



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL
SUSTENTÁVEL – PRODER.

LEÔNCIO GONÇALVES RODRIGUES

AUTOMAÇÃO DO CULTIVO HIDROPÔNICO EM SISTEMA NFT COM
ÁGUA SALOBRA, EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA E UMIDADE DO AR.

CRATO – CE

Março/2022

LEÔNCIO GONÇALVES RODRIGUES

**AUTOMAÇÃO DO CULTIVO HIDROPÔNICO EM SISTEMA NFT COM
ÁGUA SALOBRA, EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA E UMIDADE DO AR.**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável, da Universidade Federal do Cariri – UFCA, como requisito para obtenção do título de mestre em Desenvolvimento Regional Sustentável.

Linha de Pesquisa: Meio Ambiente.

Sublinha de pesquisa: Gestão, monitoramento e manejo integrado dos recursos hídricos.

Orientadora: Prof.^a Dra. Ana Célia Maia Meireles

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Wagner Oliveira

CRATO – CEARÁ

Março/2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação.
Universidade Federal do Cariri.
Sistema de Bibliotecas

R696a Rodrigues, Leôncio Gonçalves.

Automação do cultivo hidropônico em sistema NFT com água salobra, em função da temperatura e umidade do ar / Leôncio Gonçalves Rodrigues. – 2022.
108 f.: il. color. 30 cm.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Cariri, Programa de Pós- Graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável (PRODER), Crato, 2022.

Orientação: Profa. Dra. Ana Célia Maia Meireles.

Coorientação: Prof. Dr. Carlos Wagner Oliveira

1. Hidroponia. 2. Cultivo sem solo. 3. Arduino. 4. Desenvolvimento Sustentável. 5. Salinidade.
I. Título.

CDD 631.585

Bibliotecária: Glacínésia Leal Mendonça
CRB 3/ 925

LEÔNCIO GONÇALVES RODRIGUES

**AUTOMAÇÃO DO CULTIVO HIDROPÔNICO EM SISTEMA NFT COM
ÁGUA SALOBRA, EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA E UMIDADE DO AR.**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável, da Universidade Federal do Cariri – UFCA, como requisito para obtenção do título de mestre em Desenvolvimento Regional Sustentável.

Área de concentração: Desenvolvimento Regional Sustentável.

Linha de Pesquisa: Meio Ambiente.

Sublinha de Pesquisa: Monitoramento e manejo integrado dos recursos hídricos.

APROVADO EM: 30 de março de 2022

BANCA EXAMINADORA:



Prof.^a Dra. Ana Célia Maia Meireles.
Orientadora. Presidente da Banca examinadora.
Universidade Federal do Cariri (PRODER/UFCA).



Prof. Dr. Carlos Wagner Oliveira
Coorientador. Membro Interno.
Universidade Federal do Cariri (PRODER/UFCA).



Prof. Dr. Alan Bernard Oliveira de Sousa
Membro Externo
Universidade Federal do Ceará (PPGEA / UFC)

Dedico esta dissertação a Deus que me deu virtude, coragem e resiliência para enfrentar este desafio, a minha esposa Cícera Naiécia Bezerra de Sousa que sempre esteve ao meu lado e a minha filha Sara Sousa Rodrigues fonte de motivação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço acima de tudo a Deus que me deu saúde, coragem e motivação.

À minha esposa Cícera Naiécia Bezerra de Sousa, que foi paciente e compreensiva, por minha ausência, para dedicar-me aos estudos, e a minha filha Sara Sousa Rodrigues fonte de motivação e inspiração.

Agradeço à minha família, que esteve ao meu lado e sempre vai estar me apoiando em todos os projetos que venha colocar em prática.

Agradeço a Universidade Federal do Cariri – UFCA e ao Programa de pós-graduação em Desenvolvimento Sustentável – PRODER, a todos os professores, colaboradores, colegas e amigos que muito me ensinaram nesse período.

Aos professores Juan Pizarro e Alan Bernard Sousa pelas considerações no trabalho de qualificação.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de auxílio financeiro.

Por fim, agradeço à minha orientadora Professora Dra. Ana Meireles e ao coorientador Professor Dr. Carlos Oliveira que me mostraram o caminho a ser seguido o que possibilitou que este projeto fosse realizado.

RESUMO

A região semiárida do Brasil é fortemente castigada pelas secas recorrentes, com grande parte de seus solos com embasamento cristalino, o que confere qualidade inferior às águas de seu subsolo. O emprego da irrigação nessa região, nem sempre é viável, por consequência da quantidade hídrica limitada ou má qualidade da água e das condições de solos rasos. A hidroponia, no entanto, não tem restrição quanto ao solo e as culturas cultivadas sob cultivo hidropônico são mais tolerantes a salinidade, o que permite o uso de águas mais salinas ou salobras. Diante disso, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o desempenho da alface Crespa sob diferentes níveis de salinidade da solução (1,5; 2,0; 2,5; 3,0 e 3,5 dS m⁻¹) em um sistema hidropônico NFT (*Nutrient Film Technique*) automatizado e alternativo, e assim, verificar até que nível de salinidade é possível explorar economicamente essa cultura com águas salinas ou salobras. Construiu-se três bancadas B1, B2 e B3 divididas nos blocos BL1, BL2, BL3, BL4, BL5 com 5 tratamentos (A, B, C, D e E) e 4 repetições, em um esquema fatorial de 5 x 5 x 4. Para a pesquisa foi desenvolvido um sistema automatizado para a irrigação com uso de Arduino e sensores de temperatura e umidade. Foram avaliados dados climáticos (Temperatura e Umidade do ar), físico-químicos da água solução nutritiva (CE, pH e Temperatura), dados morfológicos da planta (Número de folhas, Diâmetro caulinar, Massa fresca total, Massa fresca folhas e Massa frescas das raízes). A germinação da alface cv. Moana foi de 89,53%. O consumo de energia demonstrou ser inferior ao sistema de ciclos, fixos. Quanto a salinidade verificou-se diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade para massa de folhas frescas e massa fresca total entre os tratamentos, onde os níveis de 1,5 e 2,0 ds m⁻¹ apresentaram maiores médias. Concluiu-se que o sistema de automação proposto é uma alternativa viável, a estrutura alternativa empregada foi adequada, e que a alface para as condições do experimento não apresenta desenvolvimento a níveis superiores a 2,0 dS m⁻¹.

Palavras-chave: Cultivo sem solo, Arduino, Desenvolvimento Sustentável, Salinidade.

ABSTRACT

The semi-arid region of Brazil is severely affected by recurrent droughts. Much of the soil is composed of crystalline bedrock, which gives the water in the subsoil an inferior quality. The use of irrigation is not always possible in this region due to limited water or poor water quality and shallow soil conditions. However, with hydroponics, there are no soil limitations and plants grown in hydroponics are more salt tolerant, which allows the use of more saline or brackish water. Therefore, the objective of this study was to evaluate the performance of Crespa lettuce at different solution salinity levels (1.5, 2.0, 2.5, 3.0 and 3.5 dS m⁻¹) in a hydroponic system NFT (Nutrient Film Technique) in an automated and alternative way, thus verifying up to which salinity level it is possible to economically explore this crop with saline or brackish water. Three benches B1, B2 and B3 were built, divided into blocks BL1, BL2, BL3, BL4 and BL5 with 5 treatments (A, B, C, D and E) and 4 replicates in a factorial scheme of 5 x 5 x 4. An automated irrigation system was developed for the research using Arduino and temperature and humidity sensors. Climatic data (air temperature and humidity), physicochemical data of nutrient solution water (EC, pH and temperature), plant morphological data (number of leaves, stem diameter, total fresh mass, fresh mass of leaves and fresh mass of roots). The germination of lettuce cv. Moana was 89.53%. The energy consumption proved to be lower than the fixed cycle system. As for salinity, there was a significant difference at the level of 5% of probability for fresh leaf mass and total fresh mass between treatments, where the levels of 1.5 and 2.0 dS m⁻¹ showed higher averages. It was concluded that the proposed automation system is a viable alternative, the alternative structure used was adequate, and that the lettuce for the conditions of the experiment does not present development at levels higher than 2.0 dS m⁻¹.

Keywords: Soilless growing, Arduino, Sustainable Development, Salinity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área experimental da UFCA, Campus Crato-CE.	37
Figura 2. Vista dos perfis de escoamento de solução “a”, vista frontal do local de condução do experimento “b”, e vista lateral “c”, recipientes de armazenamento da solução “d” e sistema de bombeamento d solução “e”. 40	
Figura 3. Diagrama de instalação dos componentes no Arduino Uno para produção de mudas de alface em maternidade.	44
Figura 4. Maternidade onde foram produzidas as mudas.	45
Figura 5. Diagrama de sistema de automação para cultivo hidropônico com Arduino Uno R3 e módulos LDR, SD, sensor DTH11, módulos relés e bombas de água 12v de 800 L h ⁻¹	46
Figura 6. Sistema de automação para cultivo hidropônico.	47
Figura 7. Boxplot para temperatura e umidade dos dados horários da estação de Barbalha de 01 de junho de 2020 à 31 de dezembro de 2020.	48
Figura 8. Média de dados horários para estação HOBO RX3000 instalada próximo ao local do experimento do dia 03 a 10 de agosto de 2021.	49
Figura 9. Fluxograma de execução do código de automação.	50
Figura 10. IVE da alface cv. Moana em fibra de coco 8 DAP.	54
Figura 11. Surgimento das folhas de alface cv. Moana do plantio a fase final das mudas de 20/10 a 11/11/2021.	57
Figura 12. Mudas de alface cv. Moana a 8 DAP.	57
Figura 13 - Mudas da alface cv. Moana a 27 DAP.	58
Figura 14. Variação dos ciclos de circulação da solução nutritiva em função da (T) e (UR) do dia 11/10 a 30/11/2021.	59
Figura 15. Precipitações na estação HOBO RX3000 UFCA, no período de 11/10 a 30/11/2021, nos dias após o transplântio (DAT).	60
Figura 16. Consumo de energia em Kw e custo em R\$ de 5 bombas de 12v com potência de 19W e vazão de 800 L h ⁻¹ do dia 11/10 a 30/11/2021.	61
Figura 17. Boxplot da temperatura e umidade do ar obtidos pelo sensor DHT11 do dia 11/10 a 30/11/2021.	62
Figura 18. Variação da temperatura (T) e umidade do ar (UR) determinada pelo sensor DHT11 11/10 a 30/11/2021.	64

Figura 19. Variação da temperatura (T) e umidade do ar (UR) de 11/10 a 30/11/2021 na estação da UFCA HOBO RX3000.	64
Figura 20. Regressão linear entre CE e pH.	67
Figura 21. Tanques de solução nutritiva dos tratamentos 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 e 3,5 dS m ⁻¹	68
Figura 22. Mudanças de alface no dia 11/10/2021 durante o transplante a 27 DAP.	70
Figura 23. Mudanças de alface no dia 18/11/2021 a 7 DAT.	71
Figura 24. Valores médios do DC da ANAVA do dia 20/11/2021 a 9 DAT.	72
Figura 25. Valores médios do NF da ANAVA do dia 20/11/2021 a 9 DAT.	72
Figura 26. Valores médios do DC da ANAVA do dia 29/11/2021 a 18 DAT.	74
Figura 27. Valores médios do NF da ANAVA do dia 29/11/2021 a 18 DAT.	74
Figura 28. Efeito da salinidade nos diferentes tratamentos no dia 20/11/2021 a 9 DAT.	75
Figura 29. Efeito da salinidade nos diferentes tratamentos no dia 29/11/2021 a 18 DAT.	76
Figura 30. Médias dos tratamentos T1 e T2 para o desdobramento pelo teste de Tukey da MFR do dia 30/11/2021 a 19 DAT.	77
Figura 31. Médias dos tratamentos T1 e T2 para o desdobramento pelo teste de Tukey da MFF do dia 30/11/2021 a 19 DAT.	78
Figura 32. Médias dos tratamentos T1 e T2 para o desdobramento pelo teste de Tukey da MFT do dia 30/11/2021 a 19 DAT.	78
Figura 33. Alface tratamento T1 no dia 24/11/2021 a 13 DAT.	79
Figura 34. Alface tratamento T1 no dia 27/11/2021 a 16 DAT.	79
Figura 35. Bancada de cultivo hidropônica de alternativa e de baixo custo para o semiárido.	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Quantidade de nutrientes para preparo de 1000L de solução nutritiva para cultivo hidropônico de acordo com (FURLANI, 1998).	29
Tabela 2. Solução nutritiva de reposição para as folhosas.	30
Tabela 3. Concentração de elementos máxima em água de irrigação para uso em hidroponia.	34
Tabela 4. Materiais utilizados para confecção bancadas salinidade e seus respectivos custos.	39
Tabela 5. Sais para solução nutritiva e outros itens adquiridos.	41
Tabela 6. Materiais utilizados para confecção sistema de automação e bombeamento.	46
Tabela 7. Resumo estatístico para os dados horários de temperatura e umidade da estação INMET em Barbalha – CE do dia 01 de junho a 31 de dezembro de 2020 e dados da estação da UFCA modelo HOBO RX3000 do campus da UFCA do dia 03 a 10 de agosto de 2021.	49
Tabela 8. Resumo de estatística descritiva para temperatura e umidade no sensor DHT11 e estação da UFCA.	63
Tabela 9. Valor médio de pH e CV para os diferentes tratamentos.	66
Tabela 10. CE médio e CV para os diferentes tratamentos.	66
Tabela 11. Temperatura média da solução e CV para os diferentes tratamentos às 8:00h de 11/10 a 30/11/2021.	68
Tabela 12. Resumo da análise de variância para o número de folhas (NF) e diâmetro caluniar (DC) para os diferentes tratamentos do dia 20/11/2021 a 9 DAT.	72
Tabela 13. Resumo da análise de variância para o número de folhas (NF) e diâmetro caulinar (DC) para os diferentes tratamentos do dia 29/11/2021 a 18 DAT.	73
Tabela 14. Resumo da análise de variância para massa fresca total (MFT), massa fresca das raízes (MFR) e massa fresca das folhas (MFF) para os diferentes tratamentos do dia 30/11/2021 a 19 DAT.	77
Tabela 15. Material para confecção de uma bancada hidropônica com 8 perfis para produção de 192 plantas com espaçamento de 0,25m x 0,30m e sistema de automação.	82
Tabela 16. Preços de temporizadores para controle de irrigação disponíveis no mercado.	83

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Soluções nutritivas empregadas em cultivo hidropônico por pesquisadores em diferentes culturas.....	31
Quadro 2. Equações para controle da solução nutritiva.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS

CV	Coeficiente de Variação
DBC	Delineamento em Blocos ao Acaso
DAP	Dias Após o Plantio
DAT	Dias Após o Transplântio
FAO	Food and Agriculture Organization
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDE	Integrated Development Environment
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDS	Índice de Desenvolvimento Social
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IVE	Índice de Velocidade de Emergência
LDR	Light Dependent Resistor
NFT	Nutrient Film Technique
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
PRODER	Programa de pós Graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável
PVC	Policloreto de Vinila
SD	Secure Digital Card
T	Temperatura do ar
UFCA	Universidade Federal do Ceará
USB	Universal Serial Bus
UR	Umidade relativa do ar
VCA	Voltagem em Corrente Alternada
VCC	Voltagem em Corrente Continua

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS	19
2.1 Geral	19
2.2 Específicos	19
3. REFERENCIAL TEÓRICO	20
3.1 Desenvolvimento Regional Sustentável e a Agricultura	20
3.2 Hidroponia e desenvolvimento sustentável no semiárido	23
3.2 Hidroponia	25
<i>3.2.1 Nutrientes minerais e solução nutritiva para cultivo hidropônico</i>	<i>27</i>
<i>3.2.2 Circulação da solução nutritiva, temperatura e umidade do ar</i>	<i>31</i>
<i>3.2.3 Cultivos hidropônico da alface em sistema NFT</i>	<i>32</i>
<i>3.2.4 Uso da água com alto teor de sais para o cultivo da alface</i>	<i>33</i>
3.3 Arduino	34
<i>3.3.1 Descrição dos módulos e sensores Arduino</i>	<i>35</i>
<i>3.3.1.1 Módulo rele 5v 10 A</i>	<i>35</i>
<i>3.3.1.2 Sensor de Luz (LDR)</i>	<i>36</i>
<i>3.3.1.3 Módulo SD</i>	<i>36</i>
<i>3.3.1.4 Sensor de Temperatura e umidade DTH11</i>	<i>36</i>
<i>3.3.1.5 Protoboard</i>	<i>37</i>
4. METODOLOGIA	37
4.1 Localização da área de condução do experimento	37
4.2 Bancadas e perfis de escoamento da solução nutritiva	38
4.3 Níveis de salinidade e Solução nutritiva	40
4.4 Característica da cultivar de alface utilizada	42
4.5 Germinação e produção de mudas	42
4.6 Programação e montagem do sistema automação com Arduino Uno R3	45
4.7 Delineamento experimental em blocos ao acaso	51
4.8 Parâmetros avaliados	52
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
5.1 Emergência e produção de mudas	53
5.2 Sistema de automação	58
5.3 Manejo do pH e CE da solução nutritiva	65
5.4 Desenvolvimento da alface e efeito da salinidade	69

5.5 Estrutura para cultivo hidropônico alternativo	80
6. CONCLUSÃO	84
RECOMENDAÇÕES	85
REFERÊNCIAS	86
ANEXOS	100
ANEXO A - Relatório de análise de água para fins hidropônicos	100
APÊNDICE	101
APÊNDICE A - Código de automação da maternidade	101
APÊNDICE B - Código de programação das bancadas em sistema NFT	103
APÊNDICE C - Variação da temperatura (°C) e umidade do ar (%)	106
APÊNDICE D - Variação da temperatura da solução nutritiva (°C)	107
APÊNDICE E - Variação do pH(lido) e pH(ajustado)	107
APÊNDICE F - Variação da CE (lida) e CE (ajustada)	108
APÊNDICE G - Variação do pH na bancada NFT	108
APÊNDICE H - Variação da CE na bancada NFT	109
APÊNDICE I - Variação da temperatura na solução nutritiva	109

1. INTRODUÇÃO

O semiárido tem como uma de suas principais características o seu balanço hídrico deficitário, altas temperaturas, altas taxas de evapotranspiração associado a uma baixa umidade relativa do ar, principalmente, nos meses mais quentes. Segundo Ximenes, Silva e Brito (2019) a temperatura é estável com média anual de 24 a 26 °C, enquanto que, a umidade relativa do ar média varia de 54,5% a 86,4%.

O regime pluviométrico oscila de 500 a 850 mm, com mais de 70% das chuvas concentrando-se em um curto espaço de tempo, no quadrimestre de janeiro a abril, com evaporação potencial anual variando de 2100 a 2600 mm ano⁻¹. Nessas condições, faz-se necessário que haja acumulação de água em reservatórios para uso em períodos secos (ARAÚJO, 2012).

A região possui solos de difícil manejo para agricultura, como os neossolos, luvisolos e plintossolos, que dificultam a exploração agrícola convencional ou irrigada. Quando os solos são adequados, o cultivo irrigado viabiliza a exploração agrícola, onde há fonte hídrica disponível em quantidade e qualidade necessárias. Por outro lado, é comum, fontes hídricas superficiais ou subterrâneas, que não possuem qualidade ou quantidade de água necessária para uso da irrigação (FILHO *et al.* 2019).

De acordo com Feitosa e Diniz (2011), a região nordeste do Brasil tem seu subsolo constituído em torno de 50% formado por rochas pré-cambrianas que constituem o embasamento cristalino, nestas rochas a água subterrânea ocorre em sistemas de fendas o que limita o seu volume e qualidade.

Os recursos hídricos provenientes da perfuração de rochas cristalinas geralmente apresentam baixas vazões em torno de 2 a 5 m³ h⁻¹ o que limita ou restringe seu uso para determinados fins, tal como irrigação (COSTA FILHO, 1998). Segundo Brito *et al.* (2009), a predominância de rochas cristalinas do semiárido brasileiro impõe características salobras e salinas as águas, com risco potencial de degradação do solo.

Entretanto, sob cultivo hidropônico, algumas águas consideradas impróprias para cultivo irrigado em solo, podem ser utilizadas (PAULUS, 2008; BEZERRA NETO *et al.* 2017). Nesse sistema de cultivo, as plantas se desenvolvem em meio a uma solução nutritiva sem a necessidade da presença de solo.

Assim, a hidroponia pode ser uma alternativa ao cultivo convencional, com a vantagem de garantir uma produção de maior qualidade, em um menor espaço, com

menos água e sem uso de solo, viabilizando a geração de renda e a preservação do meio ambiente, além de ser um sistema mais sustentável (DIAS, 2019).

A região semiárida apresenta condições que permitem a exploração hidropônica da cultura da alface durante o ano todo, todavia a maior parte do cultivo desta hortaliça advém de sistemas de cultivo convencional em solo (BEZERRA NETO *et al.* 2017).

Para Soares *et al.* (2007) é possível utilizar águas salinas para a produção de alface em cultivo hidropônico, sendo uma alternativa interessante a ser explorada no semiárido, diante das dificuldades climáticas, hídricas e de solo, viabilizando assim, a utilização de águas de qualidade inferior até então sem aplicações, o que favorece o crescimento e desenvolvimento regional sustentável.

A hidroponia é uma técnica bastante versátil, principalmente para locais onde não se dispõe de condições necessárias para o cultivo convencional, podendo ser adaptada e flexibilizada para diversas condições (PAULUS, 2008; BEZERRA NETO *et al.* 2017; DIAS, 2019).

Entretanto, o cultivo hidropônico tem um alto custo inicial pela necessidade de construção de bancadas, sistema de circulação da solução nutritiva, bombeamento, automação, entre outros, exigindo um rigoroso controle da solução nutritiva para que as plantas apresentem um bom desempenho.

Desse modo, sistemas de automação são essenciais em cultivo hidropônico, sendo responsáveis pelo acionamento do sistema e bombeamento da solução nutritiva. Sistemas de automação baseados em Arduino UNO são cada vez mais utilizados, pela possibilidade do emprego de sensores de temperatura, umidade, condutividade, etc., além disso o seu baixo custo e fácil instalação permite construir os mais diversos sistemas de automação (LOPES; PIRES; SERRA, 2018; SOUSA; ROCHA, 2020; SILVA; SILVA JÚNIOR, 2021). O uso da automação por pequenos produtores, traz uma série de benefícios, pois auxilia no processo de produção, trazendo mais rentabilidade e produtividade. A implementação de um sistema de automação eficiente permite reduzir desperdícios de água, luz e energia (SOUSA; ROCHA, 2020).

Instigar a utilização da hidroponia por pequenos produtores, permitirá a criação de uma alternativa econômica de cultivo agrícola sustentável, em locais onde o solo ou água são fatores limitantes no semiárido. Portanto, é necessário desenvolver tecnologias que permitam a flexibilização e o alcance deste conhecimento para esses produtores. Para deste modo, responder à pergunta: é possível o uso de água salina e salobra na produção de alface no sistema hidropônico NFT, como uma alternativa econômica de exploração

agrícola sustentável em regiões semiáridas. Tal como, verificar o emprego de tecnologias que possam viabilizar esse cultivo.

Posto isto, esta pesquisa buscou avaliar o crescimento inicial da alface crespa cv. Moana sob diferentes níveis de salinidade da solução (1,5; 2,0; 2,5; 3,0 e 3,5 dS m⁻¹) em um sistema hidropônico NFT (*Nutrient Film Technique*) automatizado com Arduino em função da mudança de temperatura e umidade do ar. E desse modo, apresentar uma alternativa de automação para cultivo hidropônico no semiárido que opera em função da alteração da temperatura e umidade do ar, assim como avaliar os níveis de salinidade máximos que permitam o cultivo hidropônico da alface na região.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar o desempenho da alface sob diferentes níveis de salinidade da solução, em sistema hidropônico NFT (*Nutrient Film Technique*), com a automação da irrigação realizada em função da temperatura e umidade do ar, e assim, verificar até que nível de salinidade é possível explorar economicamente essa cultura com águas salinas ou salobras.

2.2 Específicos

- ✓ Propor um sistema hidropônico NFT alternativo e de baixo custo para cultivo hidropônico;
- ✓ Criar um sistema de automação com ciclos de irrigação variável em função dos dados de temperatura e umidade do ar para cultivo hidropônico, usando Arduino Uno R3;
- ✓ Avaliar o desempenho inicial da alface (*Lactuca Sativa L.*) sob diferentes níveis de salinidade em NFT.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Desenvolvimento Regional Sustentável e a Agricultura

Agricultura tem e sempre teve uma grande influência no desenvolvimento social, econômico e sustentável de uma nação, independente do sistema de cultivo empregado. Assim, é importante destacar o que é o desenvolvimento e seus aspectos intrínsecos ao crescimento econômico, social e ambiental, e como a hidroponia está de acordo com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Nesse sentido, além da técnica em si, pode-se compreender o seu contexto social, e a importância de inovação para regiões menos desenvolvidas e desprovidas de tecnologias. Dessa maneira, a implantação de novas tecnologias, tal como o cultivo hidropônico com águas salinas ou salobras, pode alterar a realidade de um local e alavancar um processo de desenvolvimento sustentável.

O desenvolvimento é um conceito muito amplo e de enorme gama de discussão, que envolve diferentes aspectos intrínsecos como: social, econômico, ambiental, cultural, ético e político (SENA *et al.* 2016). Entretanto, nem sempre foi assim. Por muito tempo, o desenvolvimento foi associado apenas ao crescimento econômico, chegando-se a adotar o Produto Interno *per capita* (PIB *per capita*) como indicador de desenvolvimento (AMARO, 2003).

O conceito de desenvolvimento intrínseco à economia, ganhou força com o movimento “neoliberal” a partir dos anos 1980. Após o término da segunda guerra mundial, o mundo passou por um período de grande crescimento econômico e acúmulo de capital, principalmente nos países com maior poderio industrial. Por outro lado, os países que não detinham de tal poderio, concentraram-se na produção de *commodities*, a exemplo do Brasil (AMARO, 2003).

O crescimento industrial trouxe como grande vantagem, um maior desenvolvimento nos centros urbanos, o que atraiu a migração do homem do campo para a cidade, por seus atrativos de segurança e oportunidades (CASTRO; HOLANDA, 2018).

Países como Estados Unidos da América passaram por grandes transformações em diversos setores produtivos, acumulando riquezas e capital como nunca visto antes, em contraste outros países ainda permaneciam com enorme grau de pobreza, surgindo deste modo uma divisão. Basicamente, os países ao norte da linha do equador intitulados

como desenvolvidos e ao sul como subdesenvolvidos, tendo como principal critério o econômico.

Para Amaro (2003), o mundo foi dividido em países desenvolvidos e subdesenvolvidos, o primeiro com enorme acúmulo de capital e o segundo com crescente miséria e fome. O que coloca a prova o conceito de desenvolvimento, como algo ultrapassado ou a ser renovado.

Vários problemas surgiram devido a esse acúmulo de capital associado a esse modelo capitalista e produtivista. Por um lado, a crescente concentração de recursos em detrimento de poucos e do outro, problemas sociais como fome, mortalidade infantil, doenças, desigualdade de gênero etc.

Avanços e inovações tecnológicas ocorreram, entretanto, não se faz acessível a todos. Com o tempo, os países considerados desenvolvidos começaram a enxergar os problemas associados ao modelo extrativista, que exaure os recursos naturais e os degrada. Começa a surgir, uma preocupação de repensar o termo desenvolvimento.

A conferência das nações unidas sobre o meio ambiente, realizada em Estocolmo em 1972, na capital da Suécia, foi o primeiro passo, para que as nações avançassem em direção a um desenvolvimento mais sustentável, sendo uma tentativa de trazer uma harmonia entre homem e natureza, e de quebrar o conceito de que os recursos naturais são inesgotáveis.

Em 1987, o relatório de *Brundtland* intitulado “Nosso futuro comum”, fazia um novo apelo para a preservação dos recursos naturais, enfatizando em sua visão crítica o modelo de desenvolvimento dos países industrializados.

Novamente no ano de 1992, um novo encontro conhecido como a Conferência Eco-92, realizado no Rio de Janeiro, que deu origem Agenda 21 e os objetivos do milênio, trouxe como postulados à erradicação da pobreza e fome.

No ano de 1997, é instaurado o protocolo de Kyoto um tratado internacional, em que cerca de 175 nações se prontificavam a reduzir seus níveis de emissão de CO₂ até 18% dos níveis de 1990, a fim de reduzir os gases do efeito estufa.

Durante a cúpula do milênio em 2000, foram desenvolvidos os 17 objetivos do desenvolvimento sustentável, como uma extensão dos objetivos de desenvolvimento do milênio que são: 1- erradicação da pobreza, 2- fome zero e agricultura sustentável, 3- saúde e bem estar, 4- educação de qualidade, 5- igualdade de gênero, 6- água potável e saneamento, 7- energia limpa e acessível, 8- trabalho decente e crescimento econômico, 9- indústria, inovação e infraestrutura, 10- redução das desigualdades, 11- cidades e

comunidades sustentáveis, 12- consumo de produção e responsáveis, 13- ação para a mudança global, 14- vida na água, 15- vida terrestre, 16- paz justiça e instituições eficazes, 17- parceiras e meios de implantação (GOMES; FERREIRA, 2018).

Esses acontecimentos, foram muito importantes para desvincular o termo de desenvolvimento, com o acúmulo de capital fomentado pelo crescimento econômico, demonstrando assim, a necessidade da adoção de novos conceitos como o termo desenvolvimento sustentável.

Para Veiga (2005) o desenvolvimento sustentável será o desafio do século XXI e esse desenvolvimento deve ter como princípios o ambientalmente sustentado, economicamente viável e socialmente incluyente, compondo assim o que chamamos de “*triple bottom line*” ou tripé da sustentabilidade. Portanto, o crescimento econômico não deve ser mais adotado como único parâmetro para o desenvolvimento de um local, cidade, estado ou nação. Deve-se considerar aspectos como: sociais, ambientais e culturais.

As instituições públicas são essenciais para promover o desenvolvimento sustentável, devendo atuar junto à sociedade, garantido a todos as mesmas oportunidades e direitos. No relatório de *Brundtland* de 1987 foi declarado que “O desenvolvimento deve satisfazer a necessidade das gerações presentes, sem comprometer a capacidade das futuras de suprir as suas próprias necessidades”.

Surge assim o conceito de desenvolvimento sustentável, com o objetivo de garantir a proteção dos recursos naturais, erradicação da pobreza, da fome e garantia da equidade social, eliminado o PIB *per capita* como único indicador de desenvolvimento e adotando-se o IDH como indicador de desenvolvimento, onde este, considera o crescimento econômico, expectativa de vida e escolaridade.

Países desenvolvidos, pagaram altos preços pelo seu desenvolvimento, principalmente devido a forma como lidaram no passado com seus recursos naturais, que os conduziram a uma forte degradação ambiental e altos índices de poluição, quando comparados com os países subdesenvolvidos como Brasil e outros. Em contrapartida, os países subdesenvolvidos tem maior grau de pobreza, desigualdade e menor oferta de empregos.

Segundo Veiga (2005), apesar da pobreza ser mais evidente nos países subdesenvolvidos ela também existe nos países desenvolvidos, haja vista que a concentração da renda é maior para um determinado grupo de pessoas do que para outros. Assim, é nítido que o desenvolvimento vai além do acúmulo de capital, o desenvolvimento está na redistribuição igualitária.

A desigualdade social nos centros urbanos, fez com que se refletisse sobre o desenvolvimento social. Desse modo, surgiu o IDS e o IDH. Não existe um indicador ambiental, para Veiga (2005) há a necessidade de um indicador ambiental para medir o impacto ambiental dos países em busca do desenvolvimento.

O desenvolvimento não pode mais ser considerado apenas como meio de acúmulo de capital e expansão dos centros urbanos, mas sim, como a capacidade das pessoas de terem qualidade de vida e seus direitos assegurados, com acesso à educação, saúde de qualidade, oferta de emprego e preservação ambiental.

O desenvolvimento sustentável deve preconizar: instituições fortes e democráticas, organizações sociais e participativas, empresariado inovador e o incentivo a ciência, tecnologia e inovação. Em conjunto com o conceito de “Agir local e pensar global” em respeito as características e peculiaridades de cada região (BECKER; WITTMANN, 2008).

3.2 Hidroponia e desenvolvimento sustentável no semiárido

O Brasil é o quinto maior país do mundo em área territorial, depois da Rússia, Canadá, China e Estados Unidos, com um território de 8.515.767,049 km², dividido em cinco regiões norte, nordeste, centro-oeste, sul e sudeste, para qual cada região tem suas características territoriais, climáticas, culturais e sociais.

