 ^c ± 4,91	56,6 ^a ± 4,49
Peso da raiz fresca	47,05 ^a ± 10,15	52,8 ^a ± 9,04	31,35 ^b ± 4,77
Largura da maior folha	21,34 ^a ± 1,70	20,0 ^b ± 1,75	21,48 ^a ± 1,32
Altura do caule	14,28 ^b ± 18,91	22,8 ^a ± 2,32	13,13 ^b ± 2,02
Peso do caule	31,2 ^b ± 6,97	53,6 ^a ± 7,70	24,05 ^c ± 4,40
Área da raiz	200,48 ^a ± 23,03	209,6 ^a ± 24,01	149 ^b ± 25,20

Obs. Valores seguidos por letras distintas diferem ao nível de 5% de acordo com o teste de comparação de médias de Tukey.

Fonte: A autoria Própria

² DAISIE (**Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe**). Last updated: 2006. Disponível em: Acesso em: 8/11/2009.

Segundo o site Canal do Horticultor, o pendoamento nas alfaces é a expressão da fase reprodutiva dessa espécie. Quando cultivares dessa hortaliça são expostas a situações de estresse, este processo é acelerado. Ou seja, plantas que passam por período de estresse soltarão o pendão antes do tempo, com o intuito de perpetuar a espécie quando se sentem ameaçadas.

Isolando-se o efeito dos tratamentos e aplicando-se um teste de comparação de médias de Tukey pode-se observar uma diferença significativa apenas para as variáveis peso da menor folha, altura e peso do caule. Em todas as demais análises não se pode observar diferença entre as plantas cultivadas com a solução nutritiva, proveniente do tratamento onde o depósito permaneceu enterrado; e da testemunha, na qual a solução nutritiva era proveniente de um galão que permaneceu sobre o solo (Tabela 18).

Tabela 18. Valores médios e seus respectivos desvios padrão encontrados para as 14 variáveis em função do tratamento de enterrar o depósito de solução nutritiva e a testemunha onde o depósito foi mantido na superfície do solo, bem como as médias e desvios padrão gerais dos experimentos.

Variáveis	Médias e Desvios Padrão		Média Geral
	Tratamento	Testemunha	
Número de Folhas	22,8 ^a ± 5,66	22,53 ^a ± 5,12	22,67 ± 5,36
Peso Total	284,37 ^a ± 50,37	267,2 ^a ± 48,63	275,78 ± 49,85
Peso útil	203,23 ^a ± 33,89	187,5 ^a ± 31,40	195,37 ± 33,35
Peso menor folha	0,33 ^a ± 0,04	0,29 ^b ± 0,03	0,31 ± 0,04
Peso maior folha	18,87 ^a ± 2,61	18,17 ^a ± 2,69	18,52 ± 2,65
Altura menor folha	3,55 ^a ± 0,28	3,56 ^a ± 0,29	3,56 ± 0,28
Altura maior folha	23,75 ^a ± 1,69	23,48 ^a ± 2,09	23,62 ± 1,89
Peso 3 folhas secas	2,91 ^a ± 0,54	2,95 ^a ± 0,40	2,93 ± 0,47
Peso 3 folhas frescas	50,4 ^a ± 8,31	48,8 ^a ± 7,90	49,6 ± 8,08
Peso da raiz fresca	43,13 ^a ± 12,73	44,33 ^a ± 11,96	43,73 ± 12,26
Largura da maior	21,03 ^a ± 1,75	20,84 ^a ± 1,69	20,94 ± 1,71
Altura do caule	17,77 ^b ± 4,50	15,70 ^a ± 5,20	16,74 ± 4,93
Peso do caule	39,07 ^a ± 13,44	33,5 ^b ± 14,65	36,28 ± 14,22
Área da raiz	188,67 ^a ± 29,60	184,19 ^a ± 41,44	186,43 ± 35,77

Obs. Valores seguidos por letras distintas diferem ao nível de 5% de acordo com o teste de comparação de médias de Tukey.

Fonte: Autoria Própria

Observando-se a Tabela 19, nota-se que, dentro do primeiro cultivo, se observa uma diferença considerável entre o tratamento e a testemunha apenas

na variável peso da menor folha, uma vez que, nas plantas tratadas, esse peso foi superior. No segundo cultivo não se observaram diferenças entre as plantas cultivadas no tratamento e na testemunha. No terceiro cultivo verificou-se uma alteração entre a altura do caule das plantas cultivadas no tratamento, que foram superiores ao das testemunhas.