De acordo com o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) para o último censo realizado em 2010, o Brasil possui uma população de 190.755,799 habitantes, com distribuição percentual entre as unidades da federação de 42,10% na região sudeste, 27,80% na região nordeste, 14,40% na região sul, 8,30% região norte e 7,40% região centro-Oeste. Sendo sua República Federativa composta por 26 estados e um distrito federal, possuindo um total de 5.565 municípios, distribuídos pelos diferentes estados e regiões.

A região nordeste tem grande parte de seu território a presença do tipo climático semiárido, sendo castigada por ciclos de seca que tornam o seu desenvolvimento um grande desafio (GHEY *et al.* 2012). A região semiárida no Nordeste é composta pelos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Alagoas, região central da Bahia e uma faixa que se estende até Minas Gerais, ocupando uma área de 969.589 km² (CORREIA *et al.* 2011).

A região semiárida apresenta um índice de aridez entre 0,21 a 0,5 e baixa pluviometria e irregular distribuição (TROLEIS; SANTOS, 2011). Os baixos regimes pluviométricos tornam a agricultura e pecuária um grande desafio. As águas superficiais nem sempre estão disponíveis (CORREIA *et al.* 2011). Em detrimento a esta indisponibilidade os usos de água provenientes de reservatórios submersos vêm se tornando cada vez mais comum (GHEY *et al.* 2012).

Entretanto, os solos de um embasamento cristalino do semiárido confere a suas águas subterrâneas maior salinidade (ALY JUNIOR, 2019). Assim, a utilização de águas submersas deve passar pela superação de duas restrições: baixas vazões dos poços e a predominância de águas salinas (REBOUÇAS, 1999).

Na região semiárida, os cultivos hidropônicos vêm ganhando espaço, devido ao menor requerimento de água quando comparado aos métodos tradicionais. Além disso, há o benefício de se utilizar águas de qualidade inferior, como as salinas e salobras (SANTOS *et al.* 2010; DIAS, 2019).

Desta forma, cultivos como o hidropônico viabilizam o desenvolvimento social-econômico de uma região como o semiárido, pois além de trazer consigo aspectos econômicos, traz a inclusão social e, conseqüentemente, o desenvolvimento sustentável.

Sua versatilidade e formas de aplicação permitem adequar-se à realidade do sertanejo. Por ser uma técnica que não requer o uso do solo, ao qual a solução nutritiva em sistema NFT escoar sobre perfis em um sistema fechado, onde não ocorre sua degradação (JERÔNIMO; VASCONCELOS; 2012; BEZERRA NETO *et al.* 2017; DIAS, 2019) é gerado menos impactos ambientais quando comparada às demais formas de cultivo. Em cultivos tradicionais é necessário maiores áreas desmatadas, revolvimento do solo, aplicação de agrotóxicos e fertilizantes sobre o solo. O cultivo hidropônico é menos exigente.

O método de cultivo sem solo, pode ser realizado em qualquer parte da região Nordeste. A maior quantidade de luz na região é favorável ao cultivo hidropônico. Já a seca, apesar dos aspectos negativos quanto às restrições hídricas, impede a dissolução da solução nutritiva, que pode ocorrer quando se tem chuvas frequentes, isso cria condições que permite o cultivo em sistema hidropônico aberto a maior parte do ano (BEZERRA NETO *et al.* 2017).

Em cultivo hidropônico, as plantas não têm contato direto com o solo, assim a incidência de determinadas pragas e doenças é reduzida. Associado ao emprego de sistemas fechados como estufas, problemas fitossanitários praticamente inexistem, o que

permite a redução ou eliminação do uso de agrotóxicos (PAULUS, 2008; BEZERRA NETO *et al.* 2017).

Portanto a hidroponia é uma tecnologia que obedece ao estabelecido no relatório de *Brundtland*, na conferência Eco 92, Rio +20 e os ODS (2- fome zero e agricultura sustentável; 8- trabalho decente e crescimento econômico; 9- indústria, infraestrutura e inovação; 10- redução das desigualdades) ao permitir uma produção limpa e sem resíduos. Assim como por permitir uma maior sustentabilidade dos recursos naturais e promoção da inclusão social, por possibilitar que pequenos produtores do semiárido, tenham condições de produzir e uma fonte digna de renda para sua sobrevivência.

3.2 Hidroponia

A hidroponia é uma técnica de cultivar plantas sem solo “*soiless*”, onde as raízes recebem uma solução nutritiva balanceada, que contém água e nutrientes essenciais ao seu desenvolvimento, em hidroponia as plantas podem ser suspensas em meio líquido ou estar inseridas em substrato inerte como areia lavada (BEZERRA NETO *et al.* 2017). O termo hidroponia tem sua origem do grego, onde “hidro” significa água e “ponos” significa trabalho, assim o significado literário é trabalho com água.

Apesar da hidroponia parecer uma técnica recente, pesquisas relacionadas a essa técnica se iniciaram bem antes do século XX. É atribuído à Sprengel (1839, apud Bezerra Neto *et al.*, 2017, p.15) ser o primeiro a identificar a essencialidade dos macronutrientes como N, P, K, Ca, Mg e S, o que permitiu os primeiros passos para pesquisa hidropônica.

Em 1860, o botânico alemão “Julius Von Sachs” idealizou a primeira solução nutritiva, demonstrando experimentalmente que o solo pode ser dispensado no processo de nutrição e desenvolvimento das plantas. Entretanto, somente em 1930 “F. W. Gericke”, realizou os primeiros trabalhos na Califórnia visando à utilização da hidropônica com fins comerciais.

A hidroponia pode ser subdividida em quatro áreas do conhecimento: comercial, didática, ornamental e científica. A primeira conforme o termo está voltado à produção de pequena, média ou larga escala onde o objetivo principal é aquisição de lucro através do modelo de cultivo empregado, utilizando alto nível tecnológico e um controle rigoroso para garantir uma produção contínua e lucrativa.

Vários são os benefícios deste modelo de cultivo, quando comparado a outros. Uma importante vantagem é que o consumo de água é mínimo, decorrente de não haver

perdas de água, sendo também dispensados muitos tratamentos culturais essenciais ao cultivo convencional. Perdas por percolação, alta evaporação e lixiviação de nutrientes, inexistem neste sistema, o que garante um desenvolvimento pleno das culturas (PAULUS, 2008).

Considerando o cultivo hidropônico da alface este apresenta uma série de vantagens, dentre elas podemos destacar: atenua os riscos climáticos, menor ciclo da cultura, dispensa rotação da cultura, qualidade do produto, vida útil na prateleira, cultivo fora de época e proporciona rápido retorno capital:

Várias são as vantagens do cultivo hidropônico, de forma que cada vantagem está associada a um sistema de cultivo. Por exemplo, o melhor controle sobre a composição dos nutrientes fornecidos às plantas é uma grande vantagem para a pesquisa com a Nutrição Mineral das Plantas. A maior produtividade alcançada com as plantas cultivadas hidropônicamente é de suma importância para o cultivo hidropônico em escala comercial. (BEZERRA NETO *et al.* 2017, p.17).

Como desvantagens o sistema apresenta alto custo de instalação por requerer utilização de bancadas, estufas, tanques de solução, dentre outros. O que encarece a instalação do modelo. Há também a necessidade de conhecimento sobre nutrição vegetal e irrigação para que o sistema possa ter seu potencial alcançado (DIAS, 2019).

Existem diversos modelos de sistemas hidropônicos, que podem ser divididos quanto a forma de sustentação da planta ou fornecimento da solução, podendo ser do tipo aberto ou fechado. O sistema aberto é classificado por descarte da solução nutritiva assemelhando-se ao processo de fertirrigação dos cultivos convencionais, enquanto que o sistema fechado pelo reaproveitamento da solução.

Os modelos hidropônicos mais comuns são: sistema de aeração, sistema de fluxo laminar o “NFT”, sistema de aeropônia, submersão e drenagem, e cultivos com substrato. O sistema NFT vem sendo adotado principalmente para cultivos comerciais, por apresentar vantagens como fácil instalação, requerer menor quantidade de solução nutritiva e adequar-se aos mais variados ambientes (BEZERRA NETO *et al.* 2017).

O primeiro sistema de cultivo hidropônico do tipo NFT foi desenvolvido em 1965 por Allen Cooper e é considerado um dos mais viáveis para cultivo comercial de diversas culturas, em especial hortaliças (COMETTI, 2003). Esse modelo, estabelece um fluxo contínuo de solução nutritiva que percorre o perfil em ciclos pré-definidos, comumente de 15 minutos em regiões de clima quente (PAULUS, 2008).

Neste sistema não se faz utilização de substrato e as plantas dependem de um suporte auxiliar, que quando não é o próprio sistema de condução da solução nutritiva são estruturas complementares. O principal esquema de instalação dos perfis de condução da solução nutritiva é na horizontal.

O sistema NFT é um modelo que apresenta viabilidade econômica sendo classificado como sistema fechado por haver reaproveitamento da solução nutritiva que proporciona um maior controle ambiental (RODRIGUES, 2002).

Em hidroponia, o sistema de fluxo contínuo da solução, opera através do auxílio de um temporizador que fornece a solução em ciclos de tempo do amanhecer até o anoitecer, sendo que à noite o ciclo de tempo é maior (ALBERONI, 1998; PAULUS, 2008; BEZERRA NETO *et al.* 2017; DIAS, 2019). Os ciclos de tempo são necessários para promover a aeração do sistema radicular e assim a sua respiração.

De acordo com Freitas *et al.* (2021) para o cultivo de alface a altura da lâmina de água corrente deve ser de 0,03 m, além disso, em hidroponia a resposta a salinidade pelas plantas é melhor, considerando que nesse tipo de cultivo o potencial mátrico (Ψ_m) tende a zero. Segundo Soares (2007) em cultivo NFT, considerando que as raízes crescem horizontalmente, a altura da lâmina de água não deve ultrapassar 4 cm (o potencial gravitacional variará de 0 até -0,04) (Ψ_g), ademais, em sistema NFT o potencial de pressão atmosférica (Ψ_p) varia de 0 até +0,04 que corresponde altura da lâmina corrente.

Em sua grande maioria os sistemas hidropônicos são instalados em estufas ou ambientes protegidos, porém não é um requisito do sistema. Contudo, a utilização de estufas e ambientes protegidos possibilita um melhor controle local por impedir ou controlar determinadas pragas e possibilitar o controle da temperatura (BEZERRA NETO *et al.* 2017).

3.2.1 Nutrientes minerais e solução nutritiva para cultivo hidropônico

A produção de qualquer cultura tem relacionamento intrínseco com 17 nutrientes essenciais. Os elementos nutritivos essenciais as plantas podem ser agrupadas em organógenos, que são: carbono (C), oxigênio (O) e hidrogênio (H). Os macronutrientes primários são: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K). Os macronutrientes secundários: cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) e por fim, os micronutrientes são: ferro (Fe), cloro (Cl), manganês (Mn), boro (B), zinco (Zn), cobre (Cu), molibdênio (Mo) e níquel (Ni) (CARRIJO; MAKISHIMA, 2000; MALAVOLTA, 2006).

O vegetal para seu pleno desenvolvimento e produção, deve ter disponível em quantidade suficiente os nutrientes essenciais. Diferentes culturas apresentam padrões de extração de nutrientes diferentes, requerendo formulações distintas para não haver desequilíbrio nutricional (GUARÇONI *et al.* 2019).

Em hidroponia, as soluções nutritivas tem a função de disponibilizar os nutrientes em quantidade necessária para o desenvolvimento de cada cultura ou conjunto de culturas (BEZERRA NETO *et al.* 2017). Existem diversas formulações de soluções para uma grande diversidade de culturas.

Segundo Taiz *et al.* (2017), a primeira formulação para solução nutritiva foi desenvolvida por Knop na Alemanha e incluía somente KNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, KH_2PO_4 , MgSO_4 , na época não se tinha conhecimento dos micronutrientes essenciais, e os sais impuros do período, por conterem traços dos demais elementos, acabavam por viabilizar a solução. Posteriormente Denis Hoagland modificou a solução, acrescentando todos os nutrientes conhecidos como essenciais ao rápido desenvolvimento das plantas.

Ao escolher uma formulação deve-se atentar à quantidade de sais utilizados, os níveis de condutividade elétrica e potencial hidrogeniônico (pH). Considera-se o pH 6,00 a 6,50 e limites de condutividade inferior a $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ como ideais (PAULUS, 2008).

Em cultivo hidropônico da alface as formulações de solução nutritiva comumente utilizadas são as propostas por Furlani (1998) e Furlani *et al.* (1999). A formulação proposta por Furlani (1998) tem sido amplamente utilizada em diversos cultivos, Leal *et al.* (2020) utilizou no cultivo de espinafre, Floss Junior *et al.* (2020) utilizou em cultivo de alface e Silva *et al.* (2016) utilizou a solução de Furlani *et al.* (1999) no cultivo do coentro.

Independente da formulação de solução utilizada em regiões quentes deve-se ter atenção as altas temperaturas e baixas umidades. Segundo Santos (2000), nas estações quentes do ano “verão” as plantas absorvem mais água, portanto, mais nutrientes, sendo recomendando na aplicação da solução de Furlani (1998), utilizar apenas 75% de sua concentração. A Tabela 1 apresenta os sais necessários para produzir 1000 L de solução nutritiva.

Tabela 1. Quantidade de nutrientes para preparo de 1000L de solução nutritiva para cultivo hidropônico de acordo com (FURLANI, 1998).

Fertilizante	1000 L de água	Elementos	
		(g)	
Nitrato de Cálcio	750	NH ₄	7,5
		NO ₃	108,75
		Ca	142,5
Nitrato de potássio	500	NO ₃	65
		K	182,5
Fosfato monoamônio	150	NH ₄	16,5
		P	39
Sulfato de magnésio	400	Mg	40
		S	52
Sulfato de cobre	0,15	Cu	0,02
Sulfato de zinco	0,5	Zu	0,07
Sulfato de manganês	1,5	Mn	0,39
Ácido bórico ou	1,8	B	0,31
Molibdato de sódio	0,15	Mo	0,06
Fe-EDTA -13% Fe	13,8	Fe	2,08
Total	1817,9		656,68

Fonte: Furlani (1998).

Fontes alternativas de nutrientes podem ser utilizadas, entretanto deve-se verificar a compatibilidade dos elementos e a proporção adequada para formulação. Para o preparo da solução nutritiva da Tabela 1, é necessário dissolver separadamente cada sal na sequência que é apresentado, e adicionar a um depósito com o volume de 900 L de água já estabelecido. Ao término da aplicação do Fe-EDTA-13%Fe deve-se acrescentar água até atingir o volume de 1000 L, toma-se a leitura da condutividade elétrica que deve estar entre 1,50 a 3,00 dS m⁻¹ ou 640 ppm sendo que variações são possíveis em função da composição química da água utilizada em seu preparo.

Soares *et al.* (2007), em experimentos com cultivo hidropônico, determinaram um valor inicial para solução nutritiva proposta por Furlani de 1,50 dS m⁻¹. Segundo Bezerra Neto *et al.* (2017) os sais empregados na preparação da solução influenciam não somente o pH da solução recém preparada, como também o pH no decorrer do tempo.

À medida que as plantas absorvem íons da solução nutritiva, elas liberam em troca outros íons como H⁺ e CO₃⁻, assim quando cultivada em solução contendo somente NO₃⁻ como fonte de nitrogênio o pH da solução se mantém próximo a 8, e quando cultivada

com solução nutritiva contendo apenas NH_4^+ há uma diminuição do pH, que atinge valores abaixo de 4 devido a substituição NH_4^+ por H^+ . Desse modo, o monitoramento do pH da solução nutritiva é essencial devendo-se manter em nível adequado.

O controle da condutividade elétrica da solução permite acompanhar a absorção de nutrientes. À medida que a planta se desenvolve os nutrientes são extraídos da solução por seu sistema radicular, para compor seus tecidos e estruturas, assim, a concentração diminui de acordo com o seu desenvolvimento, sendo necessário a reposição dos sais ou uma nova solução. Da mesma maneira, água é absorvida para compor a estrutura vegetal e evapotranspirada, sendo necessária à sua reposição. Quando a CE da solução estiver muito baixa, deve-se pensar em repor os sais ou preparar uma nova solução.

Furlani (1999) propõem três soluções para repor os nutrientes absorvidos pelas plantas folhosas. Primeiro deve-se fazer a leitura da CE da solução nutritiva, depois para cada $0,25 \text{ dS m}^{-1}$ de diferença da condutividade elétrica da solução inicial, deve-se adicionar 1 L da solução A, 1 L da solução B. Uma vez por semana deve-se adicionar 50 ml da Solução C (LUZ, GUIMARÃES, KORNDÖRFER, 2006). A Tabela 2 apresenta a relação dos sais necessários para produzir a solução de calibração.

Tabela 2. Solução nutritiva de reposição para as folhosas.

Solução	Fonte de Nutriente	Quantidade ($\text{g } 10 \text{ L}^{-1}$)
Solução A	Nitrato de potássio	1.200
	Fosfato monoamônio	200
	Sulfato de Magnésio	240
Solução B	Nitrato de Cálcio	600 ($\text{g } 10 \text{ L}^{-1}$)
Solução C	Sulfato de Cobre	1 ($\text{g } \text{L}^{-1}$)
	Sulfato Zinco	2
	Sulfato de Manganês	10
	Ácido bórico ou borax	5
		8
	Molibdato de sódio ou amônio	1
	Tenso-FE (FeEDDHMA-6% Fe) ou	20
	Dissolvine (FeEDTA-13% Fe) ou	10
	Ferrilene (FaEDDHA-6% Fe) ou	20
FeEDETANa2 (10 mg mL^{-1} de Fe)	120 mL	

Fonte: Furlani (1999).

A solução nutritiva é o coração do sistema de cultivo hidropônico, sem uma solução equilibrada não é possível o cultivo sem solo. Bezerra Neto *et al.* (2017) sugere

a solução proposta por Furlani (1998) para o cultivo de Alface. Taiz *et al.* (2017), por outro lado, sugere a solução modificada de Hoagland e Arnon (1950) para cultivo de diversos vegetais.

Todavia, independe da formulação utilizada o essencial e que está ofereça a quantidade necessária dos nutrientes essenciais para o pleno desenvolvimento do vegetal. O Quadro 1 apresenta formulação nutritiva proposta por Furlani (1998, 1999) empregada por diferentes autores em cultivo hidropônico sob diferentes níveis de salinidade.

Quadro 1. Soluções nutritivas empregadas em cultivo hidropônico por pesquisadores em diferentes culturas.

Autores	Cultura	Solução utilizada
Bione <i>et al.</i> (2014)	Manjeriçao	Furlani (1998)
Paulus <i>et al.</i> (2012); Bezerra Neto <i>et al.</i> (2017); Dias (2019)	Alface	Furlani (1998)
Santos <i>et al.</i> (2017)	Tomate Cereja	Furlani <i>et al.</i> (1999)
Soares <i>et al.</i> (2020)	Couve-Flor	Furlani <i>et al.</i> (1998)
Alves <i>et al.</i> (2019)	Chicória	Furlani <i>et al.</i> (1999)
Silva <i>et al.</i> (2016)	Coentro	Furlani <i>et al.</i> (1999)
Leal <i>et al.</i> (2020)	Espinafre	Furlani <i>et al.</i> (1998)

Fonte: Autor.

3.2.2 Circulação da solução nutritiva, temperatura e umidade do ar

A temperatura e umidade do ar são dois fatores de extrema importância no crescimento e desenvolvimento das plantas, em sistemas hidropônicos a escolha da frequência das irrigações depende da temperatura do ar, umidade e fisiologia da planta (ANDRIOLO, 1999). Segundo Taiz *et al.* (2017), o conteúdo de saturação de vapor de água aumenta exponencialmente com a temperatura, tendo um impacto marcante nas taxas transpiratórias.

De acordo com Moura, Espínola Sobrinho e Silva (2019) o semiárido tem uma temperatura média anual entre 26,57 à 28,24 °C e uma umidade relativa média anual de 50%, variando em função da latitude. Entretanto, ao longo do dia, semana e mês essa temperatura não é fixa. Períodos mais quentes aumentam a taxa evapotranspirométricas, demandando mais água pela cultura (BERNARDO *et al.* 2019).

Para Taiz *et al.* (2017), o conteúdo de saturação de vapor de água aumenta exponencialmente com a temperatura, tendo um impacto marcante nas taxas transpiratórias, sendo que quanto maior área foliar da planta, maior seu consumo de água.

A temperatura e umidade são os principais condicionantes da evapotranspiração de uma planta (TAIZ *et al.* 2017; BERNARDO *et al.* 2019).

Bezerra Neto *et al.* (2017) e Galon (2012) relatam que a temperatura e umidade podem provocar mudanças na formação das folhas e na qualidade das cabeças de alface. Outro aspecto é que a umidade afeta a transpiração e, como consequência, causa mudanças na condutância estomática. Em regiões muito quentes, afim de reduzir esses efeitos, diminui-se o tempo de circulação da solução. Deve-se atentar-se também a área foliar da planta, que quanto maior a área, maior será proporcionalmente o consumo de água. A temperatura e a umidade são os principais condicionantes da evapotranspiração de uma planta e sua demanda hídrica (BERNARDO *et al.* 2019).

O crescimento e o desenvolvimento da alface são influenciados pela temperatura, pois a alta temperatura e a baixa umidade aumentam a demanda hídrica da cultura. (CARRIJO; MAKISHIMA, 2000; FAQUIN *et al.* 1999; PAULUS, 2008; BEZERRA NETO *et al.* 2017). Em sistema NFT a solução nutritiva é aplicada através de perfis em ciclos regulares, com auxílio de bombas acionadas por um sistema de automação. O tempo de circulação da solução geralmente é fixado em 15 minutos (SOARES *et al.* 2007; PAULUS, 2008; BEZERRA NETO *et al.* 2017).

3.2.3 Cultivos hidropônico da alface em sistema NFT

O cultivo hidropônico da alface apresenta bom retorno econômico, alta produção, ciclo curto e fácil manejo. De acordo com Silva e Schwonka (2001), apesar do custo inicial elevado, em médio prazo se consegue converter o investimento em benefícios. A produção é contínua durante todo o ano e a qualidade do produto é alta, podendo alcançar bons preços em virtude do valor nutritivo e qualidade final do produto.

A produção hidropônica de alface segue uma sequência lógica do plantio a colheita, desta forma pode-se resumir em 4 etapas distintas: plantio, transplante, desenvolvimento e colheita.

O cultivo inicia-se com a produção das mudas em substrato. Os substratos utilizados em cultivo hidropônico são materiais inertes que podem ser de origem mineral, areia lavada, vermiculita ou de resíduo orgânico como palha de arroz carbonizada e fibra de coco. Segundo Bezerra *et al.* (2011), a utilização de resíduos orgânicos constitui uma alternativa, além de limitar o impacto gerado por eles no meio ambiente.

O bom desempenho utilizando palha de arroz carbonizada é comparado ao desempenho de produção de mudas com substrato comercial (BEZERRA *et al.* 2008). Imediatamente após a semeadura as plantas devem ser direcionadas para local com ausência de luz, a fim de garantir sua melhor germinação por um período de aproximadamente 34h (PAULUS, 2008).

De acordo com Paulus (2008) após o plantio as plantas devem ser direcionadas ao berçário onde deverão receber a solução nutritiva diluída em 50%, a fim de adaptação e de evitar um choque osmótico, sendo posteriormente utilizada a solução sem diluição, ou seja, na concentração máxima de 100%.

Segundo Soares *et al.* (2007), o transplante das mudas deve ser realizado quando apresentar de 6 a 9 cm de altura, com 4 a 6 folhas bem definidas. No sistema NFT o transplante de mudas é realizado diretamente sobre o perfil onde se percorre a solução nutritiva. O ciclo da cultura é bastante curto, desta forma em cultivo hidropônico deve-se ter especial atenção, para que não haja fatores limitantes ao desenvolvimento.

3.2.4 Uso da água com alto teor de sais para o cultivo da alface

De acordo com Ayers e Westcot (1999), no Manual irrigação e drenagem da FAO 29 (*Food and Agriculture Organization*), a cultura da alface é considerada moderadamente tolerante à salinidade, e seu maior potencial produtivo é quando a condutividade elétrica da solução atinge um limiar de $1,3 \text{ dS m}^{-1}$. Para Carrijo e Makishima (2000), a condutividade elétrica ideal para a cultura da alface está entre $1,5$ e 3 dS m^{-1} . Deve-se atentar que pelo fato de a alface ter um ciclo curto, há uma atenuação dos efeitos causados pela salinidade quando comparado a culturas como ciclo longo (PAULUS, 2008).

No semiárido, como os solos em grande maioria tem embasamento cristalino, é comum poços com vazões entre 2 a $5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ limitando muitas atividades convencionais irrigadas. Outro ponto é que esses poços quando com alta presença de sais são comumente considerados fontes de água salobra e inviáveis para cultivo (REBOUÇAS, 1999; GHEY, 2012).

Segundo Santos *et al.* (2010), o cultivo hidropônico da alface utilizando águas salobras, aponta viabilidade de uso por demonstrar bons resultados em salinidades superiores e sugere ainda, aumentar a população de plantas para compensar a produção

com salinidades acentuadas. Soares *et al.* (2007) enfatiza que no sistema NFT a tolerância à salinidade é maior do que em solo.

A produção da alface com águas salobras é possível em cultivo hidropônico, principalmente quando utiliza-se o sistema NFT. Em contrapartida, de acordo com Bezerra Neto *et al.* (2017), é importante estar alerta aos problemas nutricionais em plantas cultivadas com água salobra, pois estes, são quase sempre potencializados, por apresentarem excesso de íons como cloreto (Cl) e sódio (Na⁺), que provocam toxidez.

Santos *et al.* (2010) relata a queima da bordadura das folhas de alface e amarelecimento das folhas em cultivo com águas salinas. Soares *et al.* (2007) também notificou que em cultivos com água de salinidade superior há um aumento dos teores de sódio nas plantas. Deve-se assim, ter atenção para quantidades elevadas deste elemento que pode tornar a alface imprópria para consumo.

A concentração de outros elementos na água de irrigação para cultivo hidropônico também deve ser observada. A Tabela 3 apresenta a máxima concentração de elementos em água de irrigação para uso em hidroponia.

Tabela 3. Concentração de elementos máxima em água de irrigação para uso em hidroponia.

Íons	Concentração em (mg L ⁻¹)
Cloro (Cl)	100
Sódio (Na)	70
Carbonatos (CO ₃)	40
Boro	0,7
Ferro	1
Manganês	1
Zinco	1
Sólidos Totais	1.400
pH	7
CE (dS m ⁻¹)	1

Fonte: Carrijo e Makishima (2000 *apud* Stein,1997).

3.3 Arduino

O Arduino é uma plataforma aberta (do inglês “open-source”), de dispositivos eletrônicos e *software* baseado em fácil aplicação e uso. Uma placa Arduino é capaz de realizar a leitura de diversos tipos de sensores, assim como acionar outros (BACHINSKI; STEFANELLO, 2018).

O sistema de programação baseia-se em linguagem estruturada C++. O Arduino pode ser utilizado para diversas finalidades como projetos de automação, robótica e leitura de sensores etc. Teve seu surgimento na “*Ivrea Interaction Design Institute*” como uma ferramenta para prototipagem rápida para estudantes sem formação em eletrônica ou programação. A programação dos componentes do Arduino é realizada em uma IDE (*Integrated Development Environment*), disponibilizada para download gratuitamente.

Existe diferentes tipos de placas de Arduino, tais como UNO, Leonardo, Ethernet, Romeo, Aio e Mega, sendo a UNO considerada a placa padrão. A placa de Arduino UNO R3, têm como principais características uma corrente máxima de 500mA, tensão de operação de 5v na USB e tensão de alimentação de 12v no conector tipo “Jack”. Possui 14 pinos que podem ser utilizados como entradas e saídas digitais com tensão de 5v e corrente máxima de 40 mA por pino, além disso, conta com mais 6 pinos analógicos, com resolução de 10 bits, onde por padrão o conversor AD está ligado ao 5v, desse modo em estado Alto “5v” a leitura será de no máximo 1023 e em estado baixo 0.

A placa utiliza o microcontrolador ATMEGA328 que é responsável por gerenciar a programação e conta com um conversor ATMEGA16U2 de USB para serial permitindo o upload dos algoritmos.

3.3.1 Descrição dos módulos e sensores Arduino

Módulos Arduino são dispositivos eletrônicos formados a partir de placas de circuitos impresso e componentes específicos, a depender da finalidade para o qual foram desenvolvidos, variando também em tamanho, cor, etc. Um módulo para Arduino é a forma como são conhecidos diversos componentes integrados em uma única placa com uma finalidade específica, aumentando as funcionalidades do microcontrolador principal. Já os sensores Arduino são dispositivos eletrônicos com amplas capacidades de detecção de estímulos, sejam eles, movimentos, cheiros, luzes, entre outros, enviando outro estímulo sempre que perceber o primeiro.

3.3.1.1 Módulo rele 5v 10 A

Os módulos relés são utilizados para acionamento de dispositivos que operam sobre tensões e amperagem maiores, que não poderiam ser conectados diretamente pelo Arduino. Para acionamento das bombas foram utilizados 3 módulos relé de 5 volts, que

tem uma corrente de operação de 15 a 20 mA, que individualmente podem acionar cargas de 250 VCA ou 30 VCC, suportando uma corrente máxima de 10A.

3.3.1.2 *Sensor de Luz (LDR)*

O sensor de luz opera com uma corrente de 20 mA, pode ser utilizado para identificar o dia e a noite. Este sensor opera com um potenciômetro que permite regular a variação de luz no sensor, quando a luminosidade está abaixo do valor ajustado, a saída do sensor fica em estado alto “ligado”, e quando a intensidade de luz ultrapassa a faixa, a saída fica em estado baixo “desligado”. Desta forma, através da programação no Arduino é possível diferenciar o dia da noite.

3.3.1.3 *Modulo SD*

O modulo SD (do inglês *Store Data*) permite a leitura e escrita de informações em um cartão SD ou Micro SD com adaptador. Aceita cartões com formatação FAT16 ou FAT32, comunicando-se via interface SPI por meio dos pinos MOSI, SCK, MISO e CS. Opera sob uma tensão de 5v ou 3,3v. A escrita no cartão é feita por meio da biblioteca SD.h, possibilitando salvar os dados no formato “.txt”.

3.3.1.4 *Sensor de Temperatura e umidade DTH11*

O sensor DTH11 opera com uma corrente de 0,30 mA, sendo conjunto de sensores que permite a leitura da temperatura e umidade do ambiente. O elemento de medição da temperatura deste sensor é um termistor do tipo NTC e o sensor de umidade do tipo HR202, um circuito interno se comunica com o sensor a um microcontrolador.

A finalidade deste sensor é verificar a variação térmica e de umidade, sendo essencial pra automação deste sistema. O sensor permite fazer leituras das temperaturas em um ciclo de 0 a 50°C com uma precisão de +- 2,00 °C, enquanto que para umidade leituras entre 20 % a 90%, quanto a precisão de +- 5% UR, em um ciclo de resposta de 2s.