Tabela 19. Teste de Comparação de Média de Cada experimento individualmente

Variáveis	Comparação de Médias					
	Primeira		Segunda		Terceira	
	Trat.	Test	Trat.	Test	Trat.	Test
Número de Folhas	19,6 ^b	19,9 ^b	29,8 ^a	28,9 ^a	19 ^b	18,8 ^b
Peso Total	296,7 ^a	279,6 ^{ab}	299 ^a	289,4 ^{ab}	257,4 ^{ab}	232,6 ^b
Peso útil	210,1 ^a	195,1 ^a	201,2 ^a	188,1 ^a	198,4 ^a	179,3 ^a
Peso menor folha	0,356 ^a	0,269 ^c	0,319 ^{ab}	0,296 ^{bc}	0,319 ^{ab}	0,318 ^{ab}
Peso maior folha	19 ^{ab}	17,1 ^b	16,7 ^b	16,8 ^b	20,9 ^a	20,6 ^a
Altura menor folha	3,62 ^a	3,55 ^a	3,57 ^a	3,74 ^a	3,45 ^a	3,4 ^a
Altura maior folha	25,1 ^{ab}	25,95 ^a	22,6 ^{cd}	21,75 ^d	23,55 ^{bc}	22,75 ^{cd}
Peso 3 folhas secas	3,079 ^a	3,022 ^{ab}	2,262 ^c	2,637 ^{bc}	3,383 ^a	3,205 ^a
Peso 3 folhas frescas	52,9 ^{ab}	48,8 ^b	41 ^c	41,7 ^c	57,3 ^a	55,9 ^a
Peso da raiz fresca	48,1 ^a	46 ^a	51,4 ^a	54,2 ^a	29,9 ^b	32,8 ^b
Largura da maior folha	21,24 ^a	21,43 ^a	20,1 ^a	19,9 ^a	21,75 ^a	21,2 ^a
Altura do caule	15,15 ^b	13,41 ^{bc}	23,3 ^a	22,3 ^a	14,85 ^b	11,4 ^c
Peso do caule	34,7 ^b	27,7 ^{bc}	55,5 ^a	51,7 ^a	27 ^b	21,1 ^c
Área da raiz	191,6 ^{ab}	209,36 ^a	210,4 ^a	208,8 ^a	164 ^{bc}	134,4 ^c

Fonte: Autoria Própria

Dessa forma pode-se perceber, claramente, que as épocas influenciaram muito mais as características das plantas do que o tratamento testado, e que este, por sua vez, alterou muito pouco o comportamento das plantas. Mesmo se percebendo diferença significativa entre a temperatura da solução nutritiva utilizada no tratamento e na testemunha isso por fim não foi capaz de afetar muito o desenvolvimento das plantas, que apresentaram massas por vezes superiores, as diferenças não se mostraram estatisticamente significativas em relação ao comportamento das plantas nas três safras seguidas, pois, a alteração que se observou entre as plantas tratadas ou não com solução nutritiva proveniente do depósito enterrado, não influenciou, consideravelmente, no resultado final, diferente do que ocorreu entre os períodos de cultivo.

5 CONCLUSÃO

Enterrar o depósito de água, utilizado para o cultivo hidropônico, mostrou-se relevante, tendo em vista que a temperatura da água ficou, em média, 1°C inferior ao outro sistema e foi, estatisticamente, diferente. Esse aspecto possibilitaria a redução de um possível gasto energético, caso fosse necessário o resfriamento da solução nutritiva em dias de calor excessivo. Ressalta-se, ainda, que a massa, em gramas, das plantas cultivadas com a solução do galão mantido enterrado apresentou-se superior, apesar de não ter sido significativamente diferente da massa das plantas cultivadas com a solução nutritiva do galão mantido acima da superfície do solo.

A referência a este estudo nos ilustra que a diferença na temperatura da água pode alterar o desenvolvimento das plantas. A colocação do depósito sob o solo possibilitou avaliar a redução de equipamentos para o controle da temperatura da solução nutritiva, conseqüentemente, haverá uma diminuição considerável de custos no cultivo das plantas por meio do sistema hidropônico, na região avaliada.