3.3.1.5 Protoboard

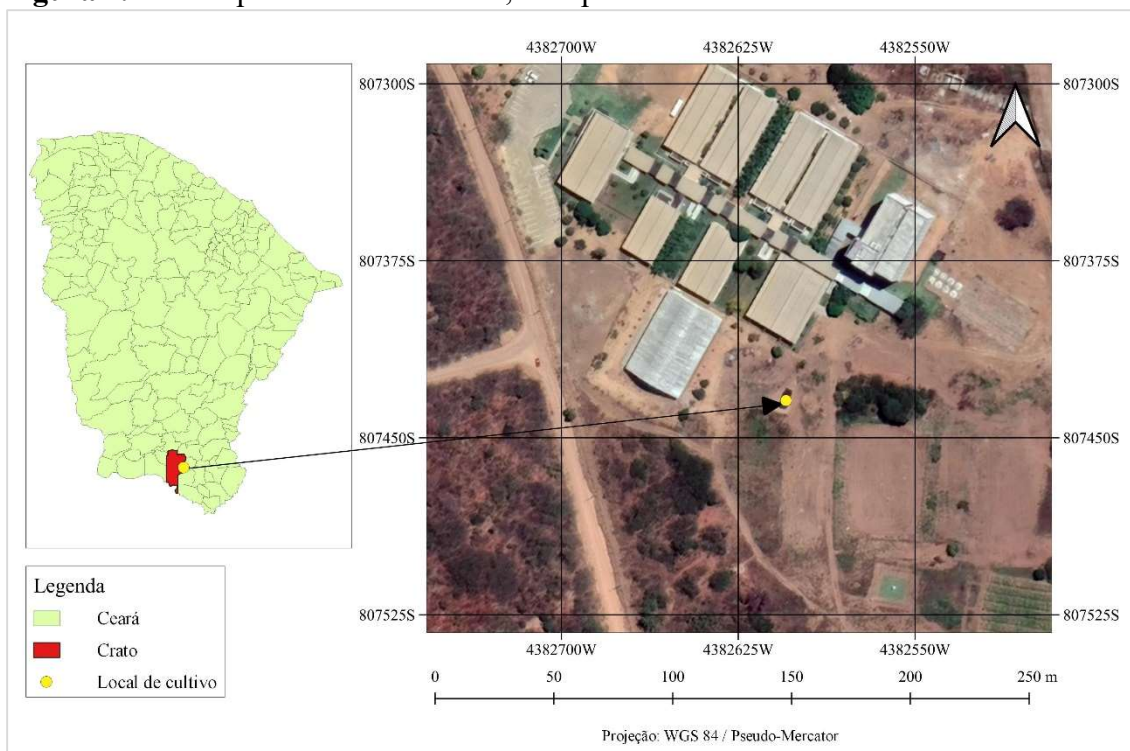
A protoboard é uma placa de ensaio comumente chamada de “matriz de contato”, ela é composta de furos e conexões condutoras, sendo utilizada para a montagem de protótipos de projetos em estado inicial. Possui a facilidade de inserção dos componentes, o que ajuda em quaisquer reposições de componentes.

4. METODOLOGIA

4.1 Localização da área de condução do experimento

O projeto foi desenvolvido na Universidade Federal do Cariri – UFCA, Campus Crato-CE, no período de 01 de maio a 01 de dezembro de 2021 em área experimental situada sob latitude $-7^{\circ} 13' 48''$ S e longitude de $-39^{\circ} 21' 36''$ W. Conforme classificação climática de Thornthwaite, o clima da região é o B_{1r}W₂A'a' com temperatura média anual de $25,10^{\circ}\text{C}$ e precipitação média 1086 mm ano^{-1} , com chuvas concentrando-se de janeiro a maio (LIMA *et al.* 2017). A Figura 1 apresenta o mapa do local de instalação do experimento.

Figura 1. Área experimental da UFCA, Campus Crato-CE.



Fonte: Autor.

A alface Crespa, cultivar Moana da ISLA, de médio porte e coloração verde-clara, tolerante a *Tip Burn* (deficiência de cálcio) foi submetida a diferentes níveis de salinidade 1,5; 2,0, 2,5, 3,0; 3,5 dS m⁻¹, que correspondem aos tratamentos A, B, C, D e E. Para obter os respectivos níveis de salinidade foi utilizado NaCl diluído em água, adicionado na solução nutritiva, até atingir o limite estabelecido para cada tratamento. Para aferir os níveis de salinidade (CE) e pH da solução nutritiva foi utilizado um equipamento portátil, modelo EC-3587 da *Analytical Instruments*, que possui uma resolução de 0,01 para pH e acurácia de $\pm 0,1$. Para a temperatura uma acurácia de 2% e, para a condutividade elétrica uma resolução de 10 uS cm⁻¹ com precisão de 2%.

4.2 Bancadas e perfis de escoamento da solução nutritiva

Para a condução do experimento confeccionou-se três bancadas: B1, B2 e B3, as quais foram instaladas dentro de um ambiente cercado com uma tela de sombreamento com fator de retenção de 50% com dimensões 4,00 x 10,00 x 2,00 m de largura, comprimento e altura. As bancadas foram dimensionadas com 2,00 m x 3,00 m de largura e comprimento, o suporte dos perfis foi confeccionado de madeira.

Cada bancada possui cinco perfis espaçados em 0,30 m, confeccionados com tubos de PVC (“linha de esgoto reciclável”) com comprimento de 3,00 m, com seção interna de Ø 0,075 m, onde foram feitas perfurações com Ø 0,05 m espaçadas em 0,25 m para disposição da cultura. Portanto, perfazendo uma população de 50 plantas para cada bancada, onde cada perfil comporta 10 plantas em seu respectivo tratamento. A declinação dos perfis utilizada foi de 3%.

A circulação da solução nutritiva foi compartilhada entre os perfis das três bancadas para cada tratamento, onde as soluções nutritivas retornam para os reservatórios de origem. O contato da alface com a solução dar-se apenas através de seu sistema radicular. A solução nutritiva foi armazenada em sistemas independentes, onde cada recipiente tinha seu próprio sistema de bombeamento.

No bombeamento da solução nutritiva foram utilizadas 5 bombas automáticas, compartilhadas entre os blocos e seus respectivos tratamentos. As bombas ao qual o módulo aciona detêm potência de 19w e funcionam a uma tensão de 12v para produzir uma vazão de 800 L h⁻¹. Assim, foram utilizados módulos individualizados, ao invés de um único módulo com vários canais.

Desse modo, caso algum módulo apresente problema, poderá ser substituído individualmente ao invés de trocar um módulo maior e mais caro, além de individualizar cada tratamento com seu módulo. As bombas foram instaladas individualmente em 5 recipientes de 50 L, compartilhados entre os blocos das bancadas de salinidade. Sendo produzidos 250 L de solução nutritiva na fase inicial.

Para tubulação de distribuição da solução nutritiva foi utilizado uma mangueira de polietileno com diâmetro interno de 0,02 m, saindo dos recipientes até os blocos e seus respectivos tratamentos. A derivação da distribuição para os perfis foi realizada com mangueira tipo espaguete com diâmetro 0,006 m. O retorno da solução nutritiva, para seu reservatório de origem, foi feito através de mangueiras de 0,02 m de diâmetro instaladas em um CAP de 0,075 m ao fim de cada perfil. Tabela 4 apresenta a relação de material para sua confecção e a Figura 2 apresenta o ambiente de cultivo, as bancadas com os perfis e o sistema de armazenamento da solução.

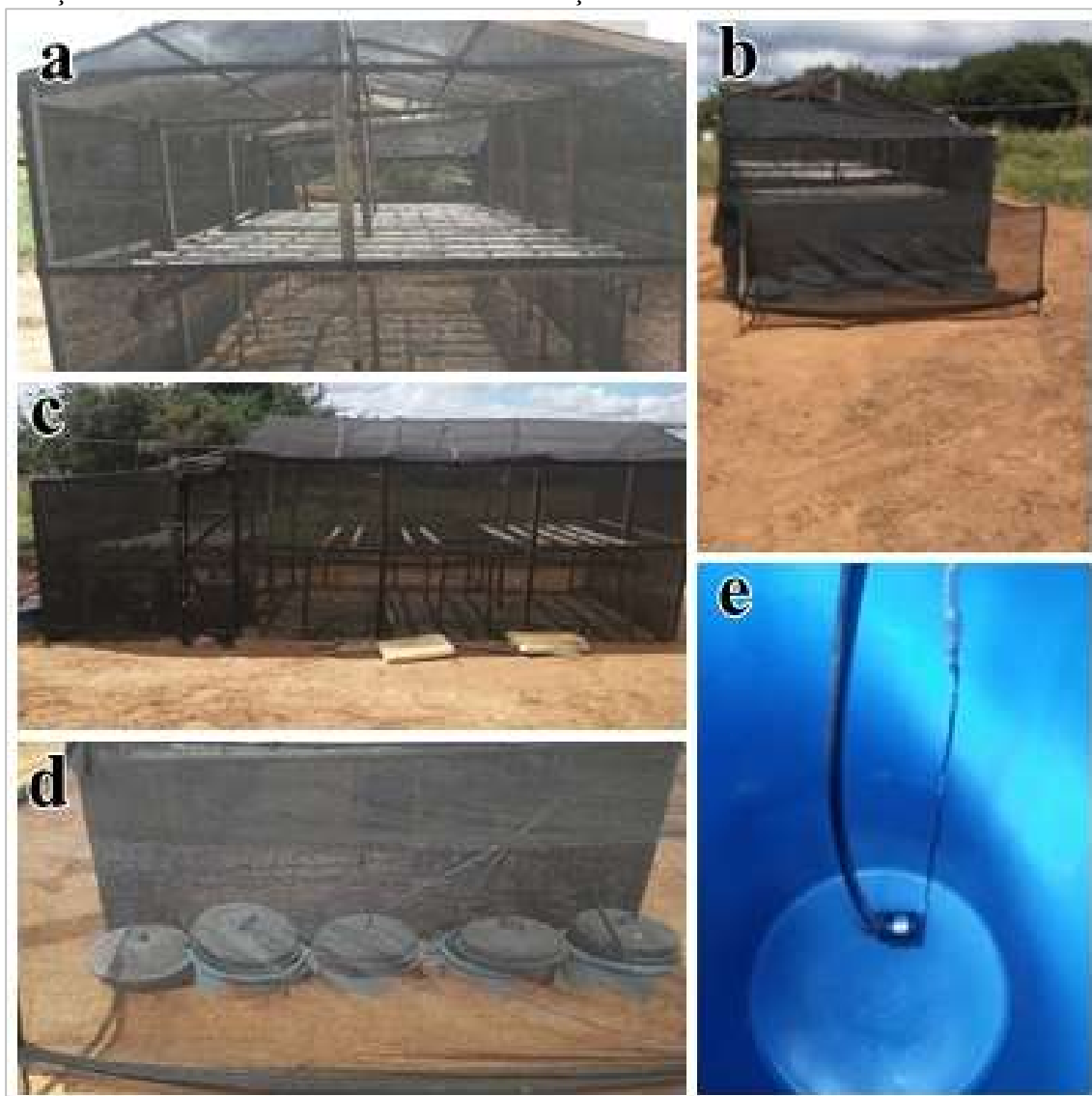
Conforme Paulus (2008), a vazão nos perfis deve ser mantida em $1,6 \text{ L min}^{-1}$ através do fechamento de registros. Para verificar a vazão em cada tratamento foi coletado um volume de 200 ml e cronometrado o tempo, três vezes para cada perfil, determinando desta maneira, as vazões médias de escoamento de cada tratamento.

Tabela 4. Materiais utilizados para confecção bancadas salinidade e seus respectivos custos.

Itens	Quantidade	Unidade	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$)
Caibro 5 x 6 cm	47,10	m	4,00	188,40
Parafusos 8 cm	18	Uni	0,60	10,80
Parafusos 3 cm	30	Uni	0,10	3,00
Tubos PVC 75 mm	7,50	Uni	50,00	375,00
Mangueira polietileno 20 mm	25,00	m	1,00	25,00
Mangueira polietileno 6 mm	4,00	m	4,00	4,00
Arame	1	Kg	20,00	20,00
Tambor 50 L	5,00	Uni	40	200
Total				826,20

Fonte: Autor.

Figura 2. Vista dos perfis de escoamento de solução “a”, vista frontal do local de condução do experimento “b”, e vista lateral “c”, recipientes de armazenamento da solução “d” e sistema de bombeamento d solução “e”.



Fonte: Autor.

4.3 Níveis de salinidade e Solução nutritiva

Uma amostra de água de 1L foi coletada e enviada para o laboratório de análises de água, alimentos e efluentes industriais (*Aqualyse*), localizado na cidade de Caruaru-PE, o laboratório possui a ISO 17025. Para a coleta da amostra, abriu-se o ponto de água e deixou-se escoar por 8 minutos, posteriormente iniciou-se um tríplice lavagem do recipiente, já previamente limpo, com água do local, para só então tomar-se a amostra, que foi imediatamente encaminhada para o laboratório.

Os parâmetros avaliados na amostra foram pH, cloro residual livre, turbidez, condutividade, fósforo, boro, carbonatos, ferro total, manganês, potássio, sólidos totais, sódio e zinco. A escolha dos parâmetros deu-se através dos limites estabelecidos por Carrijo e Makishima (2000 *apud* Stein,1997), conforme apresentado na Tabela 3. O resultado do laudo do laboratório pode ser observado no Anexo A.

A solução nutritiva utilizada foi a proposta por Furlani (1998). A solução foi acondicionada de forma a ficar protegida do sol, a fim de evitar o seu aquecimento e formação de microalgas Figura 2d (PAULUS, 2008). A Tabela 5 apresenta os sais adquiridos para preparo da solução nutritiva.

Tabela 5. Sais para solução nutritiva e outros itens adquiridos.

Itens	Nutrientes	Kit (g)	Total (g)	Valor total (R\$)
	Nitrato de Cálcio	750	2250	
	Nitrato de potássio	500	1500	
	Fosfato monoamônico MAP	150	450	
	Sulfato de magnésio	400	1200	
	Sulfato de cobre			110
3 Kits para 3000 L de Solução proposta por Furlani (1998)	Sulfato de zinco			
	Sulfato de manganês	30		
	Ácido bórico ou Molibdato de sódio		90	
	Fe-EDTA -13% Fe	30	90	
	Peagâmetro e Condutivímetro			113
Total				223,00

Fonte: Autor.

Para compensar os sais absorvidos pela planta deve-se repor os sais sempre que a condutividade elétrica for superior a 40% do valor da solução inicial conforme Furlani (1998). Do mesmo modo, para compensar água consumida a reposição do volume de água da solução foi realizada sempre que o volume do recipiente atingiu 60%, sendo adicionado água e, posteriormente, elevado o nível da condutividade elétrica.

No cultivo sem solo também deve-se regular o pH da água, para faixa de 5,00 a 7,00, para que se tenha maior disponibilização de nutrientes. Foram verificados semanalmente as variações do pH, sendo adicionado um ácido clorídrico HCL a 10%

quando este encontrava-se básico e, uma base NaOH 1mol L⁻¹ quando se encontrava ácido, mantendo no ciclo recomendado (LUZ; GUIMARÃES; KORNDÖRFER, 2006).

De acordo com Carrijo e Makishima (2000), quando a leitura do pH for acima de 7,00 utiliza-se um ácido nítrico ou sulfúrico e quando for abaixo de 5,00 deve-se utilizar hidróxido de sódio, hidróxido de potássio ou carbonato de sódio.

4.4 Característica da cultivar de alface utilizada

No Brasil a alface crespa e americana são as duas principais cultivares cultivadas amplamente em cultivo com solo e sem solo. Para essa pesquisa, foram utilizadas sementes de alface da ISLA cultivar "*Moana*" tipo crespa, lote 144490-003, safra de 19/20, com validade até junho de 2023. A cultivar tem como características coloração verde-clara, produz folhas macias e recortadas, planta rústica e de alta crespicidade, com resistência ao pendoamento e tolerante a *Tip Burn* (deficiência de cálcio), apresenta máximo desempenho em cultivo hidropônico, seu ciclo está entre 60-70 dias após a semeadura.

Preconizou-se a utilização de cultivar com ciclo curto. Já que quanto menor o ciclo menor serão os efeitos causados pela salinidade, maior a produtividade anual, menor o tempo de exposição da cultura a pragas e insetos e menor o ciclo de limpeza das bancadas. Cultivares com ciclos mais longos podem sofrer mais danos por tempo de exposição a condutividades elevadas.

4.5 Germinação e produção de mudas

Para a germinação foi utilizada a fibra de coco, por ser um substrato mais acessível e de fácil produção em propriedades rurais, além de apresentar boas características como boa retenção de água, aeração e baixa compressão. Sendo cultivadas sementes nuas "não peletizadas" da alface crespa cv. *Moana*.

Segundo Cordeiro *et al.* (2017) a fibra de coco proporciona desenvolvimento satisfatório das mudas de alface e sugere que na produção de mudas em fibra de coco se utilize uma concentração da solução um pouco superior a 50% da solução padrão da formulação, devendo, entretanto, está atento a condutividade elétrica da solução. A solução de Furlani (1998) produz uma condutividade elétrica em torno de 1,5 dS.m⁻¹ para águas de baixíssima salinidade. A inibição da germinação das sementes de alface é um

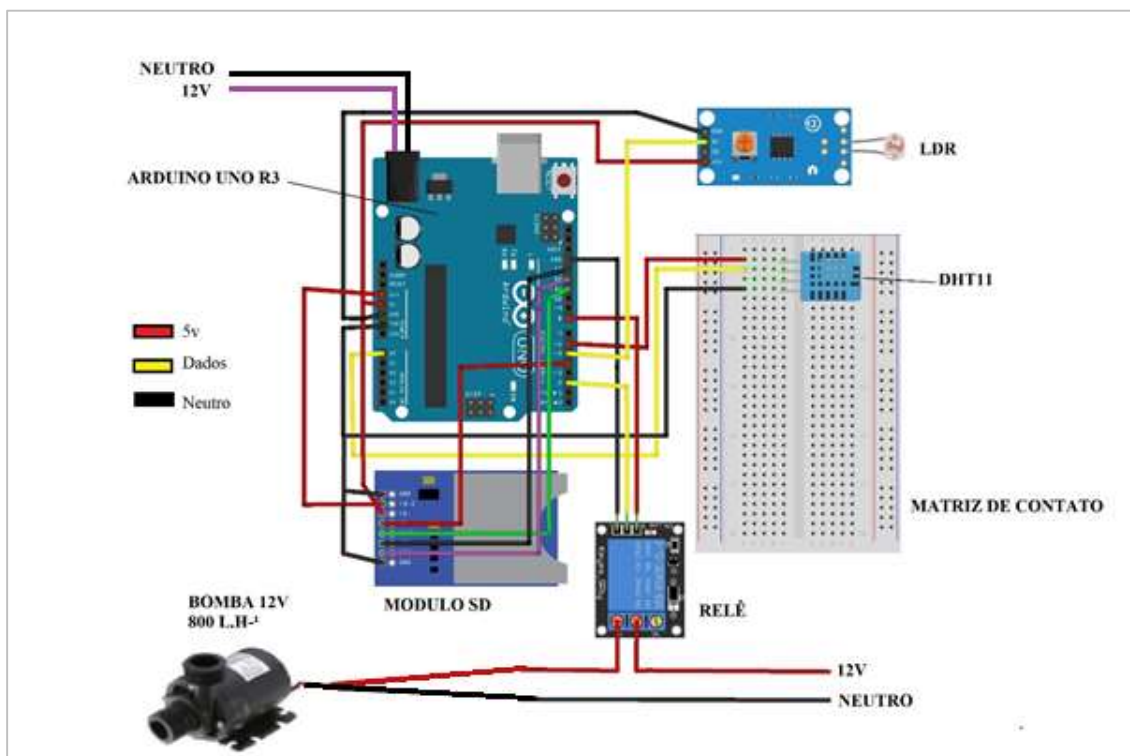
fator importante e pode ocorrer em temperaturas muito elevadas ou muito baixas. Segundo Nascimento e Cantliffe (2002) as sementes de alface germinam melhor em uma temperatura entre 20 e 30 °C.

Antes da sementeira foi realizada a leitura do pH e condutividade elétrica d'água com condutivímetro e pHmetro portátil, verificando-se um pH de 6,0 e uma CE de 0,012 dS m⁻¹. Utilizou-se de 120 copos de plásticos com furo na extremidade inferior, sendo cultivados três sementes por copo, totalizando 360 sementes.

Durante as primeiras 24 horas os copos foram colocados em câmara escura, envoltos com plástico filme. Após esse tempo, com o início da emergência, foram transferidas para a maternidade onde receberam apenas água por cinco dias, em ciclos de 15 minutos a cada 4 horas durante o dia e, 5 minutos a cada 4 horas durante a noite. O menor tempo de aplicação a noite, sendo 1/3 do dia, decorre por haver uma menor demanda atmosférica e assim, menor evapotranspiração.

Para tanto, utilizou-se o mesmo esquema de automação das bancadas NFT Arduino Uno R3, entretanto, ajustando-se o tempo dos ciclos para evitar saturação do substrato na fase de produção de mudas, melhorando assim a disponibilização da solução nutritiva e a aeração. A Figura 4 ilustra o diagrama do sistema de automação da maternidade, “produção de mudas”, e no Apêndice A o código de automação.

Figura 3. Diagrama de instalação dos componentes no Arduino Uno para produção de mudas de alface em maternidade.



Fonte: Autor.

Na maternidade, após abertura completa das folhas as plantas começaram a receber solução nutritiva a 50% “ou seja a solução padrão, acrescida de 50% de seu volume em água” por meio de ascensão capilar nos ciclos definidos, ajustando-se o pH e CE diariamente para 6,0 e 0,85 dS m⁻¹, respectivamente.

A maternidade foi constituída de três bandejas para escoamento da solução, um pequeno suporte de madeira, uma mini bomba de 12 v e 800 L h⁻¹, sistema de automação com Arduino, sistema de aplicação da solução e drenagem e recipiente de armazenamento da solução. Entre as bandejas de escoamento e os copos com as mudas, foi colado uma tela, para melhorar o escoamento da solução e auxiliar na drenagem. A Figura 4 apresenta a imagem da maternidade utilizada para cultivo das mudas da alface crespada cv. Moana.

Figura 4. Maternidade onde foram produzidas as mudas.



Fonte: Autor.

4.6 Programação e montagem do sistema automação com Arduino Uno R3 para os perfis NFT

Para essa pesquisa, a circulação da solução nutritiva foi estabelecida em função da temperatura e umidade. Durante o dia, por um tempo de 15 minutos com ciclos de 10 ou 15 min e a noite, por 15 min com um ciclo de 60 ou 120 min, onde o ciclo menor objetivou atenuar os efeitos do estresse salino e variações da temperatura e umidade do ar. Em outros trabalhos com tempo fixo, a recomendação é de que durante o dia a solução nutritiva deve circular por um tempo de 15 a 20 min, com ciclos de 10 a 15 min, enquanto a noite de 10 a 15 min em um ciclo de 3 a 4h (FAQUIN et al. 1999; PAULUS, 2008).

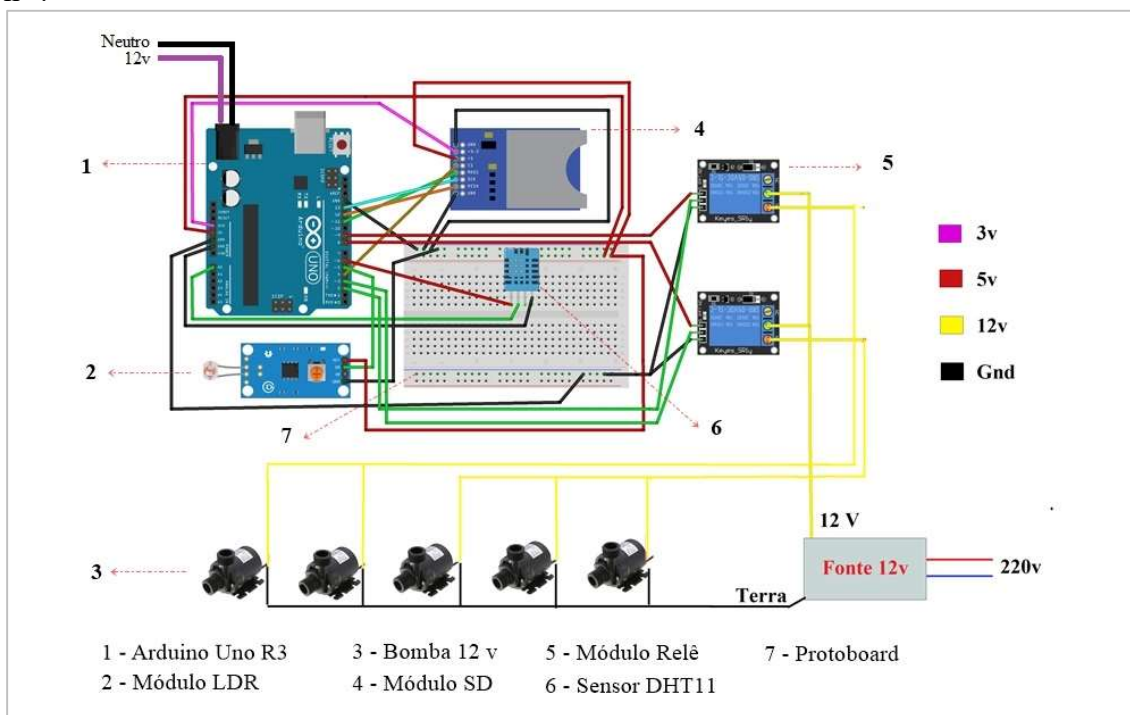
Para atender a essas especificações de circulação da solução nutritiva foi desenvolvido um sistema de automação utilizando Arduino Uno R3, com diferentes módulos e sensores. Em uma protoboard com 400 pontos, foram acoplados os sensores LDR, DHT11, Módulo Relé, Módulo SD, etc. A Tabela 6 apresenta a relação do material utilizado e a Figura 5 e 6 o esquema de montagem e sistema de automação finalizado.

Tabela 6. Materiais utilizados para confecção sistema de automação e bombeamento.

Itens	Quantidade	Unidade	Valor unitário	Valor total (R\$)
Arduino	1,00	Uni	45,00	45,00
Modulo Rele 5v de 10 A	2,00	Uni	5,00	10,00
Modulo SD	1,00	Uni	14,57	14,57
Cartão Micro SD	1,00	Uni	30,00	30,00
Sensor LDR	1,00	Uni	3,00	3,00
Sensor DTH11	1	Uni	2,50	5,00
Case de plástico	1	Uni	25,00	25,00
Protoboard	1	Uni	10,00	20,00
Fonte chaveada 12V 10 A	1	Uni	110,00	110,00
Jump Banana Fêmea	3	Uni	2,50	7,50
Jump Banana Macho	3	Uni	2,50	7,50
Bomba 12v 800L	5,00	Uni	68,70	343,50
Total				621,07

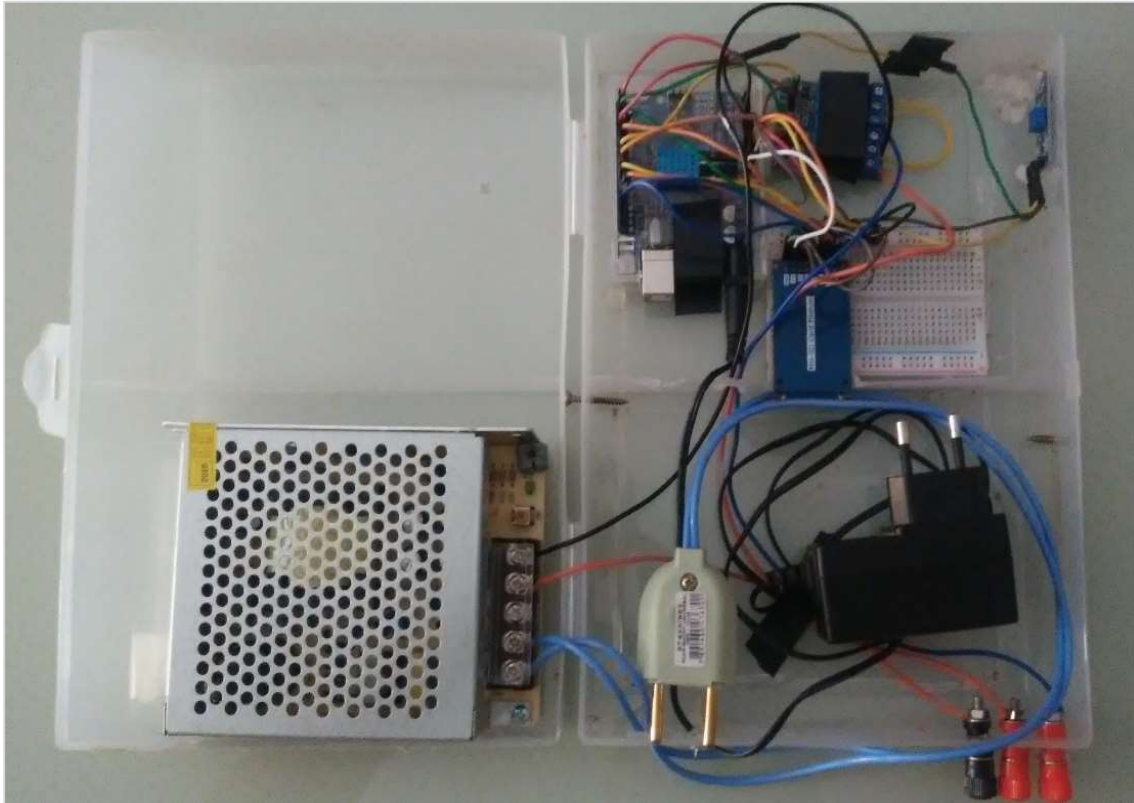
Fonte: Autor.

Figura 5. Diagrama de sistema de automação para cultivo hidropônico com Arduino Uno R3 e módulos LDR, SD, sensor DTH11, módulos relés e bombas de água 12v de 800 L h⁻¹.



Fonte: Autor.

Figura 6. Sistema de automação para cultivo hidropônico.

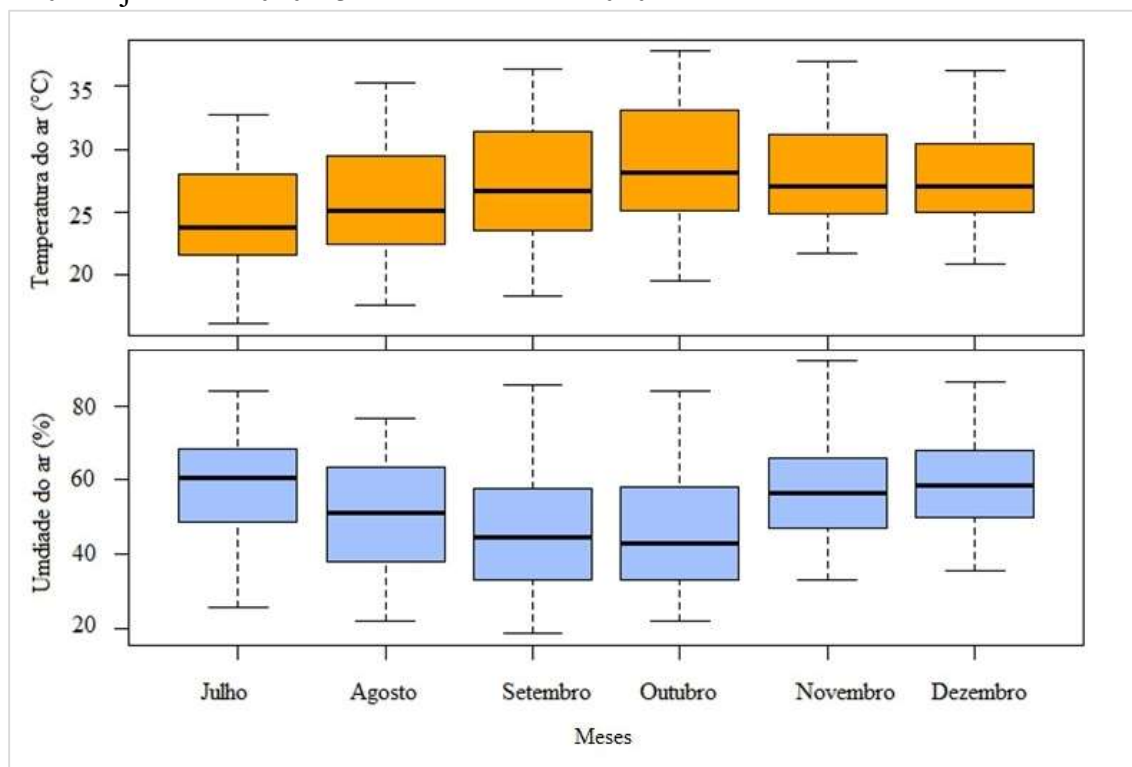


Fonte: Autor.

A programação foi realizada em IDE do Arduino versão 1.8.5 em linguagem C++. Para automação do sistema em função da temperatura e umidade do ar, estruturas condicionais controlaram o ciclo de circulação da solução.

Para tanto, estabeleceu-se limites máximos de temperatura do ar e mínimo de umidade do ar em que um sensor atuaria, para que o sistema decidisse que ciclo aplicar. Assim, foram obtidos dados de temperatura e umidade do ar de 01 de julho a 31 de dezembro de 2020 em ciclo horário da estação do INMET em Barbalha-CE para verificar qual seriam os limites. A Figura 7 apresenta o boxplot para a temperatura e umidade do ar para os diferentes meses da estação de Barbalha-CE.