Outra vantagem dessa pesquisa foi a utilização de sensor reutilizável, ou seja, basta lavar em água corrente e pode ser usado para novas leituras. Esse sensor otimiza custos, pois faz a leitura da temperatura da solução nutritiva de forma profissional, sem necessitar de técnicas mais antigas, que se utilizam de papel e/ou corantes para leituras laboratoriais muito mais demoradas e custosas. A instalação e o correto funcionamento dos sensores pôde ser verificada, possibilitando um acompanhamento mais preciso dos dados microclimáticos das soluções nutritivas. Essa análise aproxima o cultivo hidropônico comum de uma hidroponia mais moderna, que caminha para a Agricultura 4.0, em que a automação e a agricultura de precisão serão indispensáveis.

As análises permitiram observar que os períodos de cultivo afetaram muito mais as características das plantas do que o tratamento testado, não havendo alterações significativas no comportamento das amostras. Notou-se ainda que, mesmo identificando uma diferença visível na temperatura das soluções nutritivas utilizadas (Tratamento e Testemunha), isso não afetou o

desenvolvimento das plantas. Comprovou-se que a alteração foi mais significativa nas plantas entre as safras, do que entre os dois tratamentos da experiência.

REFERÊNCIAS

AWAD, Yasser Mahmoud *et al.* Biochar, a potential hydroponic growth substrate, enhances the nutritional status and growth of leafy vegetables. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 156, p.581-588, jul. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.070>.

BARON, D. *et al.* Plant Physiological Responses to Nutrient Solution: An Overview (Cap 24). In: AHMAD, P. *et al.* **Plant Metabolites and Regulation Under Environmental Stress**, Academic Press, 2018, p.415-425. ISBN 9780128126899. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812689-9.00024-8>.

BUCKSETH, T. *et al.* Methods of pre-basic seed potato production with special reference to aeroponics—A review. **Scientia Horticulturae**, [s.l.], v. 204, p.79-87, jun. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2016.03.041>.

CANAL DO HORTICULTOR (2020). Disponível em <https://canaldohorticultor.com.br/saiba-como-evitar-o-pendoamento-precoce-nas-alfaces/>. Acesso em 07 mai. 2020.

CARVALHO, J. E.; ZANELLA, F.; MOTA, J. H.; LIMA, A. L. S. **Cobertura morcot do solo no cultivo de alface** Cv. Regina 2000, em Ji-Paraná/RO. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 29, n. 5, p. 935-939, 2005.

COMETTI, N. N. *et al.* Cooling and concentration of nutrient solution in hydroponic lettuce crop. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.31, p.287-292, 2013.

CORDELL, D., *et al.* The story of phosphorus: **global food security and food for thought**. *Global Environmental Change*, v. 19, n. 2, p. 292- 305, 2009.

CORTELLA, G. *et al.* Temperature control of nutrient solution in floating system cultivation. **Applied Thermal Engineering**, [s.l.], v. 73, n. 1, p.1055-1065, dez. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.08.068>.

DARDER, Margarita *et al.* Multisensor device based on Case-Based Reasoning (CBR) for monitoring nutrient solutions in fertigation. **Sensors And Actuators B: Chemical**, Madrid, Spain, p.530-535, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925400508006412>>. Acesso em: 26 ago. 2018.

DFROBOT, 2019. Disponível em <https://www.dfrobot.com/product-1025.html>. Acesso em 23 fev 2019. Acesso em 23 de mar. 2019.

DJEKIC, I. TOMASEVIC, I. Tools in Improving Quality Assurance and Food Control (Cap 03). HOLBAN, A. M. GRUMEZESCU, A. M. In: **Handbook of Food Bioengineering: Food Control and Biosecurity**, Academic Press, 2018, Pages 63-104, ISBN 9780128114452, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811445-2.00003-9>.

DOMINGUES, D. S. *et al.* Automated system developed to control pH and concentration of nutrient solution evaluated in hydroponic lettuce production. **Computers And Electronics In Agriculture**, [s.l.], v. 84, p.53-61, jun. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2012.02.006>.

DUARTE J.B. **Princípios sobre delineamentos em experimentação agrícola**. Universidade Federal de Goiás, 1996.