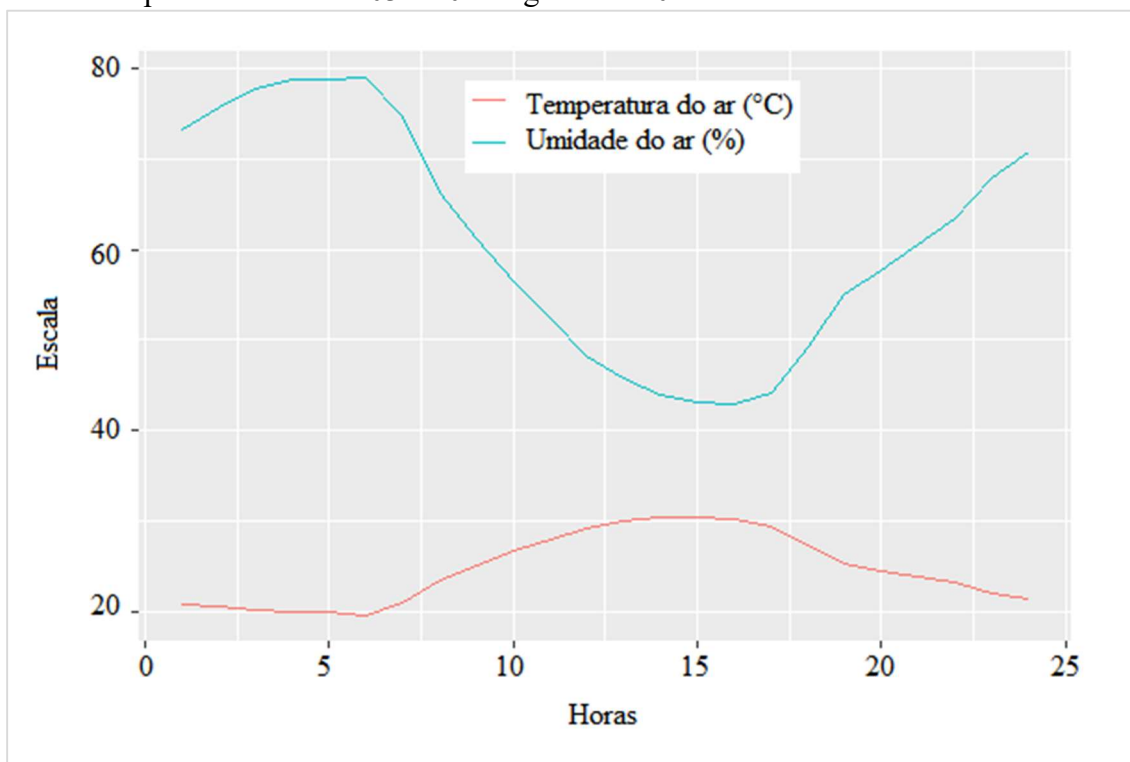
Figura 7. Boxplot para temperatura e umidade dos dados horários da estação de Barbalha de 01 de junho de 2020 à 31 de dezembro de 2020.



Fonte: Autor.

Observa-se pelos registros mensais da estação de Barbalha-CE que ocorre variação de temperatura e umidade ao longo dos meses. Essa mudança, também é observado ao longo do dia. A Figura 8 ilustra a variação da temperatura e umidade do ar para estação HOBO RX3000 instalada no campus da UFCA, próximo ao local do experimento, para dados coletados em ciclos de 5 minutos do dia 03 a 10 de agosto de 2021. A Tabela 7 apresenta o resumo estatístico para estação INMET de Barbalha e da estação da UFCA modelo HOBO RX3000.

Figura 8. Média de dados horários para estação HOBO RX3000 instalada próximo ao local do experimento do dia 03 a 10 de agosto de 2021.



Fonte: Autor.

Tabela 7. Resumo estatístico para os dados horários de temperatura e umidade da estação INMET em Barbalha – CE do dia 01 de junho a 31 de dezembro de 2020 e dados da estação da UFCA modelo HOBO RX3000 do campus da UFCA do dia 03 a 10 de agosto de 2021.

Descrição	Min	Max	Med	Md	Mod	1° Quartil	3° Quartil	CV (%)
Barbalha – CE								
Temperatura do ar (°C)	16,10	37,80	27,08	26,50	24,18	23,70	30,40	16,00
Umidade do ar (%)	18,50	92,00	52,91	53,25	68,44	41,50	64,50	26,79
Estação da UFCA								
Temperatura do ar (°C)	15,37	33,05	24,71	24,36	21,37	21,32	28,25	16,24
Umidade do ar (%)	31,40	90,76	61,11	60,45	45,72	48,48	72,70	22,34

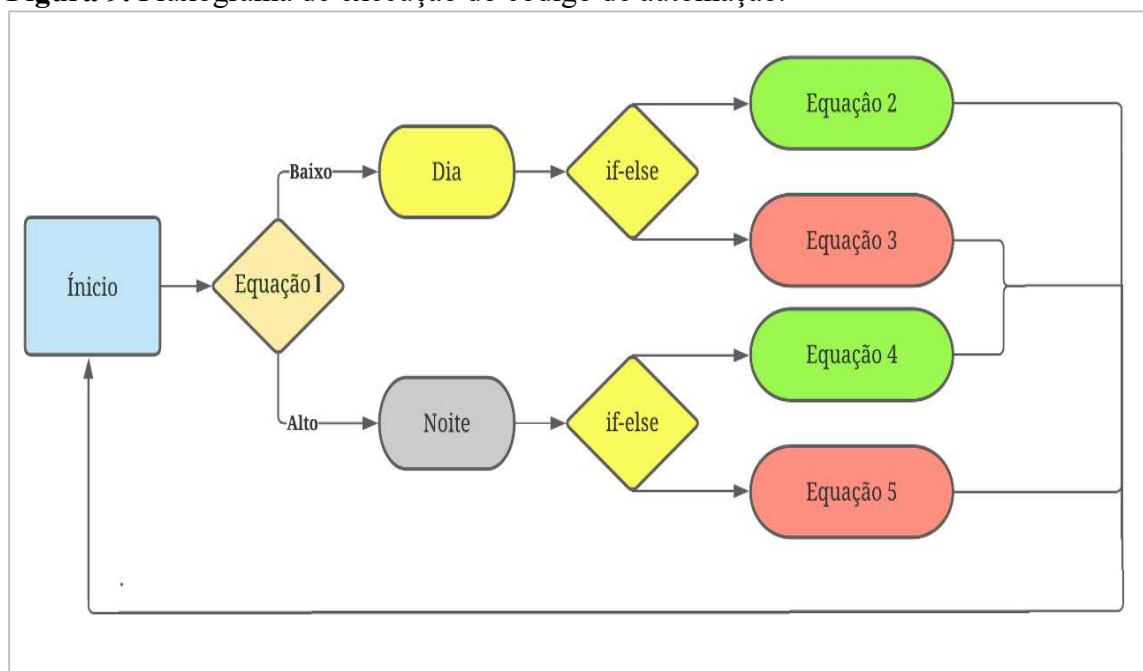
CV: Coeficiente de variação; Min: Mínimo; Max: Máximo; Med: média; Md: mediana; Mod: moda determinada pelo método de Czuber.

O sistema de automação com o sensor DHT11 foi instalado dentro de um ambiente protegido com tela de sombreamento onde foi conduzido o experimento. Este sensor é de baixo custo e fácil aplicação, o que facilita seu uso em diversas atividades que não se deseja alta precisão, apresenta margem de erro de 2°C para temperatura e 5% para umidade.

Na criação das estruturas condicionais, que direcionam como se comporta o sistema de automação, para que responda as variações diárias e mensais foi empregado os limites dos quartis para temperatura e umidade do ar mensal, sendo utilizado o 3º quartil para os dados de temperatura acrescido da sensibilidade do sensor e, o 1º quartil dos dados de umidade do ar acrescido da sensibilidade do sensor. Resultando dos limites máximo de 32 °C para temperatura do ar (°C) e mínimo de 45% para umidade do ar.

As Equações de 1 a 5 apresentam as estruturas condicionais utilizadas. Para verificar o estado do ambiente quanto a presença ou ausência de luz “dia” e “noite” foi utilizado a Equação 1. As Equações 2 e 3 foram empregadas durante o dia, enquanto que, as Equações 4 e 5 a noite. Portanto, as estruturas foram utilizadas para definir os diferentes ciclos de circulação da solução nutritiva para o dia e noite em função da temperatura e umidade no momento. A Figura 9 apresenta o fluxograma de execução do código e o Quadro 2 apresenta as equações para controle da solução nutritiva. No Apêndice B é apresentado o código fonte com a sequência de algoritmos desenvolvidos para o funcionamento do sistema.

Figura 9. Fluxograma de execução do código de automação.



Fonte: Autor.

Quadro 2. Equações para controle da solução nutritiva.

Período	Tempo ligado (min)	Tempo Desligado (min)	Condicional	Nº
-	-	-	if (LDR == LOW){ID}else{INo}	Eq.1
Dia	15	10	if (Temp \geq 32 or Umid \leq 45) {IN}else{IN}	Eq.2
Dia	15	15	else if (Temp < 32 or Umid > 45){IN}else{IN}	Eq.3
Noite	15	60	if (Temp \geq 32 or Umid \leq 45){IN}	Eq.4
Noite	15	120	else if (Temp < 32 or Umid > 45){IN}	Eq.5

Fonte: Autor.

Em que:

if: instrução “se” verifica se a primeira condição seja verdadeira, nesse caso executa linhas de código;

else: instrução “então”, caso a primeira instrução não seja verdadeira executa linhas de código;

else if: instrução “então se” caso a primeira condição não seja verdadeira verificar segunda condição, se for verdadeira executar linhas de código;

LDR: estado do sensor LDR, onde LOW é o estado “dia” e HIGH “noite”;

ID: Instruções a serem executadas durante o dia;

INo: Instruções a serem executadas durante a noite;

IN: Instruções a serem executadas;

Temp: Temperatura do ar no momento;

Umid: Umidade relativa do ar no momento;

Or: operador relacional OR “ou”.

4.7 Delineamento experimental em blocos ao acaso

O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizado (DBC), onde os tratamentos são distribuídos aleatoriamente em blocos, de modo que haver maior homogeneidade possível dentro do bloco, mantendo o princípio da casualização, repetição e controle local (SANTOS; GHEYI, 2003). As bancadas B1, B2, B3, foram divididas nos BL1, BL2, BL3, BL4, BL5 com cinco tratamentos (A, B, C, D e E) em um esquema fatorial de 5 x 5, com quatro repetições para cada tratamento.

Segundo Santos e Gheyi (2003), em condições de campo o DBC é o delineamento mais empregado, em que sua eficiência depende da uniformidade e homogeneidade de

cada bloco, algo fácil de se conseguir em cultivo hidropônico, já que a solução nutritiva passa pelo tratamento e retorna ao seu ponto de origem, de forma uniforme. A Equação 6 demonstra o modelo estatístico do DBC.

$$Y_{ij} = c - b_j + T_i - E_{tj} \quad \text{Eq.6}$$

Em que:

Y_{ij} : a observação do i -ésimo tratamento no j -ésimo bloco;

c : uma constante geral;

b_j : o efeito do j -ésimo bloco;

t_i : o efeito do i -ésimo tratamento;

E_{tj} : o erro experimental associado à observação Y_{ij} .

4.8 Parâmetros estatístico avaliados e de manejo

Inicialmente, foram coletados dados de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), umidade do ar (%) durante a emergência das sementes para produção de mudas. Para tanto, foi empregado o sensor DHT11, modulo SD e Arduino Uno R3. A percentagem de emergência (PE) foi quantificada para as condições de semeadura, assim como, o índice de velocidade de emergência (IVE). Para determinar a porcentagem de emergência foi empregado a Equação 7 e Equação 8, que teve como referência os modelo utilizado por Araújo, Silva e Lima (2018) e proposto por Laborial e Valadares (1976) e Maguire (1962).

$$PE\% = \frac{EM}{CG} * 100 \quad \text{Eq.7}$$

$$IVE(\%) = \frac{E1}{N1} + \frac{E2}{N2} \dots \frac{En}{Nn} * 100 \quad \text{Eq.8}$$

Em que:

PE%: sementes que emergiram, em %;

EM: emergência de sementes;

TE: as sementes que foram colocadas para emergência.

$E1, E2 \dots Gn$: é o percentual de plantas germinadas na primeira, segunda até a última contagem;

$N1, N2 \dots Nn$: é o número de dias desde a primeira, segunda até a última contagem.

A temperatura do ar (T) e a umidade do ar (UR) foram obtidas com o sensor DHT11 de forma automática, assim como, o ciclo de aplicação da solução para avaliar a eficiência do sistema de automação. Durante o desenvolvimento passou-se a registrar o número de folhas (NF) e a medir o diâmetro caulinar (DC), durante os dias após o transplante (DAT).

Para determinar a massa fresca das folhas (MFF), a massa fresca das raízes (MFR) e a massa fresca total (MFT) foi realizado em cada tratamento de cada bloco a pesagem das plantas viáveis de alface na balança de precisão de 0,1g.

Para análise estatística foi utilizado o *software* RStudio e R versão x64 4.0. e o *software* Sisvar versão 5.8 ao qual foi empregado o delineamento em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial 5 x 5 para as variáveis NF, MFT, MFR, MFF, MSF, MSR e MST, para o qual foi realizado a ANAVA e o teste de Tukey. Variáveis de manejo importantes para o experimento como temperatura da solução, CE e pH foram monitoradas e registradas em relação aos dias após o plantio (DAP) e transplântio (DAT).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

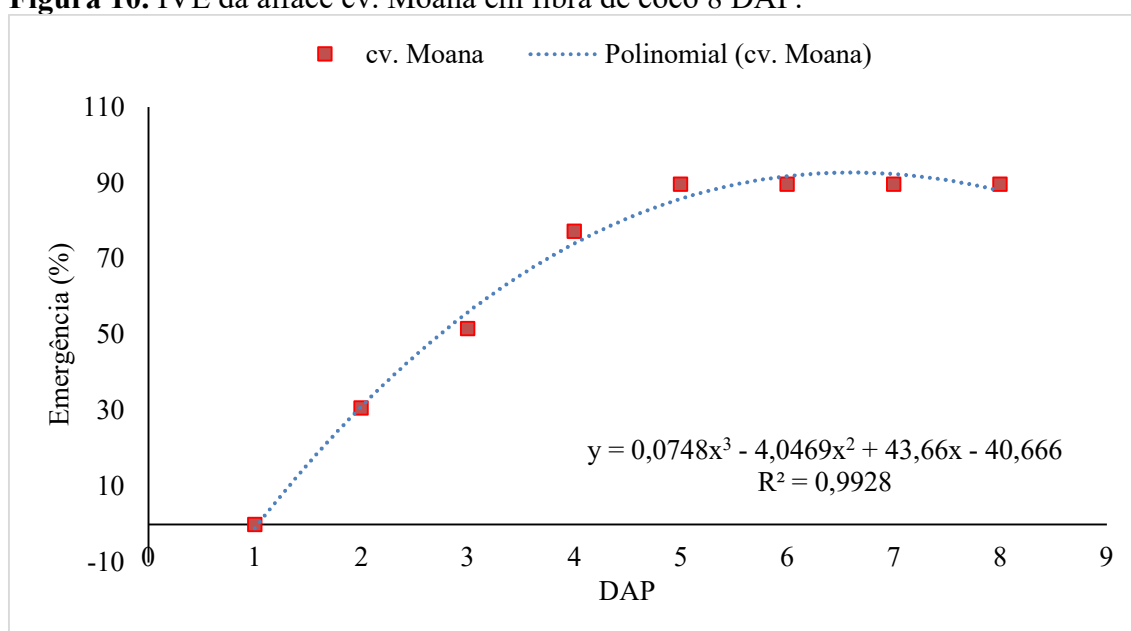
5.1 Emergência e produção de mudas

O resultado da análise de água Anexo A apresenta uma água com excelente qualidade para cultivo hidropônico. O pH da água de 7,3 próximo a neutralidade, juntamente com a CE de 0,064 dS m⁻¹ são considerados valores ótimos, quanto a qualidade da água para hidroponia. A baixa condutividade elétrica da água contribui para uma solução com menor salinidade. Todas as concentrações de sais da água estão de acordo com os limites estabelecidos por Carrijo e Makishima (2000 *apud* Stein,1997).

A semeadura do alface-crespa cv. Moana ocorreu no dia 15 de outubro de 2021 às 10:30h am. A emergência iniciou um dia após a semeadura em 16 de outubro, encerrando em 22 de outubro de 2021, perfazendo um total de 7 DAP, obtendo-se uma emergência de 89,53% de um total de 360 sementes, o que perfaz um total de 38 sementes não germinadas, 10,47%. Morais *et al.* (2018) avaliando a emergência da alface em condições similares, obteve uma emergência de 80% em fibra de coco com a alface-americana cv. Lucy Brown.

Para a germinação, a temperatura média do ar ficou entre 28 e 32 °C, enquanto a umidade oscilou de 40% para 60%. Assim a cultivar apresenta satisfatória germinação em fibra de coco. Xavier *et al.* (2020) verificou que a adição de fibra de coco em outros substratos também contribui para a emergência e qualidade das mudas. Nesse sentido, a fibra de coco pode ser utilizada sozinha ou associada a outros substratos. Rodrigues *et al.* (2020) verificou que a adição de fibra de coco em outros substratos melhora a emergência e a qualidade das mudas da alface cv. Stella Manteiga. O índice IVE pode ser observado na Figura 10 cultivar Moana.

Figura 10. IVE da alface cv. Moana em fibra de coco 8 DAP.



Fonte: Autor.

De acordo com Silva *et al.* (2020) a alface apresenta sensibilidade às variações de temperatura durante sua emergência sendo a faixa entre 20 a 30 °C considerada ideal. O plástico empregado na cv. Moana auxilia na regulação da temperatura e umidade mantendo-a constante, o que favorece uma maior indução na germinação e, portanto, emergência.

O sistema de automação desenvolvido testado na produção das mudas de alface cv. Moana, registrou temperatura máxima de 42 °C às 15:00h, mínima de 25 °C às 3:00h com temperatura média do ar de 30,63 °C, enquanto que, a umidade máxima foi de 74% às 3:00h, a mínima de 16% às 19:00h e a umidade média 44,92%. Os dados de temperatura e umidade foram obtidos pelo sensor DHT11, ressalta-se que sistemas de automação tradicionais “com temporizadores” não possuem esta capacidade, não sendo

possível obter informações do local através de sensores. Júnior, Ferreira e Carvalho (2020) demonstraram o emprego do sensor DHT11 para monitoramento da temperatura e umidade em ambiente sob cultivo hidropônico e verificou que seu uso é efetivo para aquisição de dados ou automação.

A possibilidade de adequar a automação às características locais de diversas maneiras possíveis e ainda coletar dados do clima e outros, somente é possível com o emprego de tecnologias como o Arduino. Os dados de temperatura e umidade são importantes para o manejo e assim o bom desenvolvimento do vegetal. Segundo Cometti, Galon e Bremenkamp (2019) a temperatura afeta a formação das folhas de alface. No Apêndice C é possível observar a variação da temperatura e umidade ao longo da produção das mudas (484 horas = 20 dias), com ciclo de quatro horas, ou seja, a cada ciclo de irrigação.

Verifica-se que, conforme há um aumento na temperatura ocorre um decréscimo na umidade do ar, os horários com maiores temperaturas registradas foram às 15:00h e umidade às 3:00h, inversamente, com menores temperaturas às 3:00h e 19:00h respectivamente. Favarato *et al.* (2018) relata que em alface cultivado sob diferentes coberturas de solo há variação da temperatura e umidade do ar ao longo do dia, com aumento da temperatura das 5:00h às 11:00h e diminuição das 13:00h às 23:00h. Apesar de em hidroponia não se fazer o uso do solo, a temperatura e umidade continuam a afetar o desenvolvimento vegetal. Segundo Taiz *et al.* (2017), a umidade do ar é importante no processo de evapotranspiração, maiores déficits de saturação de água na atmosfera contribuem para maior taxa evapotranspiração e assim, absorção de água e nutrientes.

A alta temperatura do ar em cultivo da alface favorece o surgimento de pragas como a larva minadora, do mesmo modo, elevadas temperaturas da solução nutritiva favorecem o surgimento de doenças como o *Pythium*. O Apêndice D apresenta a variação da temperatura da solução nutritiva medida com instrumento EC-3587, uma vez ao dia as 8:00 da manhã.

Na prevenção contra a larva minadora foram realizadas aplicações diárias, com uma solução à base de alho diariamente ao entardecer. A solução foi produzida acrescentando-se dois dentes de alho e 50g de sabão de coco em 4 litro d'água (JESUS, 2021). Do mesmo modo, para prevenir a ocorrência de *Pythium* foi empregado o uso de água-oxigenada 10 volume, na proporção de 33ml para 1000L. Costa (2020) demonstra a efetividade do peróxido de hidrogênio H_2O_2 no controle do *Pythium* em cultivo

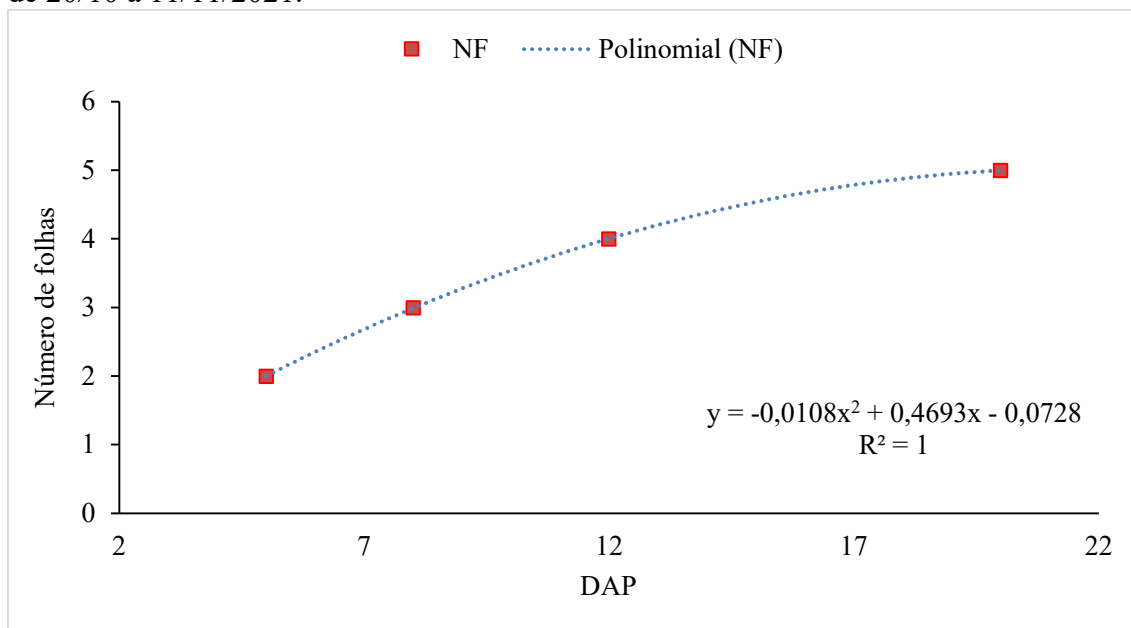
hidropônico da couve-flor, empregando peróxido de hidrogênio 200 volume na concentração 1,70 ml para 1000 L de solução uma vez na semana.

Segundo Bezerra Neto *et al.* (2017), a correção do pH e CE durante a produção deve ser realizada objetivando manter o pH entre a faixa ideal de 5,5 e 6,5 e a condutividade entre 0,8 e 1 dS m⁻¹. O monitoramento constante se faz necessário, apesar da leitura desses dados ter sido registrada manualmente. A aquisição através de sensores acoplados ao Arduino também é possível, o que otimizaria ainda mais o processo. O Apêndice E apresenta a variação do pH lido e o pH ajustado ao longo dos dias de produção das mudas da alface, enquanto no Apêndice F a variação da CE lida e ajustada, uma vez ao dia as 8:00 AM.

A variação do pH e CE ao longo dos dias ocorrem devido a uma série de fatores como absorção de nutrientes, evaporação da água, temperatura dentre outros. O manejo da CE visa controlar a salinidade através da condutividade e dispor de um indicador para reposição dos nutrientes extraídos pelo vegetal durante o seu desenvolvimento. O controle do pH objetiva garantir que todos os nutrientes estejam disponíveis para absorção pelo vegetal. Esses aspectos contribuem para o crescimento das mudas. As mudas ideais para transplante da alface geralmente apresentam 5 folhas completas após 30 dias do cultivo (BEZERRA NETO *et al.* 2017).

As mudas cultivadas na fibra de coco não apresentaram nenhuma inconformidade evidente que pudesse ser quantificada ou que interferisse na qualidade das mesmas. A Figura 11 apresenta o surgimento das folhas ao longo dos dias. Na Figura 12 é possível observar as mudas de alface a 8 DAP, enquanto que, na Figura 13 com 27 DAP.

Figura 11. Surgimento das folhas de alface cv. Moana do plantio a fase final das mudas de 20/10 a 11/11/2021.



Fonte: Autor.

Figura 12. Mudanças de alface cv. Moana a 8 DAP.



Fonte: Autor.

Figura 13 - Mudas da alface cv. Moana a 27 DAP.



Fonte: Autor.

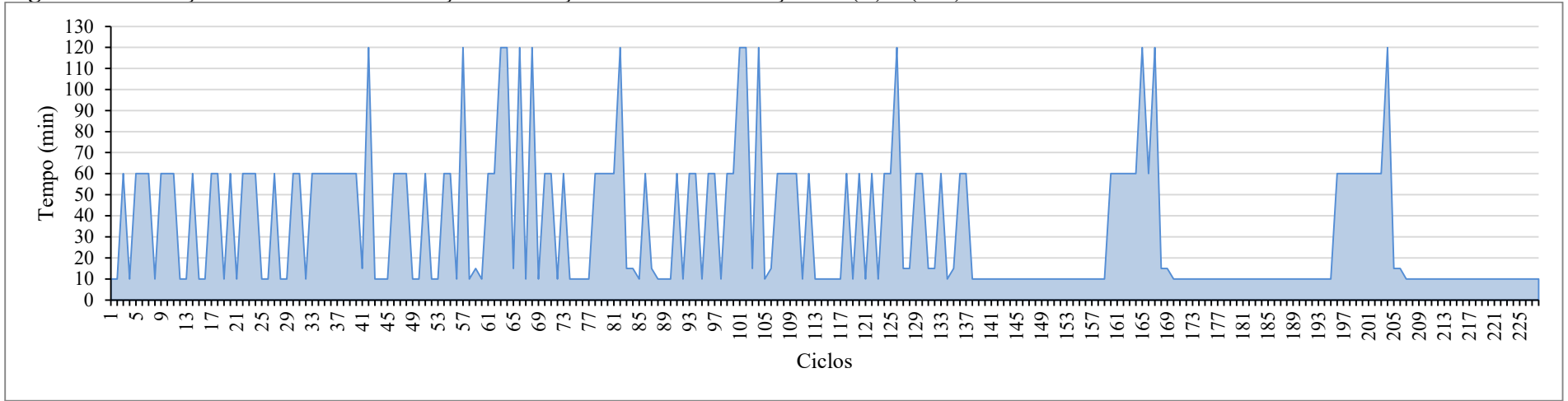
5.2 Sistema de automação

O escoamento da solução nutritiva é crucial para garantir suprimento nutricional e hídrico adequado para o desenvolvimento das culturas. Furlani *et al.* (1999) estabelece que para o cultivo hidropônico da alface em sistema NFT deve-se utilizar uma vazão entre 1 a 2 L min⁻¹, dependendo da fase vegetativa. Paulus (2008) do mesmo modo em cultivo alface hidropônico com águas salinas, estabelece uma vazão entre 1,5 a 2 L min⁻¹. Blat *et al.* (2011) adotou uma vazão de 1,5 L min⁻¹ para cultivo de alface crespa.

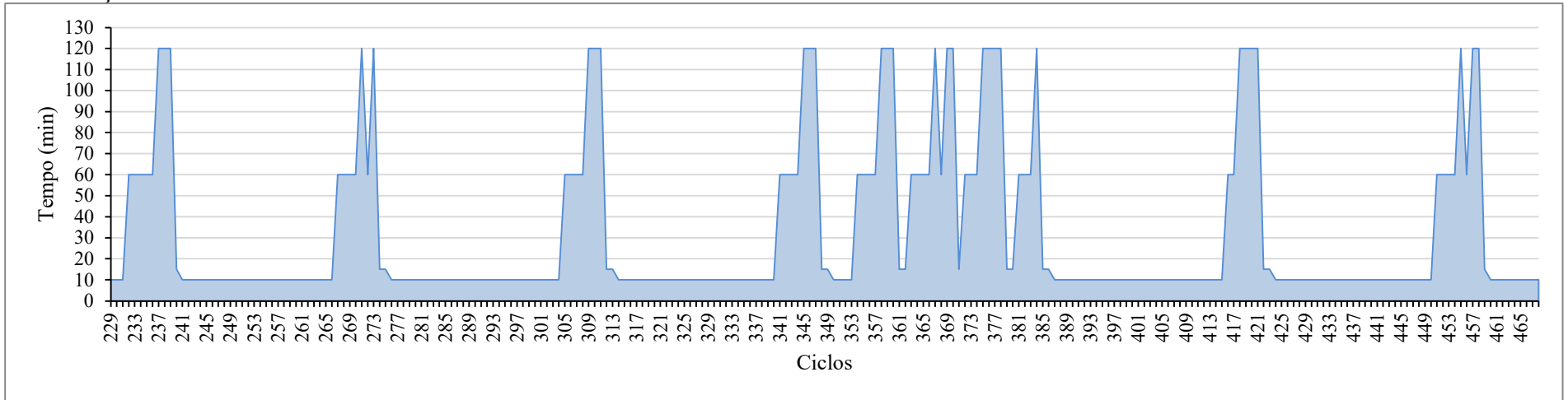
A vazão média para os tratamentos 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 e 3,5 dS m⁻¹ foi de 1,47; 1,61; 1,53; 1,41 e 1,57 L min⁻¹ respectivamente. A vazão média para as bancadas B1, B2 e B3 foram 1,52; 1,48 e 1,54 L min⁻¹. O coeficiente de variação para as vazões foi de 8,28 % e a vazão média do sistema 1,52 L min⁻¹. A variação da vazão pode ser atribuída a perda de carga, segundo Bernardo *et al.* (2019) a perda de carga ocorre devido o atrito da água com as paredes de um tubo, assim aspectos como diâmetro, número de conexões etc., reduzem a pressão e, conseqüentemente, a vazão.

O sistema de automação com Arduino não apresentou problemas em seu funcionamento para a programação especificada. Júnior, Ferreira e Carvalho Canato (2020) encontraram viabilidade na automação de horta hidropônica utilizando sensores e Arduino. Na Figura 14 é possível observar a variação dos ciclos de circulação da solução nutritiva em função da temperatura e umidade do ar.

Figura 14. Variação dos ciclos de circulação da solução nutritiva em função da (T) e (UR) do dia 11/10 a 30/11/2021.



Continuação...

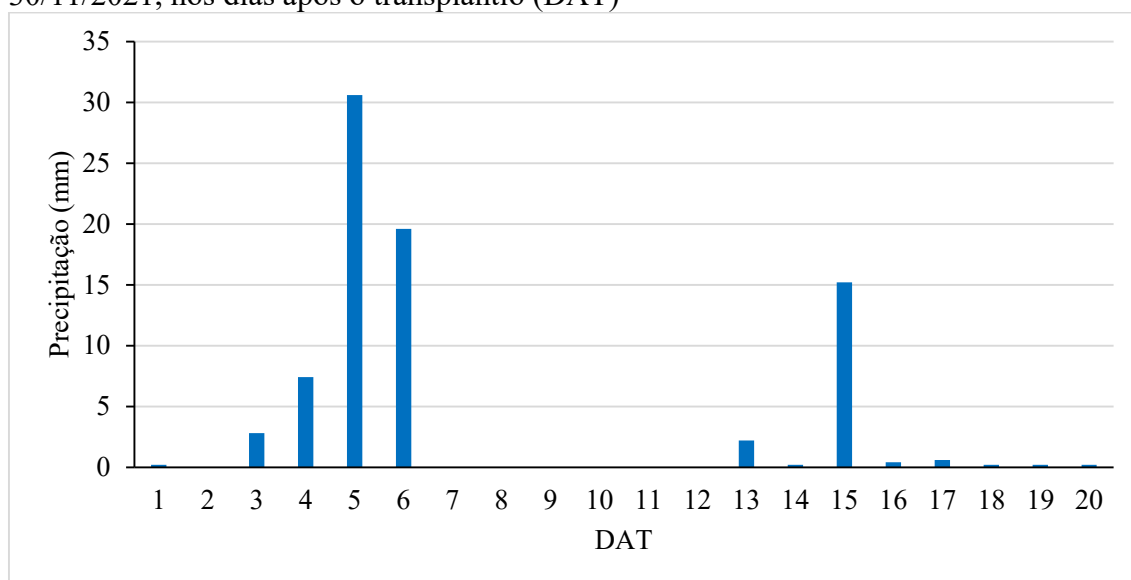


Fonte: Autor.