EEK SON, J.; KIM, H.J.; AHN, T.I. Hydroponic Systems (Cap. 17). In: KOZAI, T; NIU, G; TAKAGAKI. M. **Plant Factory**. Academic Press, 2016, p.213-221. ISBN 9780128017753. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801775-3.00017-2>.

ECONOMAKIS, C.D.; SAID, M. Effect of solution temperature on growth and shoot nitrate content of lettuce grown in solution culture. **Acta Horticulture**, n.579, p.411-415, 2002. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.579.71>.

ERIDANI, D.; et at. Designing and Implementing the Arduino-based Nutrition Feeding Automation System of a Prototype Scaled Nutrient Film Technique (NFT) Hydroponics using Total Dissolved Solids (TDS) Sensor. **4th Int. Conf. On Information Tech., Computer, And Electrical Engineering (icitacee)**, Semarang, Indonesia, p.170-175, 18 out. 2-17. (ICITACEE). doi:10.1109/icitacee.2017.8257697 Disponível em: <<https://scihub.tw/10.1109/icitacee.2017.8257697>>. Acesso em: 26 ago. 2018.

ESMAELI, H.; ROSHANDEL, R. Optimal design for solar greenhouses based on climate conditions. **Renewable Energy**, [s.l.], v. 145, p.1255-1265, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.090>.

FAO, FIDA, UNICEF, PMA y OMS. 2018. **El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo. Fomentando la resiliencia climática en aras de la seguridad alimentaria y la nutrición**. FAO, Roma. <http://www.fao.org/3/i9553ES/i9553es.pdf> Acesso em 02 fev. 2019.

FERREIRA, L. L. *et al.* Comportamento de variedades de alface na semeadura de março no município de Areia-PB. **Scientia Plena**, v.9, n.4, 2013.

FU, Yuming *et al.* Interaction effects of light intensity and nitrogen concentration on growth, photosynthetic characteristics and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L. Var. youmaicai). **Elsevier: Scientia Horticultura**, China, v. 214, p.51-57, 05 jan. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423816305799?via%3Dihub>>. Acesso em: 17 nov. 2018.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

FURLANI, P.R.; SILVEIRA, L.C.P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1999. 5p. (Boletim técnico, 180).

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 1999.

_____. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.
GOTO R. e TIVELLI S. W. (1998) A cultura da alface. In: Goto R & Tivelli. S.W. (Ed.). **Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais**. São Paulo, FUNEP. p.137-159.

GWYNN-JONES, D. *et al.* Can the optimisation of pop-up agriculture in remote communities help feed the world? **Global Food Security**, [s.l.], v. 18, p.35-43, set. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gfs.2018.07.003>.

IAPAR 2019. Atlas Climático do Paraná. Disponível em <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=2533>. Acesso em 23 mar. 2019.

IBGE 2017. Censo agropecuário 2017: **Resultados Preliminares**. v.7. E-book. Rio de Janeiro. Disponível em https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3093/agro_2017_resultados_preliminares.pdf. Acesso em 09 fev 2019.

JOHNSON JR, H. **Soilless Culture of Greenhouse Vegetables**. Vegetable Research and Information Center. University of California. Disponível em: http://vric.ucdavis.edu/pdf/hydroponics_soillesscultureofgreenhouse%20vegeta

bles.pdf. Acesso em 15 ago.; 2018.

JONES Jr, J. B. **Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower**. 2.ed. CRC Press: Boca Raton, London, New York, Washington. 2005.

KYAW, Thu Ya; NG, Andrew Keong. Smart Aquaponics System for Urban Farming. **Science Direct**, Singapore, v. 143, p.342-347, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217364585>. Acesso em: 27 ago. 2018.

LIN, K. *et al.* The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *capitata*). **Scientia Horticulturae**, [s.l.], v. 150, p.86-91, fev. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.002>.

LOPES, Carlos Alberto; SILVA, João Bosco Carvalho da; GUEDES, Ítalo Moraes Rocha. **Doenças em Cultivos Hidropônicos e Medidas de Controle**: Comunicado Técnico, 107. 2015. EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <https://www.embrapa.br/web/portal/comunicados-tecnicos>. Acesso em: maio de 2015.

LUZ, J. M. Q.; GUIMARAES, S. T M R; KORNDORFER, G. H. Produção hidropônica de alface em solução nutritiva com e sem silício. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.24, n.3, p.295-300, Set. 2006. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362006000300005&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 26 ago. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362006000300005>.

MONTEIRO FILHO, Antonio F. *et al.* Cultivo hidropônico de cultivares de alface em soluções nutritivas organominerais otimizadas com a ferramenta SOLVER. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, Pb, v. 8, n. 4, p.417-424, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v18n4/v18n04a09.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2018.

MOSA, A.; EL-BANNA, M. F.; GAO, B. Biochar filters reduced the toxic effects of nickel on tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) grown in nutrient film technique hydroponic system. **Chemosphere**, [s.l.], v. 149, p.254-262, abr. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.01.104>.
MURPHY, B.C.; MORISAWA, T.A.; NEWMAN, J.P.; TJOSVOLD, S.A.; PARRELLA, M.P. **Fungal pathogen controls thrips in greenhouse flowers**. **California Agriculture**, v.52, p.32-36, 1998.

OHSE, Silvana *et al.* QUALIDADE DE CULTIVARES DE ALFACE PRODUZIDOS EM HIDROPONIA. **Scientia Agricola**, Piracicaba, Sp, v. 58, n. 1, p.181-185, 2001. Disponível em: <<http://tudohidroponia.net/wp-content/uploads/2013/07/QUALIDADE-DE-CULTIVARES-DE-ALFACE.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2018.

ONU. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2018). **World Urbanization Prospects: The 2018 Revision**, File 06. Online Edition. <https://population.un.org/wup/Download/>. Acesso em 02 fev 2018.

PALANDE, Vaibhav *et al.* Fully Automated Hydroponic System for Indoor Plant Growth. **Sciencedirect**: 2017 International Conference on Identification, Information and Knowledge in the Internet of Things, United States, n. 129, p.482-488, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/search?authors=palande&show=25&sortBy=relevance>. Acesso em: 29 mar. 2019.

PANTANELLA, E. *et al.* Aquaponics Vs. Hydroponics: Production And Quality Of Lettuce Crop. **Acta Horticulturae**, [s.l.], n. 927, p.887-893, fev. 2012. International Society for Horticultural Science (ISHS). <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2012.927.109>.

PAULUS, Dalva *et al.* Crescimento, consumo hídrico e composição mineral de alface cultivada em hidroponia com águas salinas. **Revista Ceres**: Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/mg, v. 59, n. 1, p.110-117, fev. 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rceres/v59n1/a16v59n1.pdf>>. Acesso em: 02 nov. 2019.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. 12. ed. Piracicaba: Livraria Nobel, 1985. 467p.

PORTAL ACTION. **Conheça Action Stat: Ambiente Virtual de Aprendizado**. Disponível em: <http://www.portalaction.com.br>. Acesso em: 21 mar. 2019.

RAIS, Débora Soller; SATO, Mário Eidi; SILVA, Marcos Zatti da. **Deteção e monitoramento da resistência do trips *Frankliniella occidentalis* ao inseticida espinosade**. 2013. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/brag/2013nahead/1624_13.pdf. Acesso em: 17 maio 2020.

RIBEIRO, Maria Clarete Cardoso *et al.* INFLUÊNCIA DO SOMBRITE NO DESENVOLVIMENTO DA ALFACE EM CULTIVO HIDROPÔNICO. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável: GRUPO VERDE DE AGRICULTURA ALTERNATIVA (GVAA)**, Mossoró-rn, v. 2, n. 2, p.69-72, dez. 2007. Disponível em: <<http://revista.gvaa.com.br>>. Acesso em: 03 nov. 2019.

ROBOCORE 2019. Disponível em https://www.robocore.net/loja/arduino/placa-uno-r3-com-cabo-usb-para-arduino?gclid=Cj0KCQiA-8PjBRCWARIsADc18TLotNOZ77g5bcWtmiO7Nw41Tacsh-brpoTQzo_2ViCIJadnoPRBMClAqslEALw_wcB. Acesso em 20 mar 2019.

ROMEO, D.; VEA, E.B.; THOMSEN, M. Environmental Impacts of Urban Hydroponics in Europe: A Case Study in Lyon. **Procedia Cirp**, [s.l.], v. 69, p.540-545, 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.048>.