O LDR foi empregado para verificar se o momento era dia ou noite, mas este também pode ser utilizado para verificar a intensidade luminosa, como demonstrado por Domingos (2019) em cultivo hidropônico. Os ciclos como estipulados na fase de codificação operaram sob as condições de variação da luz, temperatura e umidade. O que resultou na combinação de diferentes ciclos, como apresentando.

Constata-se que nos primeiros ciclos há uma maior predominância para o ciclo de 60 min, pelo fato que neste ocorreu leves precipitações, aumento de nuvens, redução da temperatura e elevação da umidade, tornando o clima ameno, o que reduziu a incidência de luz sobre o sensor LDR. Mas, após o ciclo 136, os dias tornaram-se mais quentes e os ciclos passaram a ser de 10 minutos, seguidos de ciclos de 60 e 120 min durante a noite. A Figura 15 apresenta as precipitações (P) que ocorrem durante o período.

Figura 15. Precipitações na estação HOBO RX3000 UFCA, no período de 11/10 a 30/11/2021, nos dias após o transplântio (DAT)



Fonte: Estação HOBO RX3000 UFCA.

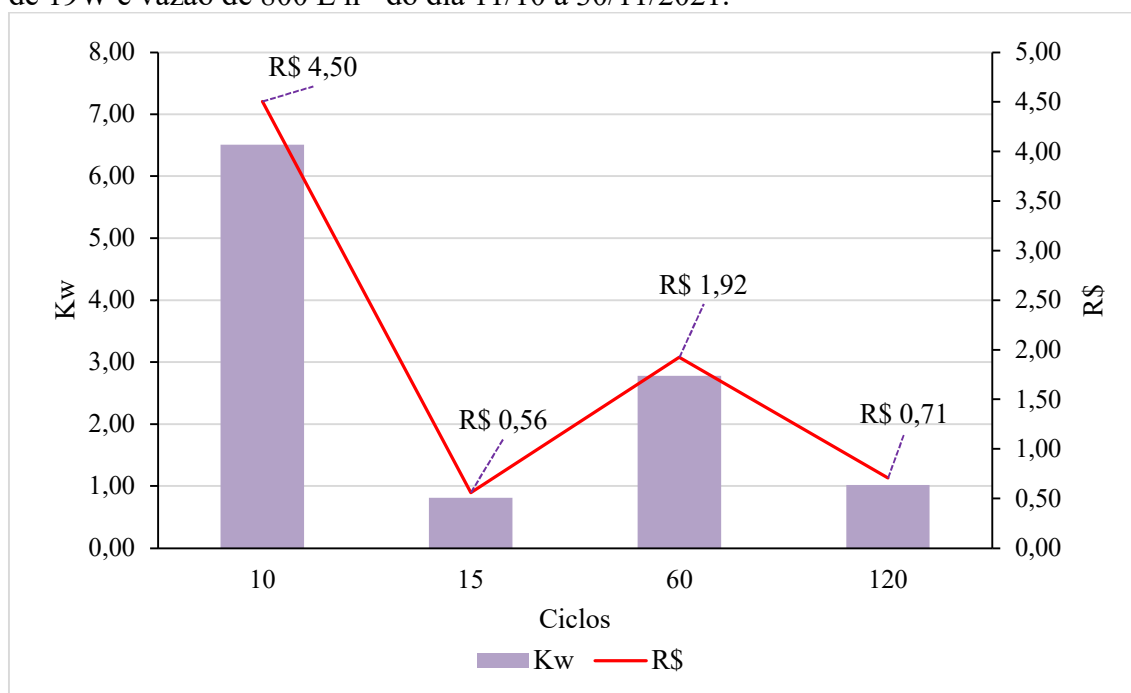
A maior precipitação registrada foi de 30,6 mm que ocorreu no dia 15 de novembro, entretanto esta não afetou o pH e a CE, como pode ser observado no Apêndice E e F.

Em relação ao consumo de energia em Kw, durante a fase de crescimento verificou-se que com adoção do sistema automatizado proposto, para todos os cinco tratamentos, o consumo total foi de 11,12 Kw. Caso o sistema operasse de forma tradicional com ciclos de 15 minutos durante o dia e 2 horas a noite, o consumo total

passaria a ser de 13,74 Kw, mostrando que no sistema baseado na temperatura e umidade do ar, ocorre uma redução de 23,63% no consumo.

Tomando como referência as tarifas TUSD (Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição) e TE (Tarifa de energia) de 22 de março de 2021 da ENEL Ceará do grupo “B2” zona rural, obteve-se um TUSD de R\$ 0,47 e um TE R\$ 0,21 somando-se as duas temos uma tarifa cobrada por Kwh de R\$ 0,69. Para o consumo total de energia do sistema desenvolvido verifica-se um custo R\$ 7,69, enquanto que, para o sistema tradicional um custo de R\$ 9,62. Outro ponto é que houve uma redução mesmo havendo uma maior quantidade de ciclos de 10 minutos, conforme pode ser observado na Figura 16, que apresenta o consumo e o custo de energia das cinco bombas de 12 volts, com potência de 19 W, e vazão de 800 L h⁻¹.

Figura 16. Consumo de energia em Kw e custo em R\$ de 5 bombas de 12v com potência de 19W e vazão de 800 L h⁻¹ do dia 11/10 a 30/11/2021.



Fonte: Autor.

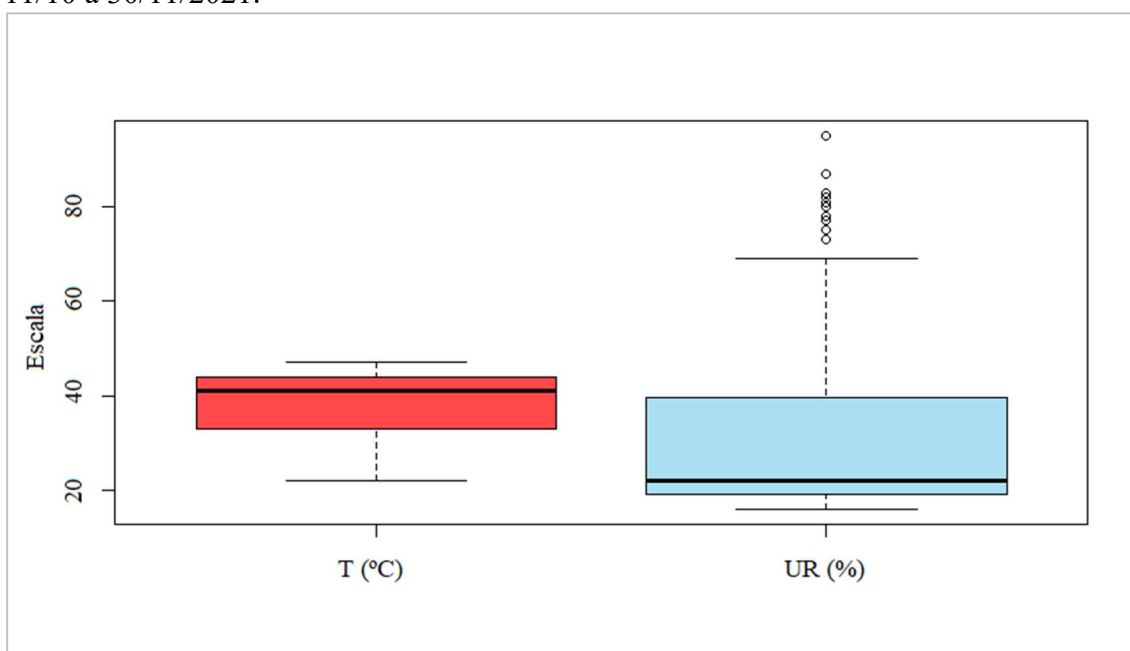
Ressalta-se que, a economia é proporcional a potência da bomba e seu rendimento. Para as bombas utilizadas de tensão de 12v e potência de 19W o consumo já é baixo, mas em sistemas maiores com bombas monofásicas ou trifásicas, a economia de energia pode reduzir o custo de produção e maximizar os lucros. Segundo Luz *et al.* (2008) em estudos de cultivo de alface hidropônico, o aumento nos ciclos das irrigações não prejudicou alteração na produção de fitomassa nos ciclos de 30 e 45 minutos, entre aplicação e

recirculação da solução, e enfatiza que a diferença de tempo de funcionamento ao longo de vários ciclos de cultivo torna-se vantajosa.

Como a temperatura e umidade são as variáveis condicionais do teste lógico, um teste de Shapiro Wilk foi realizado para verificar a distribuição dos dados, que retornou um *p-value* de $2.2e^{-16}$, sendo menor que 0,05 demonstrando assim, que os dados não seguem uma distribuição normal. Portanto, ocorre variação da temperatura e umidade ao longo do dia e noite e estas são influenciadas pelas condições do clima.

Na Figura 17 é apresentado um o gráfico do tipo *boxplot* da temperatura e umidade do ar dos dados obtidos pelo sensor DHT11, onde é possível observar não haver *outliers* para temperatura, ou seja, valores extremos fora dos limites interquartis, entretanto, para umidade relativa ocorre maior amplitude e variação.

Figura 17. Boxplot da temperatura e umidade do ar obtidos pelo sensor DHT11 do dia 11/10 a 30/11/2021.



Fonte: Autor.

Segundo Taiz *et al.* (2017), a variação da temperatura e umidade influencia na taxa de evapotranspiração, e desse modo, na absorção de água e nutrientes da solução nutritiva. Assim, a associação desses fatores em plantas cultivadas sob estresse salino pode conduzir a inibição do crescimento ou a morte das mesmas.

As temperaturas dentro e fora do local de cultivo divergiram, enquanto que no sensor DHT11 instalado no local do experimento a temperatura máxima foi de 47 °C e a mínima 22 °C, com um CV de 16,3%, a umidade máxima foi de 95% e a umidade mínima

de 16%, com um CV de 52,82%. As leituras, na estação da UFCA a temperatura máxima do ar foi de 35,26 °C e a mínima de 25,67 °C, com CV de 3,73% e a umidade máxima de 97,30% e mínima 26,30%, com CV 28,03%. Demonstrando que a tela de sombreamento preta e o local do experimento com solo exposto, auxiliaram para uma elevação da temperatura. Outro ponto é que as diferenças entre as máximas, mínimas, médias e CV podem também ser influências devido a precisão dos sensores e sua sensibilidade. Na Tabela 8 é apresentado o resumo da estatística básica para temperatura e umidade do ar no sensor DHT11 e na estação da UFCA.

Tabela 8. Resumo de estatística descritiva para temperatura e umidade no sensor DHT11 e estação da UFCA.

Descrição		Med	Máx.	Mín.	CV (%)
Sensor DHT11	Temp. do ar (°C)	38,80	47,00	22,00	16,30
	Umidade do ar (%)	30,09	95,00	16,00	52,82
Estação da UFCA modelo HOBO RX3000	Temp. do ar (°C)	33,22	35,26	25,67	3,73
	Umidade do ar (%)	61,70	97,30	26,30	28,03

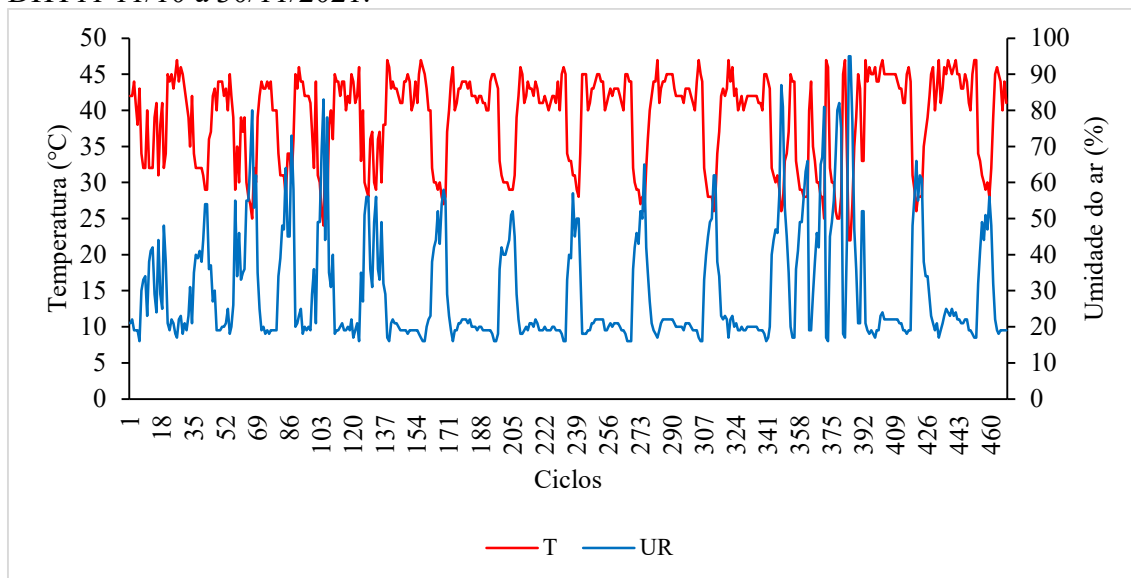
Med: Média; Máx: Máximo; Mín: Mínimo; CV: coeficiente de variação.

Fica nítido, conforme apresentado na Tabela 8, a diferença entre os dados da estação UFCA e o sensor DHT11 instalado no Arduino. Deve-se ressaltar que a estação está sobre uma superfície gramada que é irrigada diariamente, e está distante a aproximadamente 92 m do local do experimento. Outros sensores, como DHT22, que apresentam maior precisão podem ser testados, e comparado com estações a fim de verificar a acurácia de suas leituras.

Os picos mais altos de temperatura ocorreram entre às 13:00h e 16:00h. Com o aumento da temperatura em função do balanço de energia incidente, ocorre uma maior evapotranspiração e assim, maior demanda hídrica pela cultura cultivada. De acordo com Melo *et al.* (2018) na cultura da alface, elevadas temperaturas podem favorecer a incidência de doenças, a inibição na germinação e a maior dificuldade na formação da cabeça da alface americana. Entretanto, nas condições de cultivo da alface cv. Moana não foram identificadas indecências de doenças, exceto os efeitos deletérios da salinidade.

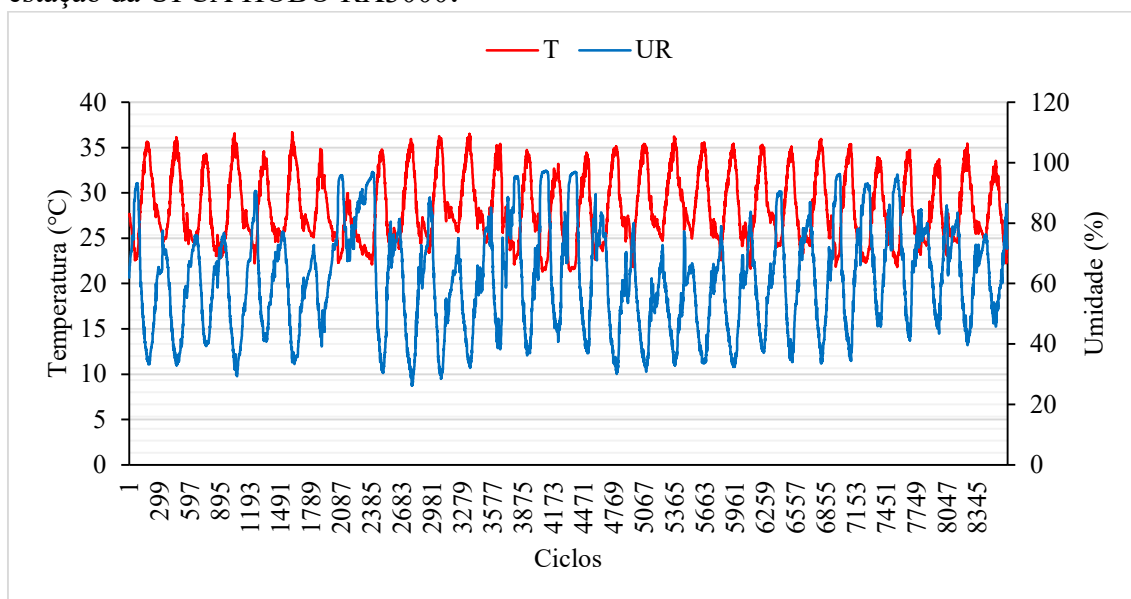
A Figura 18 apresenta a variação de temperatura e umidade ao longo dos dias de cultivo obtidos pelo sensor DHT11, enquanto a Figura 19 a variação da temperatura e umidade do ar ao longo dos dias de cultivo na estação da UFCA. Nota-se, o comportamento da relação inversamente proporcional das medidas, onde à medida que ocorre aumento na temperatura do ar há uma redução na umidade do ar.

Figura 18. Variação da temperatura (T) e umidade do ar (UR) determinada pelo sensor DHT11 11/10 a 30/11/2021.



Fonte: Autor (sensor DHT11).

Figura 19. Variação da temperatura (T) e umidade do ar (UR) de 11/10 a 30/11/2021 na estação da UFCA HOBO RX3000.



Fonte: Autor.

Essa variação e amplitude dos valores temperatura e umidade do ar, justificam desse modo o emprego dos ciclos da solução de forma variável. Baron *et al.* (2021) também em estudos com cultivo hidropônico automatizado com Arduino e sensores, LDR e umidade DHT22 concluiu que:

“...o controle do acionamento da motobomba para circulação da solução nutritiva, com seu tempo dependendo da iluminância, temperatura e umidade relativa do ar, proporcionou uma suavização na troca dos períodos dos turnos de rega, que são variações bruscas no sistema convencional, pois o timer analógico não permite ajustes menores do que tempos múltiplos de 15 minutos...”

A variação de temperatura e umidade ao longo do dia e noite foi observada por Baron *et al.* (2021), onde há redução da umidade do ar durante o dia e crescimento a noite, enquanto que, para a temperatura ocorre maior variação durante às 12:00h e 15:00h, estabilizando a noite.

Os atributos do clima como temperatura e umidade, são importantes para o gerenciamento e manejo do cultivo hidropônico, assim compreender seu comportamento é essencial para o sucesso de qualquer cultivo. Para os aspectos do clima supracitado, no que se refere aos tratamentos do cultivo da alface a variação do ciclo de circulação nutritiva condicionada por estes atributos, não afetou o desenvolvimento no tratamento 1,5 dS m⁻¹, isso, demonstra, portanto, que esta alternativa pode ser empregada para automação de cultivos em sistemas hidropônicos.

Portanto, mesmo nas condições semiáridas onde há estabilidade das condições climáticas, principalmente próximo ao equador, com dias com duração média de luz entorno de 12 horas, a variação da temperatura ao longo do dia que ocorre em função do movimento de rotação e declinação da terra, influi na transpiração vegetal, e assim sendo, na demanda hídrica. Por conseguinte, ao aumento da transpiração vegetal na hidroponia ocorrerá uma maior absorção de nutrientes e crescimento já que estes estão dissolvidos em água para o vegetal (TAIZ *et al.* 2017; BEZERRA NETO *et al.* 2017).

5.3 Manejo do pH e CE da solução nutritiva

Quando se usa águas com maiores teores de sais, o manejo do pH e da CE da solução ao longo do cultivo tornam-se aspectos importante, principalmente, visto que os sais contribuem para uma inibição do crescimento por estresse ou morte do vegetal. Alteração do pH ao longo da solução nutritiva ocorre em decorrência da absorção de nutrientes e liberação de íons H⁺, e assim, uma tendência natural para acidificação da solução nutritiva (BEZERRA NETO *et al.* 2017). O que fez necessário a aplicação NaOH para regulação do pH para os níveis ideais. A Tabela 9 apresenta o pH médio dos

tratamentos e o coeficiente de variação, enquanto que, no Apêndice G a variação do pH ao longo do cultivo.

Tabela 9. Valor médio de pH e CV para os diferentes tratamentos.

Condutividade dS m ⁻¹	Med	Max	Min	CV
	-----°C-----			%
1,5	5,62	6,45	4,94	6,40
2,0	5,95	6,50	5,22	5,30
2,5	5,83	6,20	5,45	3,67
3,0	5,91	6,05	5,08	5,96
3,5	5,82	6,71	5,11	6,28

Med: Média; Max: Máximo; Min: Mínimo; CV: coeficiente de variação.

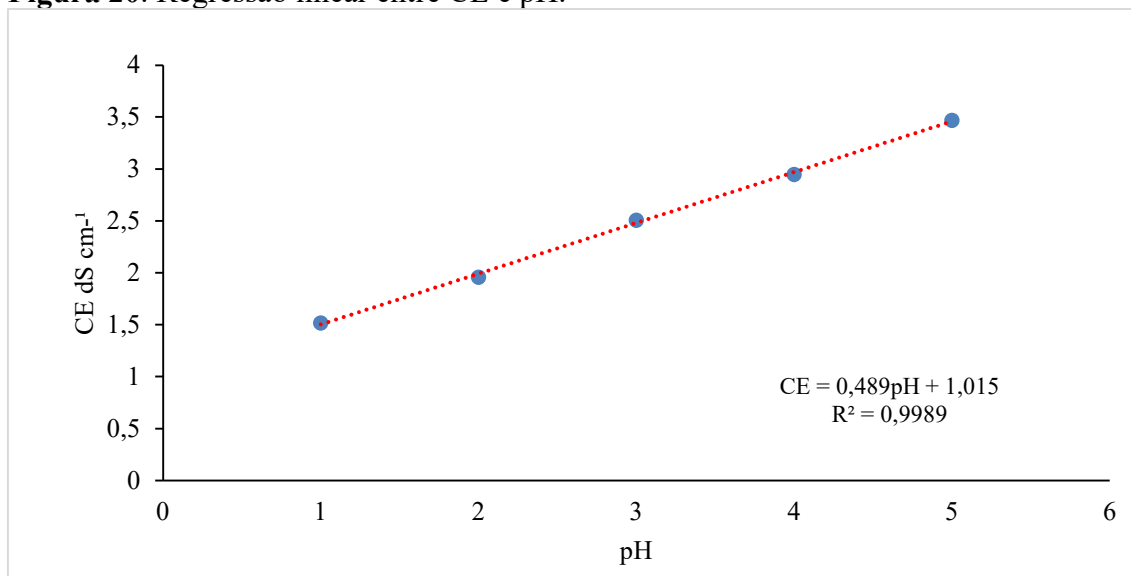
O controle do pH é essencial para garantir a disponibilidade de nutrientes. Ao longo do cultivo, o pH foi mantido dentro da faixa ideal de 5,5 a 6,5 como sugere Guimarães, Trindade e Lage (2020). Deste modo, as condições nutricionais restritivas ao desenvolvimento foram controladas.

A CE da solução é um indicador da absorção de nutrientes pela cultura, entretanto, em condições salinas o teor de sal da água pode mascarar essa referência. À medida que as plantas se desenvolvem, caso esses limites mínimos nutricionais estabelecidos sejam atingidos, estes devem ser restaurados (MONTEIRO FILHO *et al.* 2018). A Tabela 10 apresenta o CE médio e o seu coeficiente de variação. No Apêndice H é possível verificar a variação da condutividade elétrica (CE) da solução ao longo dos dias de cultivo para cada tratamento, enquanto que, na Figura 20 é a apresentado a regressão linear entre CE e pH.

Tabela 10. CE médio e CV para os diferentes tratamentos.

Condutividade dS m ⁻¹	Med	Max	Min	CV
	-----°C-----			%
1,5	1,52	1,57	1,32	5,72
2,0	1,96	2,14	1,80	3,97
2,5	2,51	2,74	2,10	7,87
3,0	2,95	3,07	2,60	3,54
3,5	3,47	3,70	3,24	3,37

Med: Média; Max: Máximo; Min: Mínimo; CV: coeficiente de variação.

Figura 20. Regressão linear entre CE e pH.

Fonte: Autor.

A reposição desses nutrientes, entretanto não é fácil, sendo comumente utilizado a condutividade elétrica como indicador (BEZERRA NETO *et al.* 2017). Por isso é importante, como especificado por TAIZ *et al.* (2017), garantir a disponibilidade adequada de nutrientes na solução nutritiva, para que durante o processo de desenvolvimento a solução tenha os nutrientes necessários de forma suficiente a suportar o desenvolvimento vegetal sem haver déficit. Desse modo, fez-se uso das soluções apresentadas anteriormente na Tabela 2.

A temperatura da solução também é um fator importante para o desenvolvimento da alface. Os reservatórios de solução nutritivas enterrados contribuíram para normalização a temperatura da solução nutritiva dos diferentes tratamentos.

“Os reservatórios devem ficar longe do caminho de pessoas e animais, de preferência, enterrado no solo em lugar sombreado ou com uma cobertura de telha, palha, etc. (regiões de clima quente). A borda do reservatório deve estar no mínimo 20 cm acima do nível do solo e, cimentado ao seu redor, a fim de se evitar possíveis contaminações (solo, água de chuva etc.)” (COMETTI; GENUNCIO; ZONTA, 2019)

Os reservatórios enterrados, também objetivavam reduzir a temperatura da solução nutritiva. A Figura 21 apresenta os tanques de solução nutritiva parcialmente enterrados.

Figura 21. Tanques de solução nutritiva dos tratamentos 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 e 3,5 dS m⁻¹.



Fonte: Autor.

Na Tabela 11 observar-se a média e o CV das temperaturas registradas nos tanques de cada tratamento às 8:00h, enquanto que, no Apêndice I o gráfico com a variação da temperatura da solução ao longo dos dias de cultivo.

Tabela 11. Temperatura média da solução e CV para os diferentes tratamentos às 8:00h de 11/10 a 30/11/2021.

Condutividade dS m-1	Med	Max	Min	CV
	-----°C-----			%
1,5	27,00	30,50	25,70	4,11
2,0	27,00	28,80	25,50	3,15
2,5	28,52	33,10	26,80	4,64
3,0	26,80	28,90	25,60	3,42
3,5	27,10	28,90	25,50	3,64

Med: Média; Max: Máximo; Min: Mínimo; CV: coeficiente de variação.

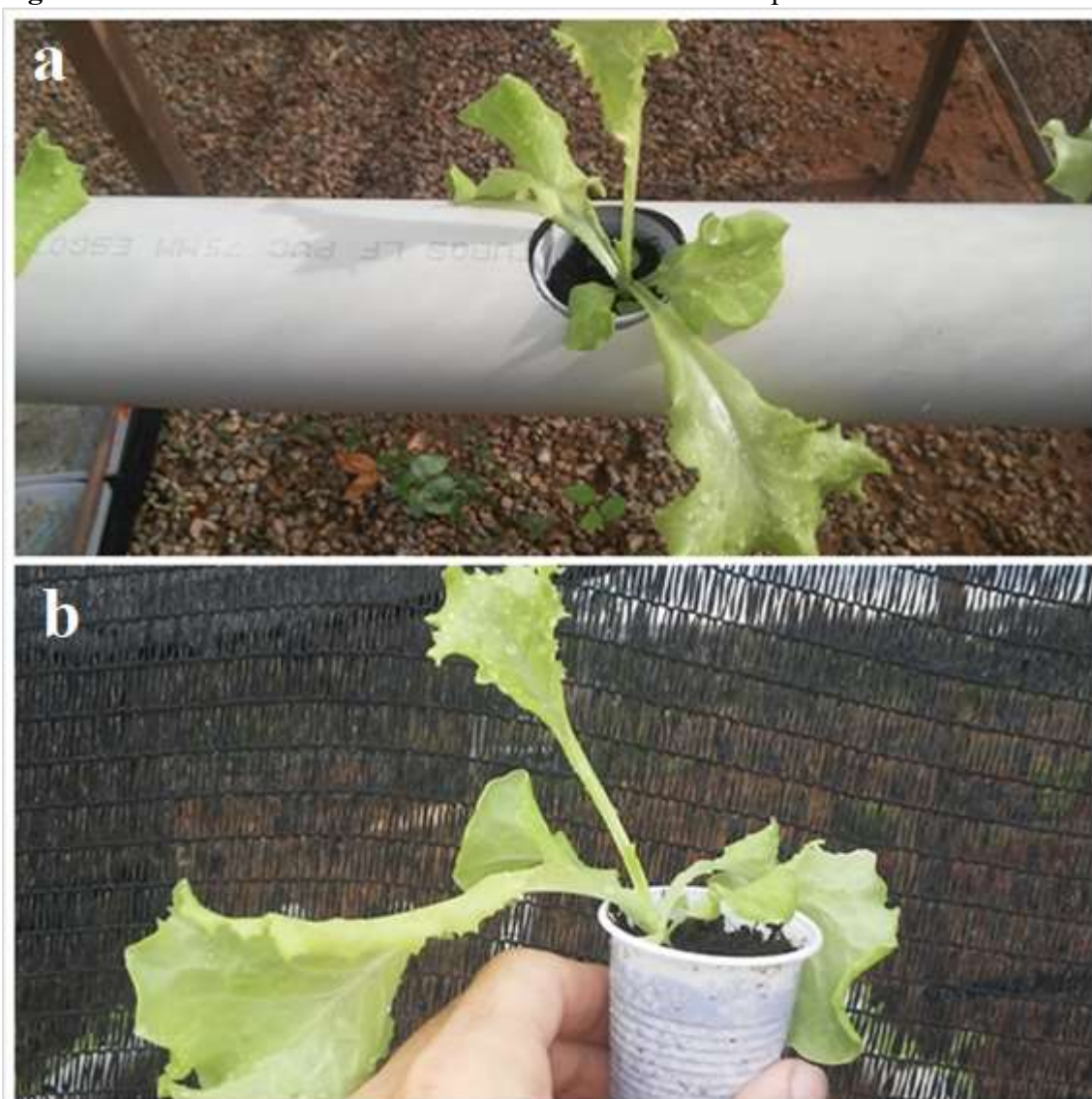
O baixo coeficiente de variação, assim como a temperatura medida, denota que não houve grandes variações de temperatura entre os tratamentos. Dessa forma, com valores médios próximos de temperatura e controle do pH e CE da solução, garante-se que o desenvolvimento da alface apenas teve como fator diferencial a salinidade entre os tratamentos.

5.4 Desenvolvimento da alface e efeito da salinidade

As alfaces transplantadas para as bancadas em seus respectivos tratamentos, apresentavam de 4 a 5 folhas bem definidas, não apresentando qualquer injúria ou indicador de ataque de pragas. Mudanças maiores podem ser utilizadas, como citado por Martins (2021), que produziu mudas de maior porte com 6 a 8 folhas com diferentes cultivares de alface.

A utilização de mudas uniformes é essencial para garantir que nos diferentes tratamentos não houve interferência em decorrência da desuniformidade das plantas. A boa uniformidade foi conseguida devido ao sistema de produção de mudas desenvolvido, que apesar de simples e barato apresentou-se eficiente, como já demonstrado anteriormente. A Figura 22 e 23 apresenta as mudas de alface no dia do transplante e 7 DAT quando ainda não iniciaram os efeitos deletérios da salinidade.

Figura 22. Mudanças de alface no dia 11/10/2021 durante o transplante a 27 DAP.



Fonte: Autor.

Figura 23. Mudanças de alface no dia 18/11/2021 a 7 DAT.



Fonte: Autor.