ROSSI, F.; MIRTICHEV, V. Statistical Process Control (SPC) (Cap 07). In: ROSSI, F.; MIRTICHEV, V. (Ed.). **Statistics for Food Scientists**. Academic Press, 2016a, p. 71- 81. ISBN 9780124171794. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417179-4.00007-X>.

ROSSI, F.; MIRTICHEV, V. Process Capability (Cap 09). In: ROSSI, F.; MIRTICHEV, V. (Ed.). **Statistics for Food Scientists**. Academic Press, 2016b, p. 91-104. ISBN 9780124171794. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417179-4.00009-3>.

ROUPHAEL, Y. *et al.* Improving vegetable quality in controlled environments. **Scientia Horticulturae**, [s.l.], v. 234, p.275-289, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.033>.

SANTOS, O. S. **Hidroponia da alface**. Santa Maria: Imprensa Universitária, 2000, 160p.

_____*et al.* **Cultivos sem solo – Hidroponia**. 2^a reimpressão. Santa Maria: UFSM/CCR, 2002. 107p.

SEABRA JUNIOR, S.; SOUZA, S.B.S.; THEODORO, V.C.A.; NUNES, M.C.M.; AMORIN, R.C.; SANTOS, C.L.; NEVES, L.G. Desempenho de cultivares de alface tipo crespa sob altas temperaturas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.27, p.3171-3176, 2009.

SANTOS, J. D. dos *et al.* Development of a vinasse nutritive solution for hydroponics. **Journal Of Environmental Management**, [s.l.], v. 114, p.8-12, jan. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.10.045>.

SIHOMBING, P. *et al.* Automated hydroponics nutrition plants systems using arduino uno microcontroller based on android. **Journal Of Physics: Conference Series**, [s.l.], v. 978, p.1-6, mar. 2018. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/978/1/012014>.

SOARES, T.M. (2007) **Utilização de águas salobras no cultivo da alface em sistema hidropônico NFT com alternativa agrícola condizente ao semi-árido brasileiro**. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 267p.

SOUZA, Maria da Conceição M de *et al.* Variabilidade genética para características agronômicas em progênies de alface tolerantes ao calor. **Horticultura Brasileira**, [s.l.], v. 26, n. 3, p.354-358, set. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-05362008000300012>.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987.

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

VAN GINKEL, *et al.* Energy, water and nutrient impacts of California-grown vegetables compared to controlled environmental agriculture systems in Atlanta, GA. **Resources, Conservation and Recycling**, [s.l.], v. 122, p.319-325, jul. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.03.003>.

VAZ, M. A. B. **Estudo de delineamentos experimentais no esquema factorial duplo com um tratamento adicional**. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo – USP. Piracicaba/SP. 2013.

VIEIRA, S. **Análise de variância: (ANOVA)** / Sonia vieira. – São Paulo: Atlas, 2006.

WORTMAN, S. E. Crop physiological response to nutrient solution electrical conductivity and pH in an ebb-and-flow hydroponic system. **Scientia Horticulturae**, [s.l.], v. 194, p.34-42, out. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.07.045>.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Código fonte de programação do Arduino para automação de horta hidropônica

```

#include "DHT.h"
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <DS1307.h>

File myFile;

OneWire ourWire(9);          //Se establece el pin 9 como bus OneWire
DallasTemperature sensors(&ourWire); //Se declara una variable u objeto para nuestro sensor
DeviceAddress address1 = {0x28, 0xFF, 0x5E, 0xA7, 0x73, 0x16, 0x5, 0x22}; //dirección del sensor 1
DeviceAddress address2 = {0x28, 0xE5, 0xF, 0x43, 0x98, 0x18, 0x0, 0x4C}; //dirección del sensor 2

float Temperature=10;
float EC=0;
float EC25 =0;
int ppm =0;
float raw= 0;
float Vin= 5;
float Vdrop= 0;
float Rc= 0;
float buffer=0;

DHT dht(A0, DHT11);
DS1307 rtc(A4, A5);

int motobomba1 = 4, motobomba2 = 5, motor1 = 6, motor2 = 7, hora, reposicao=8,
numReposicao = 0;
//condutivemetro
int R1= 1000;
int Ra=25; //Resistance of powering Pins
int ECPin= A1;
int ECGround=A2;
int ECPower =A3;
float PPMconversion=0.7;
float TemperatureCoef = 0.019;
float K=2.88; //aferição

void setup() {
  sensors.begin(); //Se inicia el sensor de temperatura da agua
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial) {
    ; // wait for serial port to connect. Needed for native USB port only
  }
  dht.begin();
  pinMode(motor1, OUTPUT);

```



```

pinMode(motor2, OUTPUT);
pinMode(motobomba1, OUTPUT);
pinMode(motobomba2, OUTPUT);

//Aciona o relógio
rtc.halt(false);
//As linhas abaixo setam a data e hora do módulo
//e podem ser comentada após a primeira utilização
//rtc.setDOW(SUNDAY); //Define o dia da semana
//rtc.setTime(22, 54, 0); //Define o horário
//rtc.setDate(18, 8, 2019); //Define o dia, mês e ano
//Definições do pino SQW/Out
rtc.setSQWRate(SQW_RATE_1);
rtc.enableSQW(true);

pinMode(ECPin, INPUT);
pinMode(ECPower, OUTPUT); //Setting pin for sourcing current
pinMode(ECGround, OUTPUT); //setting pin for sinking current
digitalWrite(ECGround, LOW);
R1=(R1+Ra);
}

void loop() {
digitalWrite(motor1, HIGH);
digitalWrite(motor2, HIGH);
digitalWrite(motobomba1, HIGH);
digitalWrite(motobomba2, HIGH);

int umidade, temp;
umidade = dht.readHumidity();
temp = dht.readTemperature();

sensors.requestTemperatures(); //envia o comando para obter as temperaturas
int temp1 = sensors.getTempC(address1); //Se obtiene la temperatura en °C del sensor 1
int temp2 = sensors.getTempC(address2); //Se obtiene la temperatura en °C del sensor 2

//Mostra a data e hora
Serial.print("Hora : ");
Serial.print(rtc.getTimeStr());
Serial.print(" ");
Serial.print("Data : ");
Serial.print(rtc.getDateStr(FORMAT_SHORT));
Serial.print(" ");
Serial.println(rtc.getDOWStr(FORMAT_SHORT));

Serial.print("Temp. Terra:");
Serial.println(temp1);
Serial.print("Temp. fora terra:");
Serial.println(temp2);

Serial.print("Umidade (%): ");
Serial.println(umidade);

```

```

Serial.print("Temperatura (graus Celsius): ");
Serial.println(temp);

//*****Estimates Resistance of Liquid *****//
Temperature = temp2;
digitalWrite(ECPower,HIGH);
raw= analogRead(ECPin);
raw= analogRead(ECPin);// This is not a mistake, First reading will be low beause if charged a capacitor
digitalWrite(ECPower,LOW);
Vdrop= (Vin*raw)/1024.0;
//***** Converts to EC *****//
Rc=(Vdrop*R1)/(Vin-Vdrop);
Rc=Rc-Ra; //accounting for Digital Pin Resitance
EC = 1000/(Rc*K);
//*****Compensating For Temperaure*****//
EC25 = EC/ (1+ TemperatureCoef*(Temperature-50.0));
ppm=(EC25)*(PPMconversion*1000);
Serial.print("Rc: ");
Serial.print(Rc);
Serial.print(" EC: ");
Serial.print(EC25);
Serial.print(" Simens ");
Serial.print(ppm);
Serial.print(" ppm ");
Serial.print(Temperature);
Serial.print(" *C ");
Serial.print(" Reposição de solução:");
Serial.println(numReposicao);

if (!SD.begin(10)) { //Serial.print("Initializing SD card...");
  Serial.println("Erro cartao memoria!!!");
}
myFile = SD.open("Horta.txt", FILE_WRITE);
if (myFile) {
  Serial.print("Gravando dados da horta...");

  myFile.print("Data e hora:");
  myFile.print(rtc.getTimeStr());
  myFile.print(" ");
  myFile.print(rtc.getDateStr(FORMAT_SHORT));
  myFile.print(" ");
  myFile.print(rtc.getDOWStr(FORMAT_SHORT));
  myFile.print(" ");

  myFile.print(" Temp. Terra:");
  myFile.print(temp1);
  myFile.print(" Temp. fora terra:");
  myFile.print(temp2);

  myFile.print(" Umidade (%): ");
  myFile.print(umidade);
}