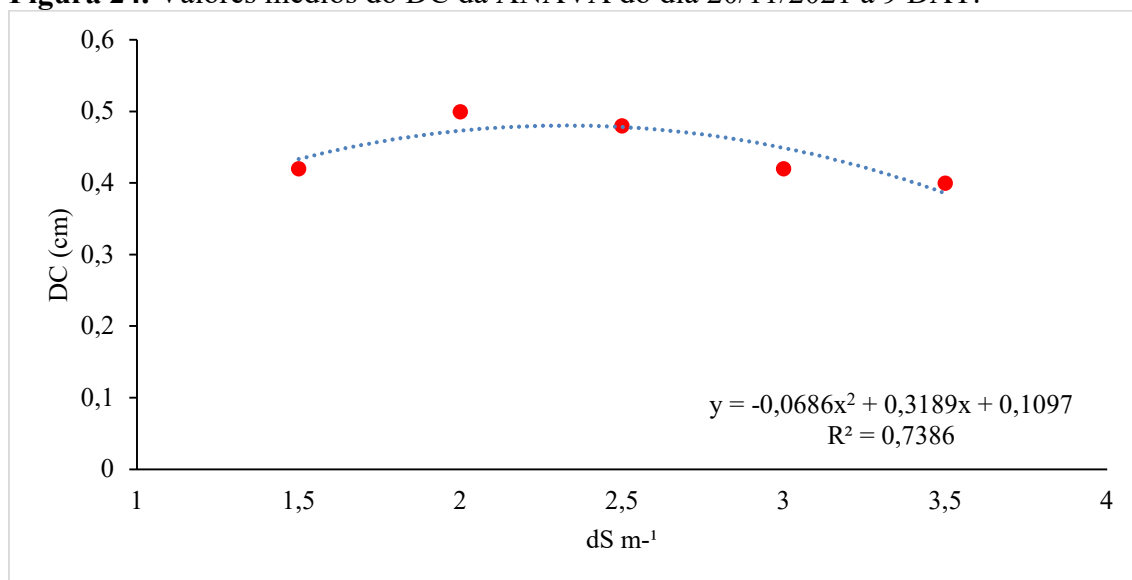
Durante os dez dias iniciais de desenvolvimento, a alface não apresentou diferença significativa a nível de 5% de probabilidade para o número de folha (NF) e diâmetro caulinar (DC). Possivelmente os efeitos da salinidade foram atenuados, em detrimento das condições mais brandas do clima, com relação a temperatura e umidade do ar nesse período, como demonstrado nas Figuras 22 e 23. A Tabela 12 apresenta a síntese da ANOVA para o NF e DC da alface, enquanto na Figura 24 e 25 é possível observar os seus valores médios.

Tabela 12. Resumo da análise de variância para o número de folhas (NF) e diâmetro caluniar (DC) para os diferentes tratamentos do dia 20/11/2021 a 9 DAT.

FV	GL	QM	
		NF	DC
Tratamento	4	0,640 ^{ns}	0,0094 ^{ns}
Blocos	4	2,240 ^{ns}	0,0134 ^{ns}
Resíduo	16	0,965	0,0106
Total	24		
CV (%)		16,48	23,24

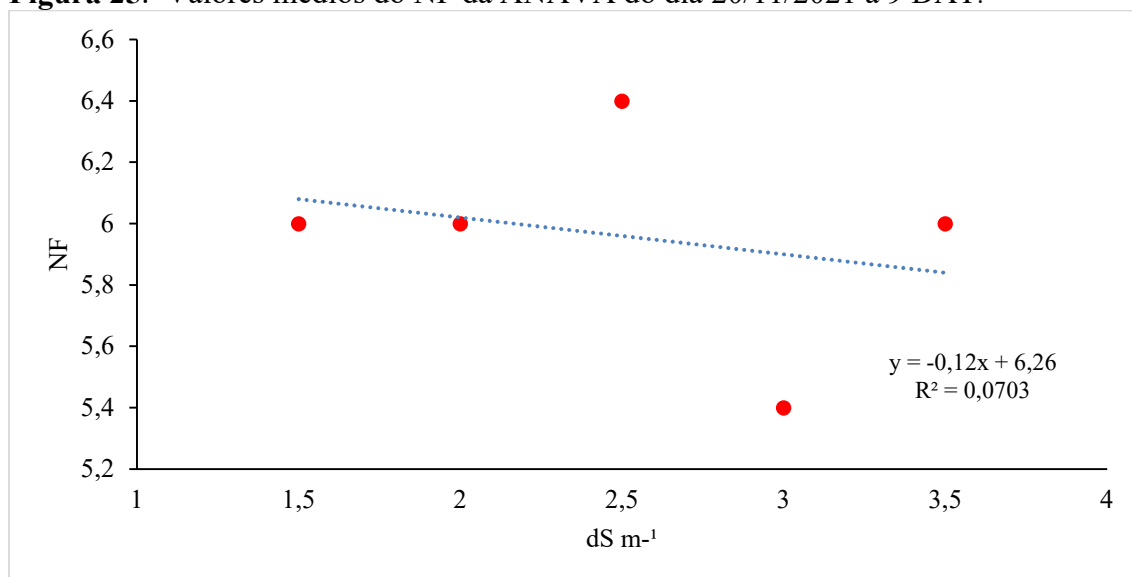
QM: Quadrado médio Análise de Variância; *Diferiram entre si pelo teste F ao nível de 0,05 de significância; NS Não diferiram entre si ao nível de 0,05 de significância pelo teste F; CV %: coeficiente de variação.

Figura 24. Valores médios do DC da ANAVA do dia 20/11/2021 a 9 DAT.



Fonte: Autor.

Figura 25. Valores médios do NF da ANAVA do dia 20/11/2021 a 9 DAT.



Fonte: Autor.

Silva *et al.* (2017) demonstraram os efeitos da salinidade no crescimento do vegetal e relatam que o diâmetro do caule é um dos parâmetros mais sensíveis a salinidade. Contudo, durante os primeiros dias de cultivos, não se verificou diferença significativa no DC.

Por outro lado, a ANAVA do NF e DC do dia 29 de novembro de 2021, demonstrou haver diferença significativa a nível de 5% de probabilidade entre tratamentos. Na Tabela 13 é apresentado o resumo da análise.

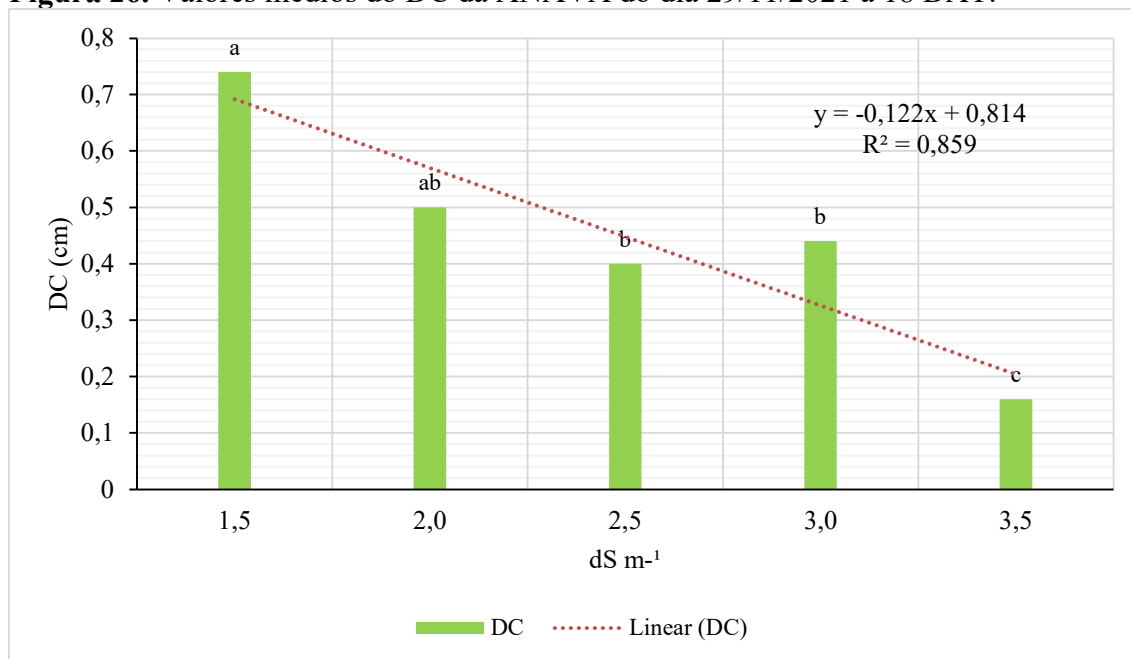
Tabela 13. Resumo da análise de variância para o número de folhas (NF) e diâmetro caulinar (DC) para os diferentes tratamentos do dia 29/11/2021 a 18 DAT.

FV	GL	QM	
		NF	DC
Tratamento	4	60,726**	0,2348**
Blocos	4	0,805 ^{ns}	0,0141 ^{ns}
Resíduo	16	0,781	0,01189
Total	24		
CV (%)		20,52	23,37

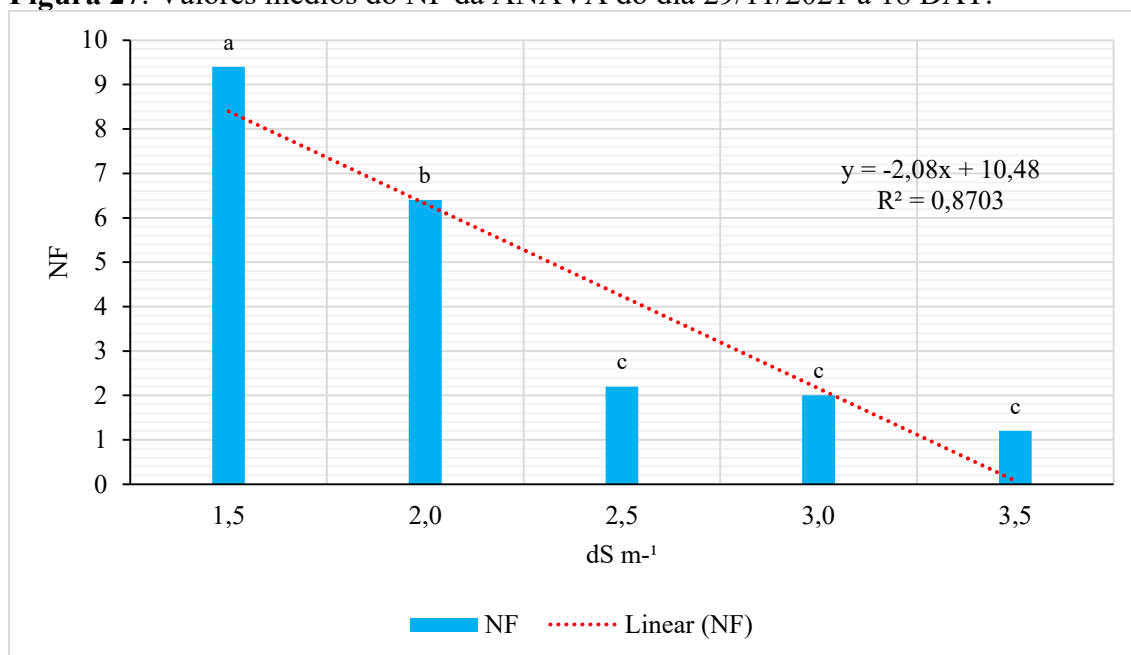
Qm: Quadrado médio Análise de Variância *Diferiram entre si pelo teste F ao nível de 0,05 de significância NS Não diferiram entre si ao nível de 0,05 de significância pelo teste F; CV: coeficiente de variação.

Conforme apresentado na Tabela 13, houve diferença significativa para o número de folhas e diâmetro entre os tratamentos, não havendo diferença entre blocos. O fato de não haver diferença entre os blocos, pode ocorrer porque em sistema NFT existe uma maior homogeneidade na aplicação da solução, justificando não haver diferença significativa entre blocos.

Para os tratamentos o CV do NF foi de 20,52%, enquanto que para o diâmetro caulinar 23,37%, sendo considerado baixo. Na Figura 26 e 27 é apresentado os valores médios do desdobramento pelo teste de Tukey.

Figura 26. Valores médios do DC da ANAVA do dia 29/11/2021 a 18 DAT.

Fonte: Autor.

Figura 27. Valores médios do NF da ANAVA do dia 29/11/2021 a 18 DAT.

Conforme o desdobramento das médias para o teste de Tukey, nota-se haver diferença do NF entre os tratamentos 1,5 e 2,0 dS m⁻¹, entretanto, para o DC não ocorre diferença. O que permite inferir a salinidade teve maior efeito sobre a parte área do vegetal. Os tratamentos 2,5, 3,0 e 3,5 dS m⁻¹ apresentaram valores médios iguais para NF e o tratamento 2,5 e 3,0 dS m⁻¹ apresentaram valores equivalentes para o diâmetro, sendo inferiores aos tratamentos 1,5 e 2,0 dS m⁻¹.

Silva *et al.* (2017) encontraram valores semelhantes 25 dias após o transplante com diâmetro caulinar variando 0,6 a 1,00 cm e um número de folhas de 4 a 8 do maior ao menor nível de salinidade e concluíram que os níveis crescentes de salinidade afetam o desenvolvimento da alface crespa. Do mesmo modo, Silva *et al.* (2018) verificaram que, sob níveis de salinidade menores, a alface apresenta maior produtividade, assim como, maior acúmulo de umidade em suas folhas.

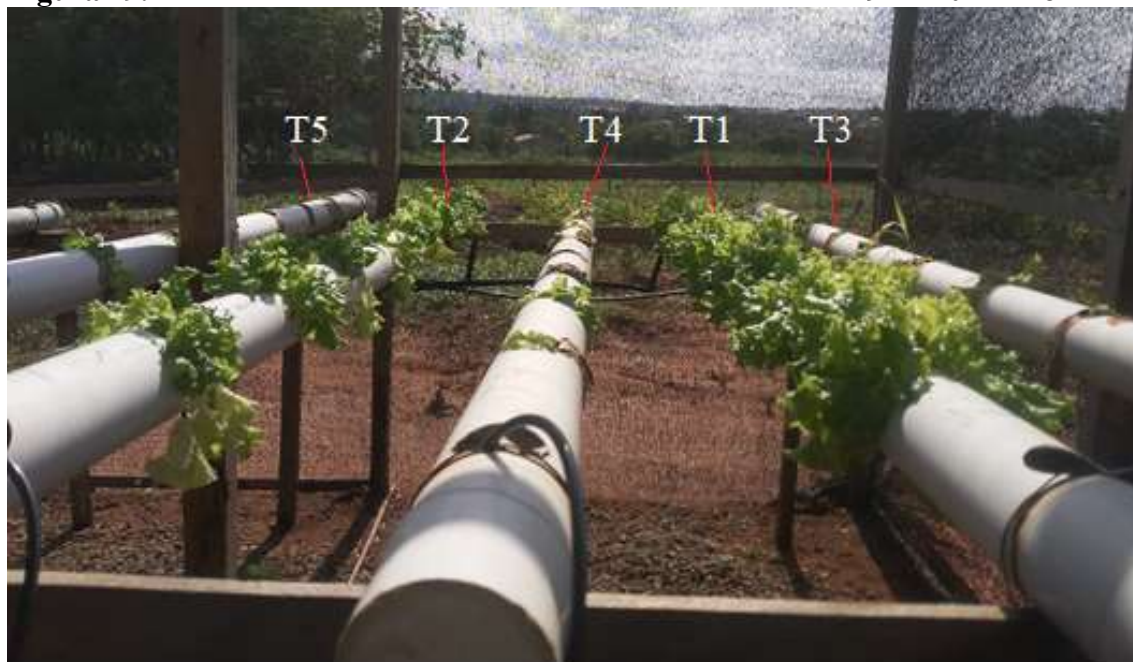
Taiz *et al.* (2017) relatam que os efeitos da salinidade se assemelham aos efeitos do déficit hídrico e que os efeitos primários são: redução do potencial hídrico, desidratação celular, citotoxicidade iônica. A Figura 28 e 29 ilustra o efeito da salinidade nos diferentes tratamentos no dia 20 e 29 de novembro de 2021.

Figura 28. Efeito da salinidade nos diferentes tratamentos no dia 20/11/2021 a 9 DAT.



Fonte: Autor.

Figura 29. Efeito da salinidade nos diferentes tratamentos no dia 29/11/2021 a 18 DAT.



Fonte: Autor

Observa-se que as plantas dos tratamentos 2,5, 3,0 e 3,5 dS m^{-1} não estão viáveis para comercialização, visto que devido as altas temperaturas do período e ao estresse salino, suas folhas sofreram necrose por conta dos efeitos deletérios da salinidade e temperatura.

Bezerra Neto *et al.* (2017) e Paulus (2012) demonstram ser importante não usar águas com condutividade elétrica muito elevada, a fim de evitar que com a dissolução dos sais, a condutividade elétrica não se eleve ao ponto de limitar ou inibir o desenvolvimento da cultura. Isso fica evidenciado nos tratamentos 2,5, 3,0 e 3,5 dS m^{-1} onde a associação das altas temperaturas, baixa umidade e estresse salino fez com que as plantas definhassem após alguns dias de cultivo.

Observa-se que apesar dos níveis restritivos ao cultivo de alface, estes podem não se aplicar a outra cultura. Silva *et al.* (2016), por exemplo, cultivaram coentro (*Coriandrum sativum* L.) utilizando a formulação proposta por Furlani *et al.* (1999) e verificaram um bom desenvolvimento da cultura com água salobra a níveis de 4,1 dS m^{-1} , e sugerem ser viável uma recirculação da solução nutritiva a cada 8 horas, em técnica de inundação “*Deep Flow Technique (DFT)*” em tubos de PVC de 75 mm.

O resultado dos atributos morfológicos da alface da ANAVA para a MFT, MFR e MFF demonstra que para MFF e MFT há diferença significativa entre os tratamentos 1,5 e 2,0, conforme pode ser observado na Tabela 14.

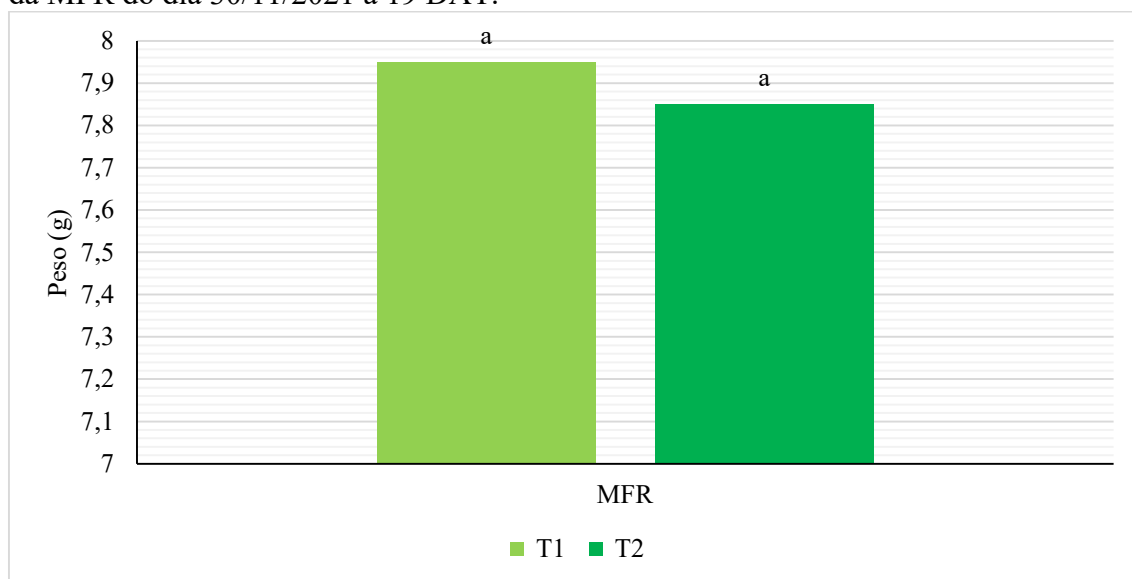
Tabela 14. Resumo da análise de variância para massa fresca total (MFT), massa fresca das raízes (MFR) e massa fresca das folhas (MFF) para os diferentes tratamentos do dia 30/11/2021 a 19 DAT.

FV	GL	QM		
		MFT	MFR	MFF
Tratamento	4	1218,2*	93,621 ^{ns}	659,39*
Blocos	4	2,20 ^{ns}	0,865 ^{ns}	5,23 ^{ns}
Resíduo	16	6,61	0,971	5,29
Total	24			
CV (%)		23,88	31,19	30,21

QM: Quadrado médio Análise de Variância *Diferiram entre si pelo teste F ao nível de 0,05 de significância NS Não diferiram entre si ao nível de 0,05 de significância pelo teste F; CV: coeficiente de variação.

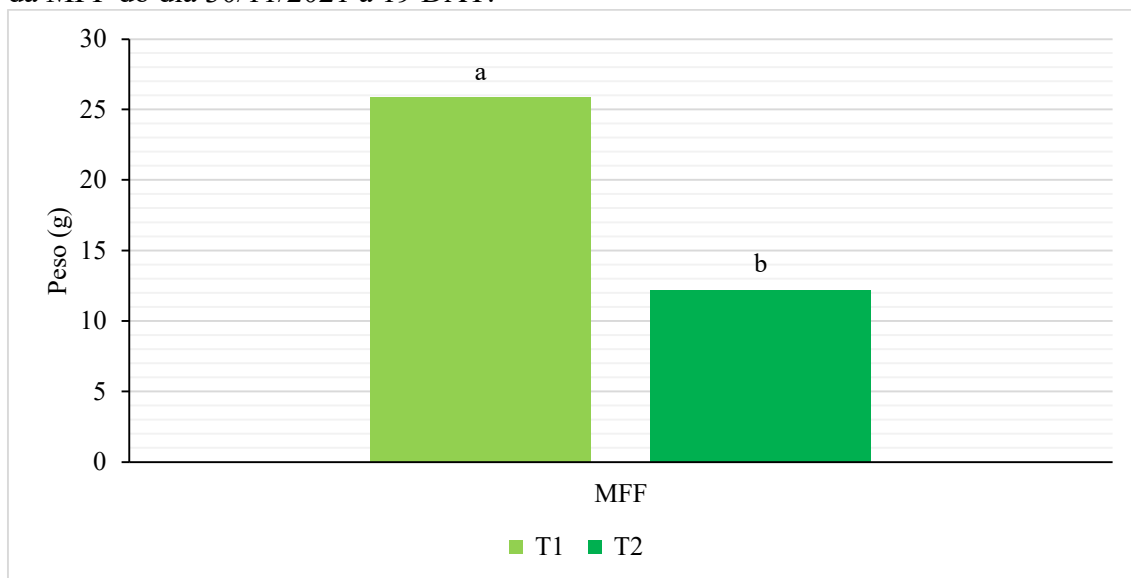
Os coeficientes de variação para MFT, MFR e MFF foram de 23,88%, 32,39% e 30,21%, respectivamente. Análise do desdobramento para o Teste de Tukey na Figura 30, 31 e 32.

Figura 30. Médias dos tratamentos T1 e T2 para o desdobramento pelo teste de Tukey da MFR do dia 30/11/2021 a 19 DAT.



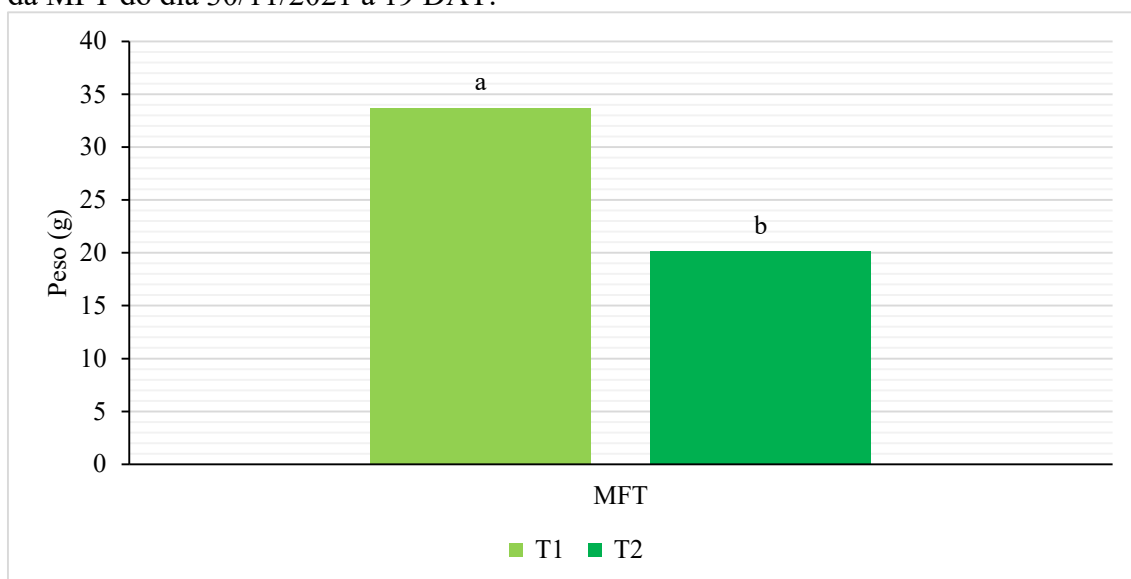
Fonte: Autor.

Figura 31. Médias dos tratamentos T1 e T2 para o desdobramento pelo teste de Tukey da MFF do dia 30/11/2021 a 19 DAT.



Fonte: Autor.

Figura 32. Médias dos tratamentos T1 e T2 para o desdobramento pelo teste de Tukey da MFT do dia 30/11/2021 a 19 DAT.



Fonte: Autor.

Conforme apresentado na Figura 30, 31 e 32, há uma redução da MFF da alface cv. Moana e MFT em função da variação e $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ de condutividade. Xavier *et al.* (2021) encontraram resultado semelhante para o efeito da salinidade no desenvolvimento da alface, verificando um decrescimento na MFF para plantas com 56 dias após a semeadura; para o nível de $1,9 \text{ dS m}^{-1}$ obteve uma MFF de 160 g planta e para o nível de $4,9 \text{ dS m}^{-1}$, uma MFF 100 g planta, enquanto o NF foi de 16 e 10 respectivamente, em

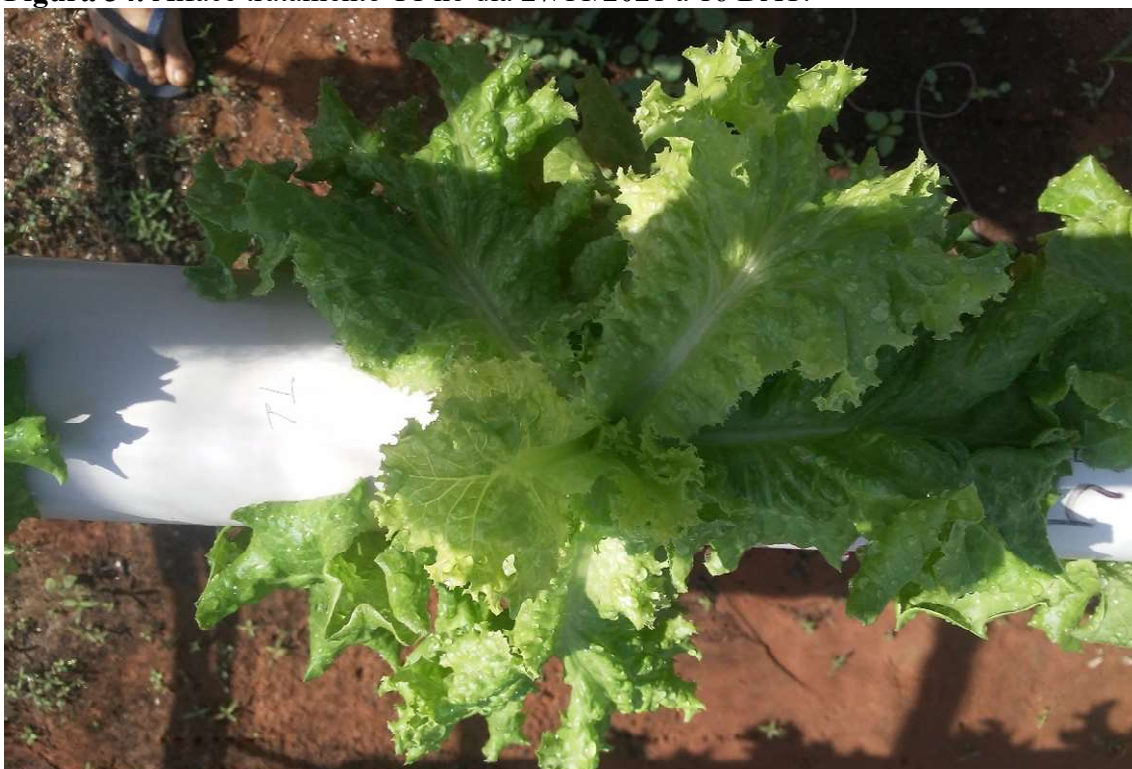
condições de temperatura máxima e mínima de 40 °C e 20°C respectivamente. As Figuras 33 e 34 apresentam a alface do tratamento T1 aos 13 e 16 dias após o transplante.

Figura 33. Alface tratamento T1 no dia 24/11/2021 a 13 DAT.



Fonte: Autor.

Figura 34. Alface tratamento T1 no dia 27/11/2021 a 16 DAT.



Fonte: Autor.

A solução de Furlani *et al.* (1998) demonstrou-se eficiente para cultivo hidropônico da alface cv. Moana, não sendo verificado qualquer indício de deficiência nutricional. O sucesso dessa formulação aplica-se também a outras culturas, como o tomate cereja cultivado por Dias *et al.* (2019) utilizando a solução proposta por Furlani *et al.* (1999), e o cultivo da hortelã demonstrado por Surendran, Chandran e Joseph (2016).

As formulações de solução nutritiva propostas por Furlani (1998 e 1999) são amplamente utilizadas nas mais diversas culturas. Entretanto, outras formulações podem e dever ser utilizadas e testadas. Alguns pesquisadores por exemplo optam por utilizar formulações próprias, como é o caso de Sobczak *et al.* (2020) que formulam uma solução nutritiva para cultivo de pimenta doce contendo a combinação de nutrientes a seguir: N 195 mg L⁻¹, P 57 mg L⁻¹, K 273 mg L⁻¹, Mg 47 mg L⁻¹, Ca 18 mg L⁻¹, Fe 2000 µg L⁻¹, Mn 600 µg L⁻¹, B 300 µg L⁻¹, Cu 150 µg L⁻¹, Zn 300 µg L⁻¹, Mo 50 µg L⁻¹ e verificaram não haver mudança na qualidade sensorial dos frutos.

No emprego de formulações no semiárido, deve-se ressaltar a importância dos aspectos como a intensidade luminosa e seus efeitos. Song *et al.* (2020) pesquisou a intensidade luminosa e concentração da solução nutritiva para cultivo do alface, e utilizou as seguintes concentrações N 210 mg L⁻¹, P 31 mg L⁻¹, K 234 mg L⁻¹, Ca 160 mg L⁻¹, Mg 48 mg L⁻¹, S 64 mg L⁻¹, Fe 5600 µg L⁻¹, B 500 µg L⁻¹, Mn 500 L⁻¹, Zn 50 µg L⁻¹, Cu 20 µg L⁻¹, Mo 0,01 µg L⁻¹ e verificaram que a uma irradiação de 250 a 350 µmol · m⁻² · s⁻¹ × 1/4 e 3/4 da concentração da solução nutritiva, houve um aumento na quantidade de proteína e açúcar solúvel.

Portanto, deve-se selecionar a solução adequada e testar diferentes culturas, estando atento a salinidade final da solução nutritiva, sua variação ao longo do cultivo e os ciclos de recirculação da solução. No que se refere à alface cv. Moana, o emprego de águas com salinidades maiores para condições de alta temperatura e baixa umidade, demonstra uma inibição do crescimento do vegetal a níveis superiores a 2,0 ds m⁻¹ levando a sua morte.

5.5 Estrutura de baixo custo para cultivo hidropônico no semiárido

A utilização de estruturas de sombreamento também é importante para atenuar os efeitos da radiação solar direta. A cobertura das estruturas com plásticos para região semiárida somente torna-se justificável na estação chuvosa para proteção das culturas

contra a precipitação. Como no semiárido a maior parte do ano a temperatura supera os 28 °C, utilizar este componente gera um efeito estufa que submete o vegetal a um maior estresse térmico. Além do mais, em condições onde a solução nutritiva atinge altos valores de CE, a temperatura pode ser um fator agravante.

Assim, para viabilizar o cultivo sob condições de clima mais quente e seco no cultivo da alface hidropônica tal como de outras culturas, deve-se encontrar a proporção de água ideal que garanta o nível de CE que permita a exploração econômica da cultura a ser cultivada. Em relação ao sombreamento sugere-se a utilização de tela de sombrite, cujo fator de retenção de luz, pode variar de 30 a 50% dependendo da espécie vegetal cultivada.

Quanto a estrutura a ser utilizada, para condições do semiárido, principalmente para pequenos produtores, recomenda-se estruturas baratas de fácil instalação, manutenção e aquisição. Os perfis hidropônicos podem ser confeccionados de tubos de PVC de 75 ou 50 mm dependendo da cultura, e a estrutura pode ser de madeira, alvenaria ou outro material disponível. Os perfis são geralmente o componente mais caro da bancada de cultivo, na loja Casa da Horta o preço de quatro perfis de 80 x 40 x 1,50 m está R\$ 156,64, na Hortivinyl o preço de 3 perfis de 80 x 40 x 2,00m é de R\$ 166,88. Comparando esse valor com a Tabela 15 que apresenta o valor para confecção de uma bancada alternativa de baixo custo, capaz de produzir até 192 plantas e de um sistema de automação é possível observar, que o valor dos tubos de PVC 75 mm de R\$ 256,00 permite obter um número maior de perfis, demonstrando que produzir os próprios perfis é muito mais barato e acessível. No que se refere, ao valor da estrutura que comporta os perfis, esse será o mesmo para ambos os perfis industrial ou de produção própria, variando de local para local em função dos materiais utilizados e da cotação de mercado.

Tabela 15. Material para confecção de uma bancada hidropônica com 8 perfis para produção de 192 plantas com espaçamento de 0,25m x 0,30m e sistema de automação.

Orçamento - A				
Itens	Quantidade	Unidade	Valor (R\$)	Valor Total (R\$)
Caibo 5 x 6 cm	30,00	m	3,50	105,00
Parafusos 8	18,00	uni	0,50	9,00
Tubos PVC 75 mm (6,00 m)	8,00	uni	32,00	256,00
Tubo PVC 50 mm (6, 00 m)	1,00	uni	22,00	22,00
Mangueira polietileno 20 mm	6,00	m	1,50	9,00
Mangueira polietileno 6 mm	2,00	m	1,00	2,00
Sombrite 70%	14,00	m	20,00	280,00
Joelho de 50 mm	1,50	uni	5,00	7,50
Tambor 100 L	1,00	uni	75,00	80,00
Bomba 12v	2,00	uni	68,70	137,40
			Total	907,90
Orçamento - B				
Itens	Quantidade	Unidade	Valor (R\$)	Valor Total (R\$)
Arduino	1,00	Uni	45,00	45,00
Modulo Rele 5v de 10 A	2,00	Uni	5,00	10,00
Modulo SD	1,00	Uni	14,57	14,57
Cartão Micro SD	1,00	Uni	30,00	30,00
Sensor LDR	1,00	Uni	3,00	3,00
Sensor DTH11	1	Uni	2,50	5,00
Case de plástico	1	Uni	25,00	25,00
Protoboard	1	Uni	10,00	20,00
Fonte chaveada 12V 10 A	1	Uni	110,00	110,00
Jump Banana Fêmea	3	Uni	2,50	7,50
Jump Banana Macho	3	Uni	2,50	7,50
			Total	277,57
			Total A + B	1185,47

*Referência de preços mês de março de 2020.

O custo médio do sistema de automação com Arduino capaz de ler, armazenar e responder as variáveis de temperatura e umidade é de R\$ 277,57, enquanto que, o custo médio de um sistema temporizador convencional é R\$ 546,07. Além disso, pode-se adicionar diferentes sensores extras ao sistema com Arduino conforme a necessidade, o que amplia sua versatilidade. A Tabela 16 apresenta os preços de temporizadores de irrigação disponíveis a venda no mercado.

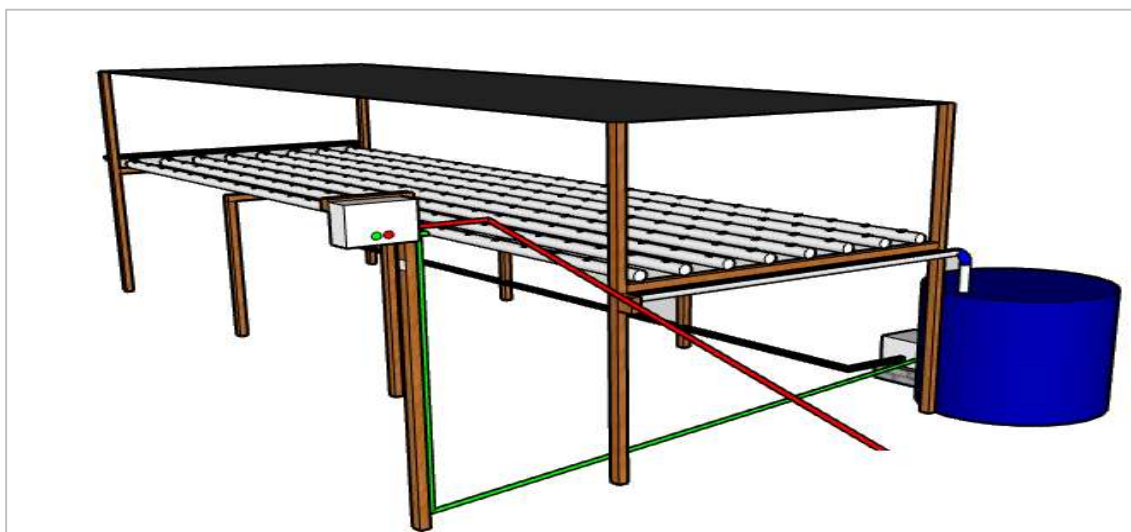
Tabela 16. Preços de temporizadores para controle de irrigação disponíveis no mercado.

Modelo	Loja	Valor (R\$)
Rainbird RXZ	Canal Agrícola	622,71
Didziel Mult-Time	Magazine Luiza	320,00
DC20D	Americanas	603,80
Rainbird RXZ	Amazon	599,00
Água Quatro	Americanas	584,86
Valor médio		546,07

Fonte: Autor. Referência ano de 2022.

O sistema de automação e de bombeamento da solução nutritiva pode ser empregado para mais de uma bancada, desta forma o custo se reduz proporcionalmente ao número de bancadas instaladas. Outro importante aspecto é que a bomba de 12v utilizada permite seu acionamento por uma pequena placa solar, o que possibilita o cultivo mesmo em locais onde não há rede elétrica, nas Americanas uma placa solar de 12v com 30 watts de potência custa cerca de R\$ 277,00, já na NeoSolar a mesma placa pode ser encontrada por um valor de R\$ 179,00, assim, temos um preço médio de R\$ 288,00.

Considerando o valor médio da placa solar de R\$ 288,00, o sistema de automação com Arduino e a bancada alternativa R\$ 1185,47, é o valor de uma bateria de 12v para armazenar a energia produzida que tem valor médio no mercado de R\$ 135,00, chegamos a um valor final de R\$ 1548,47 para uma unidade hidropônica autônoma. A Figura 35 apresenta um modelo para uma bancada de cultivo hidropônico alternativa e de baixo custo para o semiárido.

Figura 35. Bancada de cultivo hidropônica de alternativa e de baixo custo para o semiárido.

Fonte: Autor.

6. CONCLUSÃO

O cultivo hidropônico no semiárido é possível sob as mais diversas condições desde que adotado as técnicas de manejo e estruturas adequadas. Por fim, constatou-se que:

- ✓ O cultivo de alface em sistema hidropônico no semiárido para condições de alta temperatura e baixa umidade somente é viável para níveis de CE inferiores a 2,0 dS m⁻¹;
- ✓ O sistema de automação com Arduino Uno demonstrou-se promissor, por ser de baixo custo e trazer o benefício de acoplar diferentes sensores;
- ✓ As bombas solares de 12v de 800 L h⁻¹ de corrente CC demonstraram-se viáveis e de baixo custo de aquisição e funcionamento;
- ✓ O uso do sistema hidropônico NFT com variação do ciclo de solução, tomados em função da T e UR, são mais econômicos quanto ao consumo de energia;
- ✓ A estrutura alternativa apresentada é de baixo custo e fácil acessibilidade.

RECOMENDAÇÕES

Sugere-se para futuras pesquisas testar o cultivo no semiárido sob condições mais amenas de temperatura e umidade, afim de verificar se no período chuvoso é possível cultivar sob uma salinidade superior, assim como, avaliar o cultivo em condições com intervalo variável (em função da temperatura e umidade) e fixo, de modo avaliar se há efeitos.

Para viabilizar a utilização de águas salobras com maior salinidade pode-se adotar duas abordagens. Na primeira abordagem sugere-se misturar águas de diferentes fontes uma com salinidade superior e outra inferior até obter uma condutividade ideal para o cultivo. A segunda, que pode ser complementar a primeira, é testar a redução da quantidade de sais da solução, já que com o aumento da temperatura ocorre uma maior transpiração e absorção de água e nutrientes. Estes aspectos podem contribuir para reduzir a CE da água e viabilizar o cultivo em locais que antes não seria possível.

Ressalta-se, que novas pesquisas devem ser realizadas para verificar se com os diferentes ciclos há alguma vantagem além da economia de energia e, se a redução da quantidade de sais na formulação da solução pode ser benéfica para a produção em condições semiáridas. Por fim, deve-se também verificar em novas pesquisas como a relação tempo e ciclo de aplicação da solução podem contribuir para o desenvolvimento da alface e uso eficiente da água e solução.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, E. C. G.; SILVA, T. C.; LIMA, T. V. de. Efeitos alelopáticos de sesbania virgata (cav.) Pers na germinação de sementes de alface. **Revista Engenharia Agrícola**, v.26, n.2, p.101-109, 2018. <https://doi.org/10.13083/reveng.v26i2.862>.

ALBERONI, R. B. **Hidroponia**. São Paulo: Nobel, 1998. 102 p.

ALY JUNIOR, O. **Segurança hídrica no meio rural, recursos hídricos na agropecuária e adaptação às mudanças do clima: serviços ecossistêmicos das águas subterrâneas e aquíferos no Brasil**. 2019. 197 f. Tese (Doutorado) - Curso de Recursos Minerais e Hidrogeologia, Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019. Disponível em: encurtador.com.br/moLY6 Acesso em: 28 nov. 2020.

AMARO, R. R. Desenvolvimento um conceito ultrapassado ou em renovação? Da teoria à prática e da prática à teoria. **Revista Cadernos de Estudos Africanos**, [S.I.], n. 4, p. 35-70, 1 jun. 2003. <http://dx.doi.org/10.4000/cea.1573>. Disponível em: <https://journals.openedition.org/cea/1573>. Acesso em: 23 jul. 2020.

ARAÚJO FILHO, J. C.; CORREIA, R. C.; CUNHA ARAÚJO, J. C. Recursos hídricos em regiões semiáridas. In: GHEYI, Hans Raj; PAZ, Vital Pedro da Silva; MEDEIROS, Salomão de Sousa; GALVÃO, Carlos de Oliveira (ed.). **Recursos Hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações**. Campina Grande: INSA, 2012. Cap. 2. p. 30-39.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução de H.R. Gheyi, J.F. de Medeiros e F.A.V. Damasceno. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 29).

BACHINSKI, A. Automatização de adubação e irrigação de uma estufa hidropônica utilizando sistema embarcado Arduino: Andre Luis Stefanello. In: SIMPÓSIO DE CIÊNCIA, INOVAÇÃO E TECNOLOGIA, 3., 2018, [S.I.]. **Anais [...]**. Frederico Westphalen: Uri, 2019. p. 83-88. Disponível em: <http://www.fw.uri.br/NewArquivos/publicacoes/publicacoesarquivos/317.pdf#page=83>. Acesso em: 29 nov. 2020.

BARON, L. C.; NOGUEIRA, C. E. C.; SIQUEIRA, J. A. C.; MIOTTO, A. Desenvolvimento e avaliação da viabilidade técnica de dispositivos para automação hidropônica. **Revista universidade Unigranrio**, v.8, n.1., p.188-210, 2021. Disponível: <http://publicacoes.unigranrio.edu.br/index.php/amp/article/view/6689/3443>. Acesso: 12 nov. 2021.

BECKER, D. F. **Desenvolvimento regional: abordagens interdisciplinares**. Abordagens interdisciplinares. 2. ed. Santa Cruz do Sul: UNISC, 2008. 396 p.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. **Manual de Irrigação**. 9. ed. Viçosa: UFV, 2019. 545 p.

BEZERRA NETO, E.; SILVA, E. F. F.; JUNIOR, J. A. S.; SANTOS, M. J.; ALBUGUERGUE, E. R. G. M.; MESQUITA, J. C. P.; COELHO, J. B. M.; OLIVEIRA, J. V. **Cadernos do Semiárido: Hidroponia**. 6. ed. Pernambuco: CREA, 2017. 87 p.

BEZERRA, F. C.; FERREIRA, F. V. M.; SILVA, T. da. C. ARAÚJO, D. B. **Produção de mudas de alface em sistema hidropônico**. Fortaleza: Embrapa, 2011. 2 p.

BEZERRA, F. C.; FERREIRA, F. V. M.; TIAGO, C. S. da.; SOUSA, H. H. F. de. **Produção de mudas de alface em substratos à base de resíduos orgânicos e irrigadas com água ou solução nutritiva**. In: Encontro nacional sobre substratos para plantas, VI., 2008, Fortaleza. Anais... Fortaleza, 2008. 1 CD-ROM.

BIONE, M. A. A.; PAZ, Vi. P. da. S.; SILVA, F. da.; RIBAS, R. F.; SOARES, T. M. Crescimento e produção de manjeriço em sistema hidropônico NFT sob salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.I.], v. 18, n. 12, p. 1228-1234, dez. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v18n12/a04v18n12.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2020.

BLAT, S. F.; SANCHEZ, S. V.; ARAUJO, J. A. C.; BALONHENZI, D. desempenho de cultivares de alface crespa em dois ambientes de cultivo em sistema hidropônico.

Horticultura brasileira. [S.I.], v.19, n.01, 2011. p.135-138. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/hv837SXCdV44PfFSSR5xwYv/?format=pdf&lang=pt>.

Acesso em: 13 ago. 2021.

BRITO, L. T. L.; PEREIRA, L. A.; MELO, R. F. **Disponibilidade hídrica subterrânea.** EMBRAPA. Brasília. 2009. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/bioma_caatinga/arvore/CONT000g5twggzi02wx5ok01edq5s9s9b6a3.html. Acesso em: 9 ago. 2020.

CARRIJO, O. A.; MAKISHIMA, N. **Princípios da Hidroponia.** [S.I.]: Embrapa, 2000. 28 p. Disponível: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/769981/principios-de-hidroponia>. Acesso: 04 out. 2021.

CASTRO, F. F. B.; HOLANDA, V. C. C. ESPAÇO METROPOLITANO CEARENSE: BREVES CONSIDERAÇÕES. **Revista Casa de Geografia de Sobral**, Sobral, v. 20, n. 2, p. 106-124, 2018.

COMETTI, N. N.; GALON, K.; BREMENKAMP, D. N. Comportamento de quatro cultivares de alface em cultivo hidropônico em ambiente tropical. **Revista eixo**, [S.I.], v.8, n.1, p.114-126, 2019. Disponível em: <http://revistaeixo.ifb.edu.br/index.php/RevistaEixo/article/view/563/434>. Acesso em: 06 nov. 2021.

COMETTI, N. N.; GENUNUCIO, G. da. C.; ZONTA, E. **Hidroponia para técnicos.** 1.ed. Brasília. IFPB, 2019. 158p.

COMETTI, N.N. **Nutrição mineral da alface (*Lactuca Sativa L.*) em cultura hidropônica -sistema NFT.** Seropédica. UFRRJ. 2003. (Tese de doutorado).

CORDEIRO, C. J. X.; VIEIRA, L. P.; SANTOS, S. T.; COSTA, P. A. A.; OLIVEIRA, F. A.; SOUZA NETA, M. L. **Qualidade de mudas de alface produzidas em fibra de coco com diferentes soluções nutritivas.** In: IV Inovagri International Meeting and XXVI, Congresso Nacional de Irrigação (CONIRD) e III Simpósio Brasileiro de Salinidade (SBS), [S.I.], 2017. Disponível em:

https://web.archive.org/web/20180721012730id_/http://www.inovagri.org/anais/TC1310115.pdf. Acesso em: 15 set. 2021.

CORREIA, R. C.; KIILL, L. H. P.; MOURA, M. S. B. de; CUNHA, T. J. F.; JESUS JUNIOR, L. A. de; ARAUJO, J. L. P. A região Semiárida. In: EMBRAPA. **Produção de Caprinos e Ovinos no Semiárido**. [S.I.]: Embrapa, 2011. p. 1-28. Disponível em: <http://www.mundogeomatica.com.br/CL/ApostilaTeoricaCL/Capitulo10BalancoHidrico.pdf>. Acesso em: 04 set. 2020.

COSTA FILHO, W. D. **Noções básicas sobre poços tubulares**. [S.I.]: CPRM, 1998. 21 p.

COSTA, L. F. da. **Produção de couve flor com águas salobras na hidroponia**. Cruz das Almas, URPE, 2020. 104p. Disponível em: https://www.ufrb.edu.br/pgea/images/Teses/LEANDRO_FERREIRA_COSTA.pdf. Acesso em: 01/11/2021.

DIAS, R. H. **Desempenho de cultivares de alface em sistema semi hidropônico fertirrigadas com soluções nutritivas salinizadas**. Mossoró: UFERSA, 2019. 23 p.

DOMINGOS, A. S. **Sistema de Monitoramento de cultivo hidropônico**. São José: IFSC, 2019. 36 p. Disponível em: https://wiki.sj.ifsc.edu.br/images/f/fb/Projeto_de_TCC_Aline_Silva_Domingos.pdf. Acesso em: 05 dez. 2020.

FAQUIN, V., FURLANI, P. R. Cultivo de hortaliças de folhas em hidroponia em ambiente protegido. **Revista Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v.20, n. 200/201, p. 99-104, set./dez. 1999.

FAVARATO, L. F.; EUTRÓPIO, F. J.; GUARÇONI, R. C.; MENDES, L. Variação térmica e umidade relativa do ar em diferentes coberturas de solo no cultivo da alface. In: XXII encontro latino americano de iniciação científica, XVIII encontro latino americano de pós-graduação e VIII encontro de iniciação à docência - universidade do vale do paraíba., 22., 2018, [S.I.]. **Anais [...]**. [S.I.]: INCAPER, 2018. p. 1-4. Disponível em:

<https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/handle/123456789/3549>. Acesso em: 01 nov. 2021.

FEITOSA, F. A.C & DINIZ, J. A. O. **Água subterrânea no cristalino da região semiárida brasileira**. II Congresso internacional de meio ambiente subterrâneo. Afogados, Recife. 2011. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/28026/18153>. Acesso em: 09 ago. 2020.

FLOSS JÚNIOR, O.; SILVA, T. B. M.; DEMARTELAERE, A. C. F.; MEDEIROS, J. G. F.; PRESTON, H. A. F.; FEITOSA, S. S.; FERREIRA, A. S.; CÂMARA, Y. P. Uso de substratos alternativos no sistema hidropônico e a influência na produção de mudas de lactuca sativa. **Revista Brazilian Journal of Development**, [S.I.], v. 6, n. 10, p. 77728-77743, 2020. Brazilian Journal of Development. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n10-268>. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/18188/14689>. Acesso em: 22 maio 2021.

FREITAS, F. T. O. de.; SOARES, T. M.; SILVA, M. G. da.; RAFAEL, M. R. S. Cultivo de alface sob intervalos de recirculações das soluções nutritivas em sistemas hidropônicos usando água salobra. **Revista Irriga**, v.1, n.1, p.67-96, 2021.

FURLANI, P. R. **Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia** NFT. Campinas: IAC, 1998. 30 p (IAC. Boletim Técnico, 168).

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: IAC, 1999. 52 p. (Boletim Técnico, 180).

GALON, K. **Avaliação do desempenho de cultivares de alface em cultivo hidropônico e panorama da hidroponia no estado do espírito santo**. Alegre: 2012, UFES. 92p. Disponível em: <https://repositorio.ufes.br/jspui/bitstream/10/6540/1/Karla%20Galon.pdf#page=30>. Acesso em: 27 de maio de 2021.

GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. S.; MEDEIROS, S. S.; GALVÃO, C. O. **Recursos hídricos em regiões semiáridas**. Cruz das Almas: INSA. 2012.

GOMES, M. F.; FERREIRA, L. J. Políticas públicas e os objetivos do desenvolvimento sustentável. **Revista Direito e Desenvolvimento**, [S.I.], v. 9, n. 2, p. 155-178, 3 dez. 2018. Cruzeiro do Sul Educacional. <http://dx.doi.org/10.25246/direitoedesenvolvimento.v9i2.667>. Disponível em: <https://45.227.6.12/index.php/direitoedesenvolvimento/article/view/667>. Acesso em: 02 mai. 2021.

GUARÇONI, A.; FAVARATO, L. F.; STIPP, S. R.; CASARIN, V. Manejo da fertilidade do solo para uma produção agropecuária mais sustentável. **Revista Incaper em Revista**, Vitória, v. 10, n. 1, p. 22-42, dez. 2019. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/handle/123456789/3960>. Acesso em: 29 nov. 2020.

GUIMARÕES, A. Z.; TRINDADE, E. N. O.; LAGE, F. C. Fazendas urbanas aguaponia e hidroponia: sistemas para uma produção independente. **Revista exatamente-newton**. [S.I.]. n.1, p.107-124, dez. 2020. Disponível em: <http://revistas.newtonpaiva.br/revista-exatamente/wp-content/uploads/2020/12/REVISTA-EXATAMENTE-NEWTON-N.1-ART9.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2021.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D. I. **The water culture method for growing plants without soils**. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 347p., 1950.

JERÔNIMO, C. E.; VASCONCELOS, R. Hidroponia como alternativa de uso e ocupação do solo em áreas degradadas por parques eólicos: avaliação de impactos ao meio ambiente. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [S.I.], v. 8, n. 8, p. 1794-1804, 12 jan. 2012. UFSM Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/download/7164/pdf>. Acesso em: 23 jul. 2020.

JESUS, G. T. de. **Produção de insumos para controle de insetos e doenças na horticultura**. Serrinha, IF Baiano Serrinha, 2021. 26p. Disponível em:

<http://revista.lapprudes.net/index.php/livros/article/view/581/510>. Acesso em: 11 out. 2021.

JÚNIOR, L. M.; FERREIRA, M. A.; CARVALHO CANATO, L. R. Microcontrolador e sensores aplicados na automação de horta hidropônica. **Revista Interciência e Sociedade**, [S.I.], v.5, n.2, p.356-357, 2020. Disponível em: <http://revista.francomontoro.com.br/intercienciaesociedade/article/view/165/121>. Acesso em: 06 nov. 2021.

LABORIAL, L.G.; VALADARES, M.B. On the germination of seeds of *Calotropis procera*. **Revista Anais da Academia Brasileira de Ciências**, n. 48, p. 174-186, 1976.

LEAL, L. Y. C.; SOUZA, E. R.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; SANTOS, M. A. Comparison of soil and hydroponic cultivation systems for spinach irrigated with brackish water. **Journal Scientia Horticulturae**, [S.I.], v. 274, p. 109616, dez. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109616>.

LIMA, M. T. V.; MEIRELLES, A. C. M.; OLIVEIRA, C. W.; NASCIMENTO, N. T.B. Köppen-Geiger and Thornthwaite Climatic classification for the metropolitan region of the Cariri, Ceará. **Revista Geama**, Recife, jul. 2017. Mensal. Disponível em: <http://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/download/1500/1319>. Acesso em: 15 jul. 2020.

LOPES, K. V. L.; PIRES, D. S.; SERRA, G. L. de. Sistema Hidropônico Inteligente Baseado em um Sistema MIMO Nebuloso. **Revista Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**, [S.I.], v.6, n.2, p.1-2, 2018. Disponível em: <https://proceedings.sbmac.org.br/sbmac/article/view/2243/2261>. Acesso em: 07 fev. 2022.

LUZ, G. L. da.; MEDEIROS, S. L. P.; MAFRON, P. A.; BORCIONE, E.; MULLER, L.; AMARAL, A. D. do.; MORAIS, K. P. Consumo de energia elétrica e produção de alface hidropônica com três ciclos entre irrigações. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.13, p.815-818, mai-jun. 2008. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/cr/a/9G4D3TbDM89kYbMn4mvyPby/?lang=pt&format=pdf>.

Acesso em: 06 dez. 2021.

LUZ, J. M. Q; GUIMARÃES, S. T. M. R.; KORNDÖNFER, G. H. Produção hidropônica de alface em solução nutritiva com e sem silício. **Revista Horticultura Brasileira**, v.24, n.3, p.295-399. jun-set. 2006. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/hb/a/99RFWNLdK6G8HNLtFBpDzrL/?format=pdf&lang=pt>.

Acesso em: 09 dez. 2021.

MAGUIRE, J.D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MARTINS, T. de. S. **Desempenho Agrônômico de cultivares de alface em sistema hidropônico no município de Uruçuí-PI**. Uruçuí: IFPB, 2021.16p.

MELO, D. F. de.; LIMA, S. C. de.; GUIMARÃES, R. F. B.; FURTADO, D. A.; NASCIMENTO, R. do. **Influência da estufa hidropônica no crescimento de diferentes cultivares de alface crespa (*Lactuca Sativa L.*)**. Congresso Técnico Científico de Engenharia e Agronomia CONTECC, Maceió, 2018. Disponível em: https://www.confea.org.br/sites/default/files/antigos/contecc2018/agronomia/143_idehnccddcaclsl.pdf. Acesso em: 14 dez. 2021.

MOURA, M. S. B. de; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; SILVA, T. G. F. da. **Aspectos meteorológico do semiárido brasileiro**. [S.I.]: Embrapa, 2019. 104 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1112124?mode=full>.

Acesso em: 20 nov. 2020.

MORAIS, I. B.; FERNANDES, C. M.; CARVALHO, L. R. de.; LIMA JUNIOR, A. F. de.; MOREIRA, J. M.; SILVA, A. P. da.; BARBUIO, R.; ROSA, J. Q. S. Desenvolvimento de mudas de alface em função de substratos alternativos. **Revista Pubvet**, v.12, n.8, p.133-138, ago. 2018.

MONTEIRO FILHO, A. F.; AZEVEDO, C. A. V.; AZEVEDO, M. R. Q.A.; FERNANDES, J. D.; SILVA, C. R.; FERNANDES, P. D. Monitoring, calibration and maintenance of optimized nutrient solutions in curly lettuce (*Lactuca sativa*, L.) hydroponic cultivation. **Journal Australian Journal of Crop Science**, [S.I.], v. 12, n. 04, p. 572-582, 20 abr. 2018. Southern Cross Publishing. <http://dx.doi.org/10.21475/ajcs.18.12.04.pne85>.

NASCIMENTO, W. M.; CANTLIFFE, D. J. Germinação de sementes de alface sob altas temperaturas. **Revista Horticultura Brasileira**, [S.I.], v.20, n.1, p.103-106, 2002.

PAULUS, D. **Produção, Qualidade, parâmetros fisiológicos e bioquímicos de alface sob hidroponia com águas salinas**. 2020. 106 f. Tese (Doutorado) - Curso de Irrigação e Drenagem, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

PAULUS, D.; PAULUS, E.; NAVA, G. A.; MOURA, C. A. Crescimento, consumo hídrico e composição mineral de alface cultivada em hidroponia com águas salinas. **Revista Ceres**, [S.I.], v. 1, n. 59, p. 110-117, fev. 2012. Disponível em: <http://www.ceres.ufv.br/ojs/index.php/ceres/article/view/3701/1607#>. Acesso em: 11 dez. 2020.

REBOUÇAS, A.C. **Águas subterrâneas**. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (Ed. *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo: Escrituras, 1999. cap. 4, p. 117-151.

RODRIGUES, I. O.; XAVIER, P. S.; SANTOS, A. L. N.; NEVE, J. M. G.; BARBOSA, E. A. Produção de mudas de alface cv. “Stella-Manteiga” em diferentes combinações de substratos e recipientes alternativos. **Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara**. v.2, n.3, p.47-55, 2020. Disponível em: <http://recital.almenara.ifnmg.edu.br/index.php/recital/article/view/131/68>. Acesso em: 21 out. 2020.

RODRIGUES, L. R. F. **Técnicas de cultivo hidropônico e de controle ambiental no manejo de pragas, doenças e nutrição vegetal em ambiente protegido**. Jaboticabal: FUNEP, 2002. 762 P.

SANTOS, A. N. dos; SILVA, Ê. F. de F. e; SILVA, G. F. da; BEZERRA, R. R.; PEDROSA, E. M. R. Concentração de nutrientes em tomate cereja sob manejos de aplicação da solução nutritiva com água salobra. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 48, n. 4, p. 576-585, dez. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rca/v48n4/1806-6690-rca-48-04-0576.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2020.

SANTOS, A. N.; SOARES, M. T.; SILVA, E. F. F.; SILVA, D. J. R.; MONTENEGRO, A. A. A. Cultivo hidropônico de alface com água salobra subterrânea e rejeito da dessalinização em Ibimirim, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina de Grande, v. 14, n. 9, p.961-969, 2010. Disponível em: http://www.ufrb.edu.br/neas/images/Artigos_NEAS/2010_1.pdf. Acesso em: 15 maio. 2021.

SANTOS, J. W. dos; GHEYI, H. R. **Estatística experimental aplicada**. Campina Grande: Marcone, 2003. 213 p.

SANTOS, O. S. (Ed). **Hidroponia da Alface**. Santa Maria: Imprensa Universitária, 2000. 160p.

SENA, A.; FREITAS, C. M. de; BARCELLOS, C.; RAMALHO, W.; CORVALAN, C. Medindo o invisível: análise dos objetivos de desenvolvimento sustentável em populações expostas à seca. **Ciência e Saúde**, [S.I.], v. 21, n. 3, p. 671-683, jan. 2016.

SILVA, C. D.; DAVID, A. M. S. de S.; SOARES, M. C.; CONCEIÇÃO, E. dos. R. S.; PARAIZO, E. A.; SILVA, R. R. P. da.; NOBRE, D. A. C. Temperaturas e regulador de crescimento na germinação de sementes de alface. **Revista cultura agronômica**, ilha solteira, v.29, n.3, p.337-347, 2020. Disponível em: https://ojs.unesp.br/index.php/rculturaagronomica/article/view/24468355.2020v29n3p337-347/pdf_2. Acesso em: 23 out. 2021.

SILVA, E. T. da; SCHWONKA, F. Viabilidade econômica para a produção de alface no sistema hidropônico em colombo, região metropolitana de curitiba, PR. **Journal Scientia Agraria**, [S.I.], v. 2, p.111-116, 2001. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/agraria/article/viewFile/1007/833>. Acesso em: 23 maio. 2021.

SILVA, M. G.; SOARES, T. M.; GHEYI, H. R.; OLIVEIRA, I. S.; SILVA FILHO, J. A.; CARMO, F. F. do. Frequency of recirculation of nutrient solution in hydroponic cultivation of coriander with brackish water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 20, n. 5, p. 447-454, maio 2016. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/zMN6hjQfFBSYcZbPwYLSC6v/?lang=en>. Acesso em: 03 jun. 2021.

SILVA, A. L. da.; NASCIMENTO, M. N. do.; TANAN, T. T.; OLIVEIRA, U. C. de.; LIMA, J. do. C. Efeito da salinidade da água de irrigação na produção da alface crespa. **Revista centro científico conhecer**, Goiânia, v.14, n.26, p.328-338, 2017. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2017b/agrar/Efeito%20da%20salinidade.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2021.

SILVA, D. A. de. O.; SANTOS, W. M. dos.; SILVA, T. S. S.; FERNANDES, S. P.; CARNEIRO, P. T.; SANTOS, C. G. dos. Desempenho da alface (*Lactuca Sativa* L.) submetida a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. **Revista Ambiental**, Alagoas, v.10, n.3, p.32-42, 2018. Disponível em: <https://periodicosuneal.emnuvens.com.br/ambientale/article/view/56/55>. Acesso em: 08 dez. 2021.

SILVA, M. V. S.; SILVA JÚNIOR, D. C. da. Monitoramento e Controle de Temperatura em um Sistema Aquapônico. **Revista caderno de estudos em engenharia agrícola**, v.3, n.2, 2021. Disponível em: <https://seer.uniacademia.edu.br/index.php/eletrica/article/view/3061>. Acesso em: 07 fev.2022.

SOARES, H. R.; SILVA, Ê. F. de F.; SILVA, G. F. da; CRUZ, A. F. da S.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; ROLIM, M. M. Salinity and flow rates of nutrient solution on cauliflower biometrics in NFT hydroponic system. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.I.], v. 24, n. 4, p. 258-265, abr. 2020. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v24n4/1415-4366-rbeaa-24-04-0258.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2020.