```

```

myFile.print(" Temperatura (graus Celsius): ");
myFile.print(temp);
myFile.print(" ");

myFile.print("Rc: ");
myFile.print(Rc);
myFile.print(" EC: ");
myFile.print(EC25);
myFile.print(" Simens ");
myFile.print(ppm);
myFile.print(" ppm ");
myFile.print(Temperature);
myFile.print(" *C ");
myFile.print(" Reposição de solução:");
myFile.println(numReposicao);

myFile.close();
Serial.println("Fim gravacao.");
} else {
  Serial.println("error opening Horta.txt");
}

String horastr = "";
horastr += String(rtc.getTimeStr()).charAt(0);
horastr += String(rtc.getTimeStr()).charAt(1);
hora = atoi(horastr.c_str());

if(hora>19){
  Serial.println(hora);
  Serial.println("Tempo para descanso fim de dia!!!");
  delay(300000); //cinco minutos
} else {
  if(hora < 7){
    Serial.println("Tempo para descanso noite!!!");
    reposicao = 8;
    numReposicao = 0;
    delay(1200000); //20 min
  } else {
    Serial.println(hora);
    Serial.println("Tempo para descanso dia!!!");
    if (ppm < 1200){
      //if (hora == reposicao){
        Serial.println("reabastecendo!!!");
        reposicao++;
        numReposicao++;
        digitalWrite(motobomba1, LOW);
        digitalWrite(motobomba2, HIGH);
        delay(6000); //6 seg
        digitalWrite(motobomba1, HIGH);
        digitalWrite(motobomba2, LOW);
        delay(6000); //6 seg
        digitalWrite(motobomba1, HIGH);
      }
    }
  }
}

```

```
    digitalWrite(motobomba2, HIGH);  
    delay (90000);  
    //  
  } else {  
    delay(120000); //2 minuto  
  }  
}  
}
```

```
digitalWrite(motor1, HIGH);  
digitalWrite(motor2, LOW);  
//delay(300000); //cinco minutos  
//delay(600000); //dez minutos  
//delay(540000); //9 minutos  
delay(60000); //1 min
```

```
digitalWrite(motor2, HIGH);  
digitalWrite(motor1, LOW);  
//delay(300000); //cinco minutos  
//delay(600000); //dez minutos  
//delay(540000); //9 minutos  
delay(60000); //1 min
```

```
digitalWrite(motor1, HIGH);  
digitalWrite(motor2, HIGH);  
}
```

ANEXO

informando o código verificador **1495434** e o código CRC **DD8C6FF5**.

ANEXO A – Resultado de análise foliar de resíduos orgânicos em amostras de alface hidropônica



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
 Campus Pato Branco
 Laboratório de Solos UTFPR
 Rodovia PR 469, Km 01. Cx.Postal 571 - 85501-970
 Telefone: (46) 3220 2539 Pato Branco - PR

LABORATÓRIO DE TECIDO VEGETAL E RESÍDUOS ORGÂNICOS

Solicitante: Marcelo Carlet / Prof. Carla Schmidt

Finalidade: Pesquisa - UTFPR

Endereço: UTFPR-MD

Identificação: folhas alface

Resultado de Análise de Resíduo Orgânico

Amostras	Talhão	N(%)	P(%)	K(%)
352 P	A1	3,63	0,52	8,06
353 P	A2	3,63	0,60	3,86
354 P	A3	4,36	0,65	3,73
355 P	A4	4,54	0,58	3,99
356 P	A5	4,00	0,59	4,12
358 P	A6	4,00	0,54	3,68
359 P	B1	4,00	0,54	4,14
360 P	B2	4,36	0,66	3,81
361 P	B3	4,36	0,62	3,65
362 P	B4	4,18	0,62	4,04
363 P	B5	3,81	0,53	3,89
364 P	B6	3,63	0,57	3,47


Para maiores esclarecimentos consulte um Engenheiro Agrônomo.

A análise desta(s) amostra é realizada de acordo com a metodologia descrita no manual de Análise de Solo, Plantas e Outros Materiais (Tedesco et al, 1995).

Este resultado representa a amostra enviada pelo interessado.



Pato Branco, 17 de Outubro de 2019


 Dr. Luís César Cassol
 Engenheiro Agrônomo
 CREA-PR 029.077/D
 UTFPR - Câmpus Pato Branco