SOARES, T.; SILVA, E. F. F.; DUARTE, S. N.; MELO, R. F.; JORGE, C. A.; SILVA, E, M. Produção de Alface utilizando águas salinas em sistema hidropônico. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 12, p.235-248, abr. 2007. Mensal. Disponível em: https://www.ufrb.edu.br/neas/images/Artigos_NEAS/2007_14. Acesso em: 08 ago. 2020.

SOARES, T. M. **Utilização de águas salobras no cultivo da alface em sistema hidropônico NFT como alternativa agrícola condizente ao semiárido brasileiro**. 2007, 268 f. Tese (Doutorado) – Doutorado em Agronomia, Piracicaba, Universidade de São Paulo, p.83, 2007. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-29112007-093534/publico/TeseTalesSoares.pdf>. Acesso: 18 jan. 2022.

SOUSA, J. C. de. O.; MOURA, E. G.; SILVA, F. de. S.; SILVA, R. F. da.; SIMÃO, S. D. Combinações de substratos alternativos na germinação de sementes de alface (*Lactuca Sativa L.*). **Revista Enciclopédia biosfera**, Goiânia, v.14, n.25, p.311, 2017. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2017a/agrar/combinacoes%20de%20substratos.pdf>. Acesso em: 08 novembro. 2020.

SOUZA, A. V. de.; ROCHA, R. V. de. O uso da automação para aprimorar o cultivo do pequeno produtor. **Revista Recodaf**, [S.I.], v.6, n.1, 2020.

SOBCZAK, A.; KOWALCZYK, K.; GAJC-WOLSKA, J.; KOWALCZYK, W.; NIEDZINSKA, M. Growth, Yield and Quality of Sweet Pepper Fruits Fertilized with Polyphosphates in Hydroponic Cultivation with LED Lighting. **Journal Agronomy**, [S.I.], v. 10, n. 10, p. 1560, 13 out. 2020. MDPI AG.

<http://dx.doi.org/10.3390/agronomy10101560>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/10/1560/htm>. Acesso em: 05 dez. 2021.

SONG, J.; HUANG, H.; HAO, Y.; SONG, S.; ZHANG, Y.; SU, W.; LIU, H. Nutritional quality, mineral and antioxidant content in lettuce affected by interaction of light intensity and nutrient solution concentration. **Journal Scientific Reports**, [S.I.], v. 10, n. 1, p. 1-9, 18 fev. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-020-59574-3>.

SURENDRAN, U.; CHANDRAN, C.; JOSEPH, E. J. Hydroponic cultivation of *Mentha spicata* and comparison of biochemical and antioxidant activities with soil-grown plants. **Journal Acta Physiologiae Plantarum**, [S.I.], v. 39, n. 1, p. 1-14, 18 dez. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11738-016-2320-6>.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Rio Grande do Sul: Artmed, 2017. 888 p. Disponível em: https://grupos.moodle.ufsc.br/pluginfile.php/474835/mod_resource/content/0/Fisiologia%20e%20desenvolvimento%20vegetal%20-%20Zair%206%C2%AAed.pdf. Acesso em: 01 dez. 2020.

TROLEIS, A. L.; SANTOS, A. C. V. **Estudos do Semiárido**. 2. ed. Natal: UFRN, 2011. 197 p. Disponível em: http://bibliotecadigital.sedis.ufrn.br/pdf/geografia/Est_Sem_Livro_WEB.pdf. Acesso em: 01 set. 2020.


VEIGA, J. E. **Desenvolvimento sustentável o desafio do século XXI**. Rio de Janeiro: GARAMOND, 2010. 220 p.

XAVIER, J. de. F.; AZEVEDO, C. A. V. de.; AZEVENDO, M. R. de. Q. A.; SALES, J. C. R. de.; OLIVEIRA, N. C. de.; FERNANDES, J. D. **Journal Research, Society and Development**, [S.I.], v.10, n.14, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/20437/19846>. Acesso em: 09 dez. 2021.

XIMENES, Luciano Feijão; SILVA, Maria Sonia Lopes da; BRITO, Luiza Teixeira de Lima (ed.). **Tecnologias de convivência com semiárido**. Fortaleza: Embrapa, 2019. 1138 p.

ANEXOS

ANEXO A - Relatório de análise de água para fins hidropônicos.



Laboratório de Análise de Água, Alimentos e Efluentes Industriais
 Contatos: (81) 3045-3185 | (81) 99681-0297
 www.aqualyse.com.br | comercial@aqualyse.com.br
 Rev. 00 – Aprovador: GT

RELATÓRIO DE ENSAIO

Nº RELATÓRIO	07090321
--------------	----------

DADOS DO SOLICITANTE			
SOLICITANTE	LEONCIO GONÇALVES RODRIGUES	CNPJ/CPF	048.551.863-50
ENDEREÇO	UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI – CAMPUS CRATO		CEP
CIDADE	CRATO	UF	CE
RESPONSÁVEL PELA SOLICITAÇÃO	WAGNER SALES DOS SANTOS		

DADOS DA AMOSTRA			
DESCRIÇÃO DA AMOSTRA	ÁGUA		
DATA / HORA DA AMOSTRAGEM	09/03/2021	DATA / HORA RECEBIMENTO	09/03/2021 às 10:47
LOCAL DA AMOSTRAGEM	AMOSTRA DE ÁGUA COLETADA EM POÇO ARTESIANO		
CONDIÇÕES DA AMOSTRA	<input type="checkbox"/> T°C AMBIENTE	<input checked="" type="checkbox"/> REFRIGERADA	<input type="checkbox"/> CONGELADA
RESP. COLETA	SOLICITANTE	PLANO DE AMOSTRAGEM	SOLICITANTE
		DATA DE EMISSÃO	05/04/2021

RELATÓRIO DE ENSAIO FÍSICO		
ENSAIO	RESULTADO	VALOR DE REFERÊNCIA (VMP)
PH	7,30	6,0 – 9,5
CLORO RESIDUAL LIVRE	0,00	0,2 - 5,0 mg/L
TURBIDEZ	< 3,0 uT	< 5,0 uT
CONDUTIVIDADE	64,60 µS/cm	-

RELATÓRIO DE ENSAIO QUÍMICO		
ENSAIO	RESULTADO	VALOR DE REFERÊNCIA (VMP)
FÓSFORO (mg/L em P)	2,05	-
BORO (mg/L em B)	< 0,010	-
CARBONATOS (mg/L em CaCO ₃)	0,01	-
FERRO TOTAL (mg/L em Fe)	0,00	< 0,30
MANGANÊS (mg/L em Mn)	0,14	< 0,10
POTÁSSIO (mg/L em K)	688,38	-
SÓLIDOS TOTAIS	< 0,10	-
SÓDIO (mg/L em Na)	10,00	< 200,00
ZINCO (mg/L em Zn)	0,22	< 5,00

Abreviatura:

NI: Não Informado | NC: Não Consta | VMP: Valor Máximo Permitido | UFC: Unidade Formadora de Colônia | SQ: Sistema de Gestão da Qualidade

Metodologia (s):


- * Standard Methods For The Examination of Water And Wastewater (SMEWW), 23ª Edição, 2017.


Informações Adicionais:

- * Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de setembro de 2017 – ANEXO XI.
- * Os resultados desta análise têm significado restrito e se aplicam somente a amostra analisada.
- * Este relatório somente pode ser reproduzido por completo e sem nenhuma alteração.
- * Os ensaios são realizados na Unidade Técnica – Caruaru/PE.


Comentário (s):

- * "Pareceres, interpretações e opiniões expressos não fazem parte do SQ deste laboratório com base na ISO/IEC 17.025 e NIE-CGCRE -009" (INMETRO).






CRBM-2370 – II Região
Biomédico
Giuliano Rodrigo Monteiro Alves



CREA-PE – 048005
Engenheira Química
Eusléide Suelanne R. Lopes de Melo

Licenças expedidas por:



Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

CPRH
CBBH

Página 1 de 1

Matriz: Rua Gouveia de Barros, 100, Maurício de Nassau, Caruaru-PE [CNPJ 13.448.179/0001-96]
 Filial: Rua João Franklin Cordeiro, 103 Ayrton Maciel, Belo Jardim- PE [CNPJ 13.448.179/0002-77] |
 Licença Vigilância Nº 4.4.88.0019.0028.14 Licença CPRH Nº 03.19.05.001800-3

APÊNDICE

APÊNDICE A - Código de automação da maternidade.

```

// include the SD library:
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <dht.h>
#define sensor A0
#define ldr 5
#define ener1 8 // corrente de 5v para modulo relê 1
#define ener3 6 // corrente de 5v para DHT11
#define RELAY1 2 //Define o pino do relê 1

File arquivo;
dht DHT;
float temp;
float umid;
String dn;
int let = 0;
int tempo;
int tempo2;
int card;
void setup() {
  // Abre a porta de comunicação serial.
  Serial.begin(9600);
  while(!Serial){
    //Epera pela porta serial
    delay (3000);
  }
  //Energizando modulo Relê 1
  pinMode(ener1, OUTPUT);
  digitalWrite(ener1, HIGH);
  //Energizando DHT11
  pinMode(ener3, OUTPUT);
  digitalWrite(ener3, HIGH);
  //Definindo entradas de LDR e DHT11
  pinMode(sensor, INPUT);
  pinMode(ldr, INPUT);
  //Estado do Relê 1
  pinMode(RELAY1, OUTPUT);
  digitalWrite(RELAY1 ,LOW);
  //Iniciando cartão
  Serial.println("Verificando-se se foi conectado cartão!");
  delay(3000);
  if (!SD.begin(4)) {
    Serial.println("Não foi encontrado cartão!");
    Serial.println("LEITURA - TEMPERATURA - UMIDADE AR - LIGADO - DESLIGADO - DIA -
CARTÃO ");
    card = 2;
  }else{
    card = 1;
    Serial.println(" ");
    Serial.println("Cartão iniciado com sucesso!");
    Serial.println(".....");
    Serial.println("LEITURA - TEMPERATURA - UMIDADE AR - LIGADO - DESLIGADO - DIA -
CARTÃO ");}
  }
void loop(void) {
if (card == 1){

```

```

let += 1;
temp_umi();
if (digitalRead(ldr)==LOW){
  dn = "AM";
  tempo = 15;
  tempo2 = 240;
  salve();
  funcao_154();
} else {
  dn = "PM";
  tempo = 5;
  tempo2 = 240;
  salve();
  funcao_158();
}
tentar_ler_sd();
} else {
let += 1;
temp_umi();
if (digitalRead(ldr)==LOW){
  dn = "AM";
  tempo = 15;
  tempo2 = 240;
  Serial.println((" "+String(let)+" "+String(temp)+" °C "+" "+String(umid)+" % "+
tempo+" "+tempo2+" "+dn+" "+"NÃO"));
  funcao_154();
} else {
  dn = "PM";
  tempo = 5;
  tempo2 = 240;
  salve();
  Serial.println((" "+String(let)+" "+String(temp)+" °C "+" "+String(umid)+" % "+
tempo+" "+tempo2+" "+dn+" "+"NÃO"));
  funcao_158();
}
tentar_ler_sd();
}
}

void funcao_154(){
  /*Programação diurna 15 minutos ligado, ciclo de 6 horas" Normalmente fechado NC
  digitalWrite(RELAY1, LOW);
  delay(900000);
  digitalWrite(RELAY1, HIGH);
  delay(144000000);
}

void funcao_158(){
  /*Programação noturna 5 minutos ligado, ciclo de 6 horas"
  digitalWrite(RELAY1, LOW);
  delay(300000);
  digitalWrite(RELAY1, HIGH);
  delay(144000000);
}

void temp_umi(){
  DHT.read11(sensor);
  temp = DHT.temperature;
  umid = DHT.humidity;
}

void salve(){

```

```

arquivo = SD.open("registro.txt", FILE_WRITE);
if (arquivo) {
  temp_umi();
  arquivo.println(String(let)+" "+String(temp)+" "+String(umid)+" "+tempo+" "+tempo2+" "+dn);
  arquivo.close();
  Serial.println((" "+String(let)+" "+String(temp)+" °C "+" "+String(umid)+" % "+"
tempo+" "+tempo2+" "+dn+" "+"SIM"));
} else {
  Serial.println((" "+String(let)+" "+String(temp)+" °C "+" "+String(umid)+" % "+"
tempo+" "+tempo2+" "+dn+" "+"NÃO"));
}
}
}
void tentar_ler_sd(){
  delay (2000);
  Serial.begin(9600);
  if (!SD.begin(4)){
    card == 2;
  }else {card == 1;
  }
}
}

```

APÊNDICE B - Código de programação das bancadas em sistema NFT.

```

// include the SD library:
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <dht.h>
#define sensor A0
#define ldr 5
#define ener1 8 // corrente de 5v para modulo relê 1
#define ener2 9 // corrente de 5v para modulo relê 2
#define ener3 6 // corrente de 5v para DHT11
#define RELAY1 2 //Define o pino do relê 1
#define RELAY2 3 //Define o pino do relê 2
File arquivo;
dht DHT;
float temp;
float umid;
String dn;
int let = 0;
int tempo;
int tempo2;
int card;
void setup() {
  // Abre a porta de comunicação serial.
  Serial.begin(9600);
  while(!Serial){
    //Epera pela porta serial
    delay (3000);
  }
  //Energizando modulo Relê 1 e 2
  pinMode(ener1, OUTPUT);
  digitalWrite(ener1, HIGH);
  //Energizando modulo relê 2
  pinMode(ener2, OUTPUT);
  digitalWrite(ener2,HIGH);
  //Energizando DHT11
  pinMode(ener3, OUTPUT);
  digitalWrite(ener3, HIGH);
  //Definindo entradas de LDR e DHT11
  pinMode(sensor, INPUT);

```

```

pinMode(ldr, INPUT);
//Estado do Relê 1
pinMode(RELAY1, OUTPUT);
digitalWrite(RELAY1 ,LOW);
//Estado do Relê 2
pinMode(RELAY2, OUTPUT);
digitalWrite(RELAY2 ,LOW);
//Iniciando cartão
Serial.println("Verificando-se se foi conectado cartão!");
delay(3000);
if (!SD.begin(4)) {
  Serial.println("Não foi encontrado cartão!");
  Serial.println("LEITURA - TEMPERATURA - UMIDADE AR - LIGADO - DESLIGADO - DIA -
CARTÃO ");
  card = 2;
} else {
  card = 1;
  Serial.println(" ");
  Serial.println("Cartão iniciado com sucesso!");
  Serial.println(".....");
  Serial.println("LEITURA - TEMPERATURA - UMIDADE AR - LIGADO - DESLIGADO - DIA -
CARTÃO ");}
}
void loop(void) {
if (card == 1){
  let += 1;
  temp_umi();
if (digitalRead(ldr)==LOW){
  dn = "AM";
if (temp >= 32 or umid <= 44){
  tempo = 15;
  tempo2 = 10;
  salve();
  funcao_1510();
} else if(temp <32 or umid > 44){
  tempo =15;
  tempo2 = 15;
  salve();
  funcao_1515();
}
} else {
  dn = "PM";
if(temp >= 32 or umid <=44){
  tempo = 15;
  tempo2 = 60;
  salve();
  funcao_1560();
} else if (temp <32 or umid > 44){
  tempo = 15;
  tempo2 = 120;
  salve();
  funcao_15120();
}
}
  tentar_ler_sd();
}
else{
  let += 1;
  temp_umi();
if (digitalRead(ldr)==LOW){

```



```

dn = "AM";
if (temp >= 32 or umid <= 44){
tempo = 15;
tempo2 = 10;
Serial.println((" "+String(let)+" "+String(temp)+" °C "+" "+String(umid)+" % " +
tempo+" "+tempo2+" "+dn+" "+String("NÃO")));
funcao_1510();
}else if(temp <32 or umid > 44){
tempo =15;
tempo2 = 15;
salve();
funcao_1515();
}
}else {
dn = "PM";
if(temp >= 32 or umid <=44){
tempo = 15;
tempo2 = 60;
salve();
Serial.println((" "+String(let)+" "+String(temp)+" °C "+" "+String(umid)+" % " +
tempo+" "+tempo2+" "+dn+" "+String("NÃO")));
funcao_1560();
}else if (temp <32 or umid > 44){
tempo = 15;
tempo2 = 120;
salve();
funcao_15120();
}
}
tentar_ler_sd();
}
}

void funcao_1510(){
  /*Programação diurna 15 minutos ligado, ciclo de 10 minutos"
  digitalWrite(RELAY1, LOW);
  digitalWrite(RELAY2, LOW);
  delay(900000);
  digitalWrite(RELAY1, HIGH);
  digitalWrite(RELAY2, HIGH);
  delay(600000);
}

void funcao_1515(){
  /*Programação diurna 15 minutos ligado, ciclo de 15 minutos"
  digitalWrite(RELAY1, LOW);
  digitalWrite(RELAY2, LOW);
  delay(900000);
  digitalWrite(RELAY1, HIGH);
  digitalWrite(RELAY2, HIGH);
  delay(900000);
}

void funcao_1560(){
  /*Programação noturna 15 minutos ligado, ciclo de 1 hora"
  digitalWrite(RELAY1, LOW);
  digitalWrite(RELAY2, LOW);
  delay(900000);
  digitalWrite(RELAY1, HIGH);
  digitalWrite(RELAY2, HIGH);
  delay(3600000);
}

void funcao_15120(){

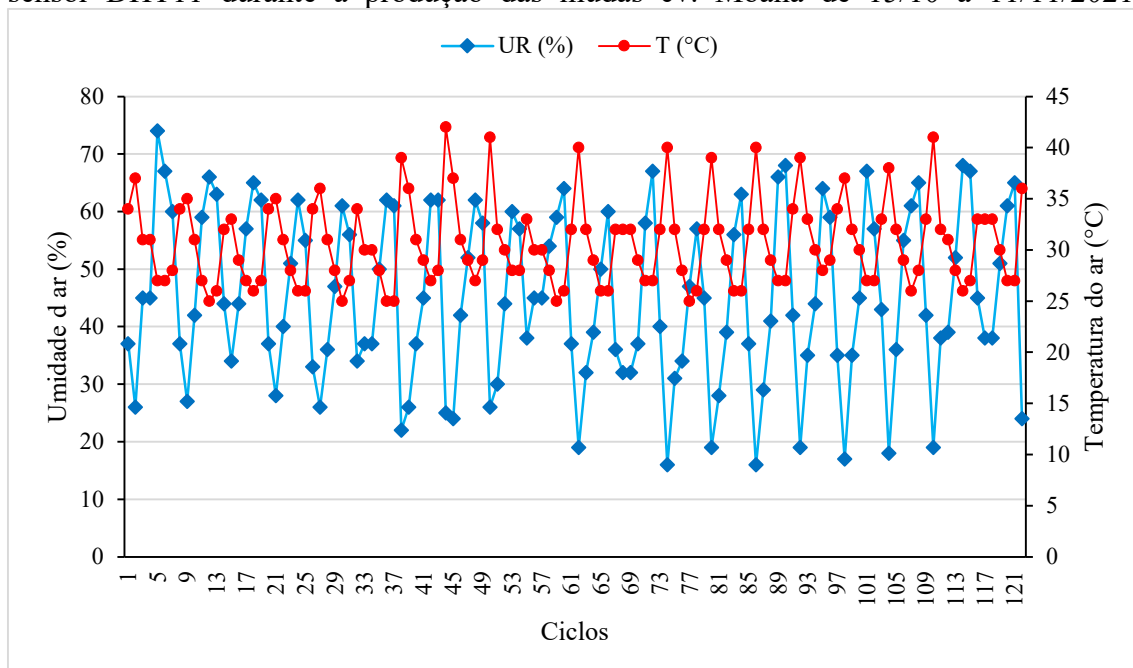
```

```

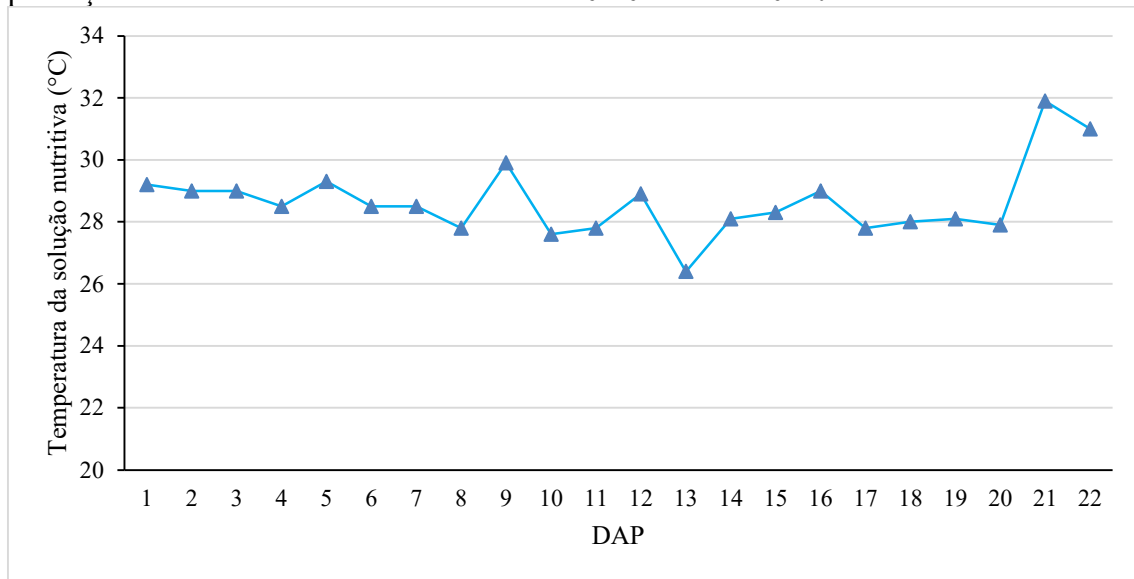
//Programação noturna 15 minutos ligado, ciclo de 2 horas"
digitalWrite(RELAY1, LOW);
digitalWrite(RELAY2, LOW);
delay(900000);
digitalWrite(RELAY1, HIGH);
digitalWrite(RELAY2, HIGH);
delay(7200000);
}
void temp_umi(){
  DHT.read11(sensor);
  temp = DHT.temperature;
  umid = DHT.humidity;
}
void salve(){
  arquivo = SD.open("registro.txt", FILE_WRITE);
  if (arquivo) {
    temp_umi();
    arquivo.println(String(let)+" "+String(temp)+" "+String(umid)+" "+tempo+" "+tempo2+" "+dn);
    arquivo.close();
    Serial.println((" "+String(let)+" "+String(temp)+" °C "+String(umid)+" % "+
tempo+" "+tempo2+" "+dn+" "+SIM));
  } else {
    Serial.println((" "+String(let)+" "+String(temp)+" °C "+String(umid)+" % "+
tempo+" "+tempo2+" "+dn+" "+NÃO));
  }
}
void tentar_ler_sd(){
  delay (2000);
  Serial.begin(9600);
  if (!SD.begin(4)){
    card == 2;
  }else {card == 1;
}
}
}

```

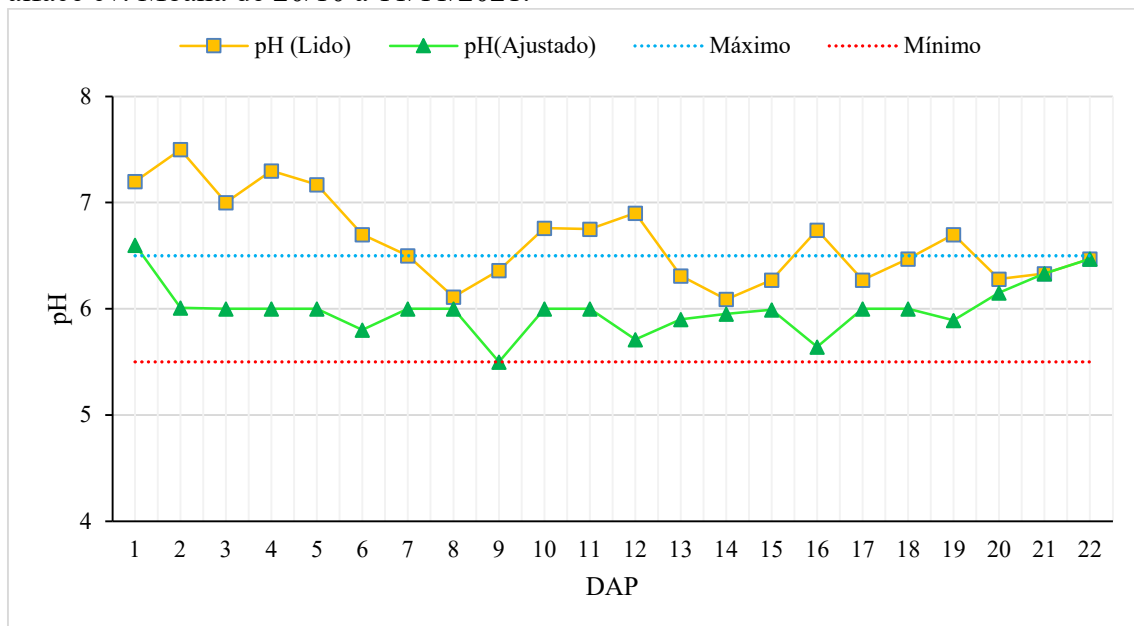
APÊNDICE C - Variação da temperatura (°C) e umidade do ar (%) coletadas com sensor DHT11 durante a produção das mudas cv. Moana de 15/10 a 11/11/2021.



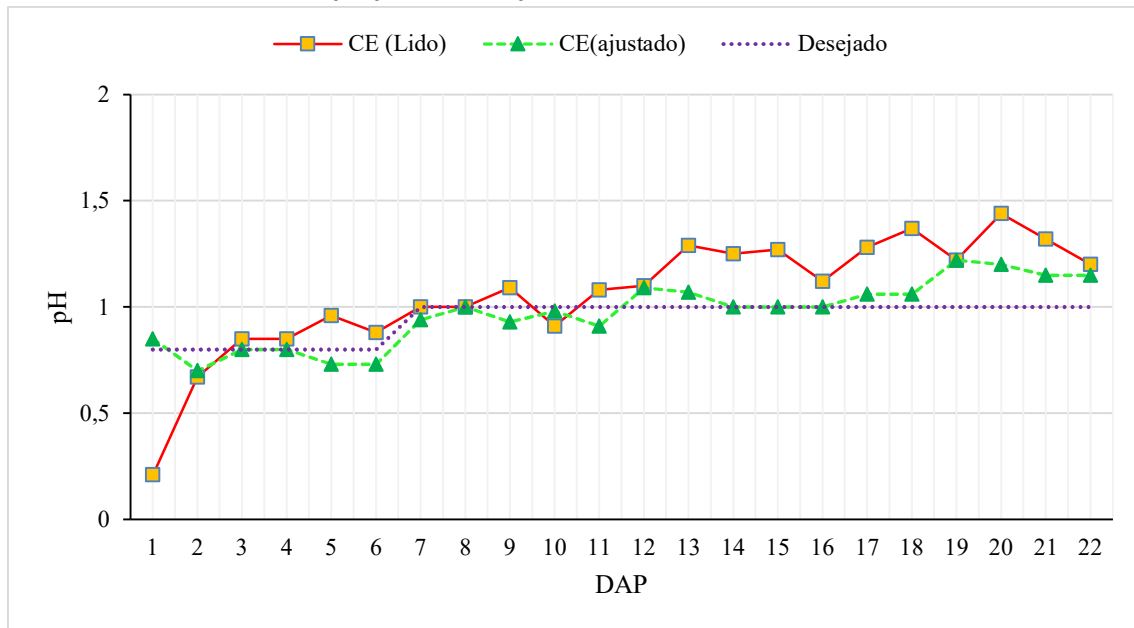
APÊNDICE D - Variação da temperatura da solução nutritiva (°C) ao longo da produção de mudas de alface cv. Moana de 20/10 a 11/11/2021.



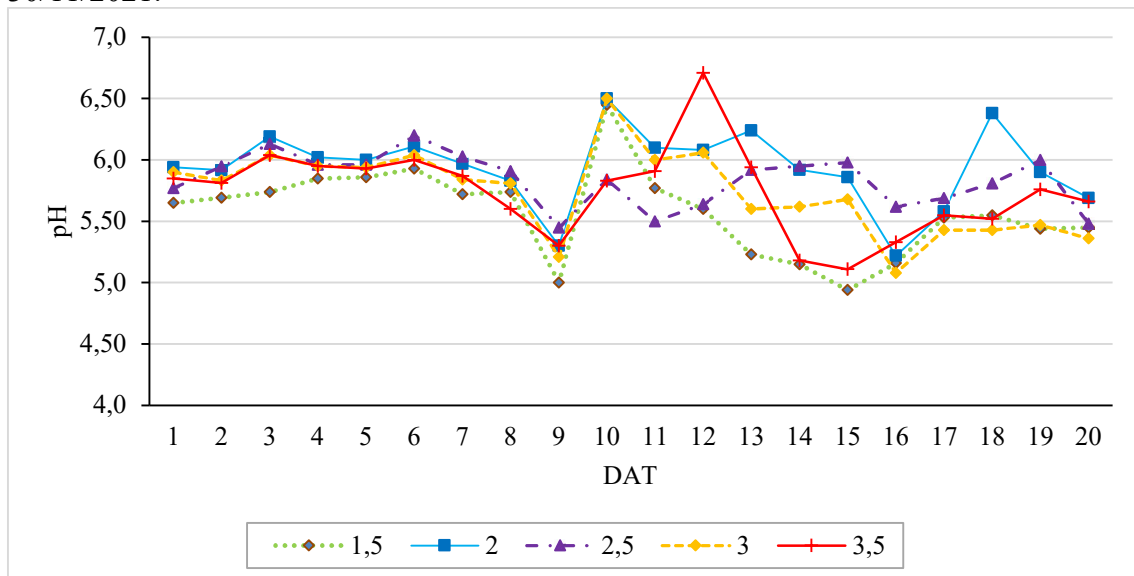
APÊNDICE E - Variação do pH(lido) e pH(ajustado) ao longo da produção de mudas alface cv. Moana de 20/10 a 11/11/2021.



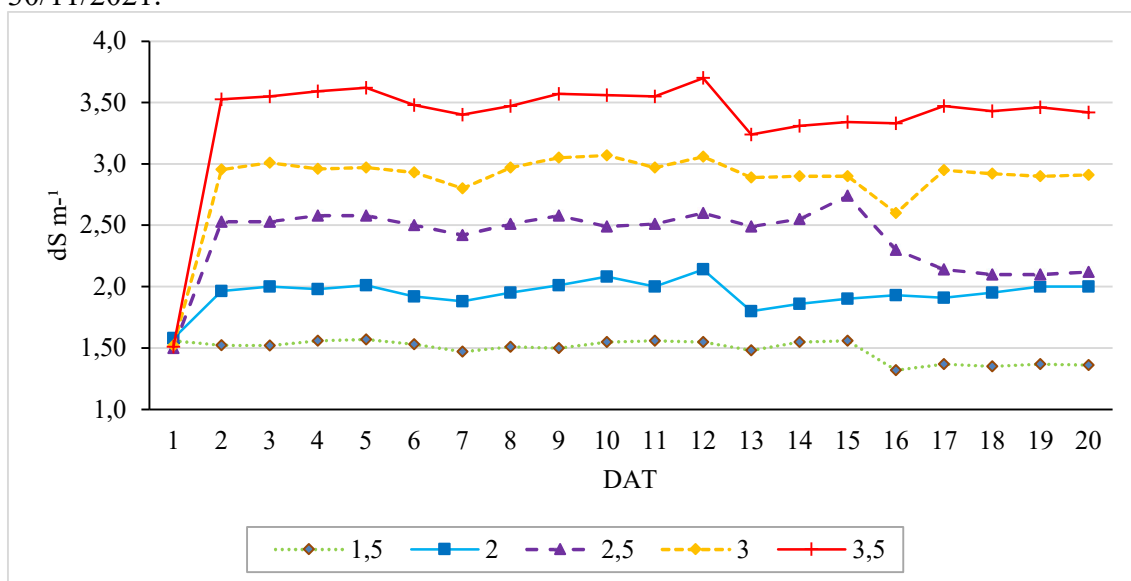
APÊNDICE F - Variação da CE (lida) e CE (ajustada) ao longo da produção de mudas de alface cv. Moana de 20/10 a 11/11/2021.



APÊNDICE G - Variação do pH na bancada NFT para os tratamentos do 11/10 a 30/11/2021.



APÊNDICE H - Variação da CE na bancada NFT para os tratamentos 11/10 a 30/11/2021.



APÊNDICE I - Variação da temperatura na solução nutritiva às 8:00h de 11/10 a 30/11/2021.

