



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS ARAGUATINS
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRONÔMICA

ALLEF PINTO TEIXEIRA

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS NFT EM CONDIÇÕES DE ALTA
TEMPERATURA NO CULTIVO HIDROPÔNICO DE ALFACE EM ARAGUATINS-TO**

ARAGUATINS - TO

2023

ALLEF PINTO TEIXEIRA

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS NFT EM CONDIÇÕES DE ALTA
TEMPERATURA NO CULTIVO HIDROPÔNICO DE ALFACE EM ARAGUATINS-TO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do curso Bacharelado em Engenharia Agrônoma do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, *Campus Araguatins*, como parte das exigências à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Agrônoma.

Orientador: Prof. Esp. Leandro José de Oliveira Boaventura

ARAGUATINS - TO

2023

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins**

T266a Teixeira, Allef Pinto
Análise da eficiência dos sistemas NFT em condições de alta temperatura no cultivo hidropônico de alface em Araguatins-TO / Allef Pinto Teixeira. – Araguatins, TO, 2023.
49 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Araguatins, Araguatins, TO, 2023.

Orientador: Esp. Leandro Jose de Oliveira Boaventura
Coorientadora: Dra. Roberta de Freitas Souza Lobo

1. Hidroponia. 2. Temperatura. 3. Torre de Resfriamento. I. Boaventura, Leandro Jose de Oliveira. II. Lobo, Roberta de Freitas Souza. III. Título.

CDD 630

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).



Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
Campus Araguatins
Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônômica

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS NFT EM CONDIÇÕES DE ALTA TEMPERATURA NO CULTIVO HIDROPÔNICO DA ALFACE EM ARAGUATINS-TO”

AUTOR: **Allef Pinto Teixeira**

ORIENTADOR: **Prof. Esp. Leandro José de Oliveira Boaventura**

COORDENADORA: **Prof.ª Dr.ª Roberta de Freitas Souza Lobo**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, *Campus Araguatins*, como parte das exigências para a conclusão do Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônômica.

Aprovado em 27 de novembro de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Leandro Jose de Oliveira Boaventura, Servidor**, em 27/11/2023, às 11:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Samuel de Deus da Silva, Servidor**, em 27/11/2023, às 11:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Roberta de Freitas Souza Lobo, Servidora**, em 27/11/2023, às 11:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ifto.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2182811** e o código CRC **559CA5DA**.

Aos meus pais, Marluce e Neurivaldo, à minha irmã Yasmin, à minha esposa Ivanna e ao meu filho Thomas, dedico este trabalho como retribuição aos momentos de amor, carinho e paciência que tiveram durante esse processo.

AGRADECIMENTOS

A Deus que em sua infinita bondade sempre esteve ao meu lado me dando forças e me aparando em todos os momentos.

À minha família: Meu Pai Neurivaldo de Sousa Teixeira, minha Mãe Marluce Pinto da Silva e minha Irmã Yasmin Pinto Teixeira, por todo carinho e cuidado, essências para minha graduação.

À minha esposa Ivanna Barbosa da Silva por todo apoio e companheirismo nessa jornada, pelo incentivo e toda dedicação sempre que precisei.

Ao meu filho amado Thomas Barbosa Teixeira, foi e sempre será o meu maior motivo de jamais desistir desta difícil graduação, sua vida renova as forças do meu coração.

Ao meu amigo Gabriel Borges, pelo acolhimento e por todos os momentos alegres, e por me conceder o local da de execução do meu experimento de TCC.

Ao meu orientador Prof. Esp. Leandro Jose de Oliveira Boaventura, por toda disposição exercida para a conclusão deste trabalho.

À coorientadora Prof.^a Dra. Roberta Freitas Souza Lobo por todo apoio durante minha graduação.

A todos que me ajudaram de alguma forma nessa caminhada da graduação, deixo aqui minha gratidão.

“Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo o propósito debaixo do céu.”

Eclesiastes 3:1

RESUMO

Este estudo avalia dois sistemas hidropônicos NFT (Nutrient Film Technique) para cultivar alface em condições climáticas adversas da temperatura do ar em Araguatins-To. Comparou-se um sistema convencional com cano PVC a um inovador com telha e torre de resfriamento para mitigar altas temperaturas, o foco é na produtividade e adaptação à condição de extrema de elevada temperatura do ar. O sistema NFT na Telha com Torre de Resfriamento mostra vantagens significativas, exibindo menor média de temperatura e resiliência a condições adversas, enquanto o sistema com cano PVC é vulnerável à propagação de fungos correlacionados a altas temperaturas da solução. Análises estatísticas confirmam a superioridade do NFT na Telha com Torre de Resfriamento em massa fresca e seca, diâmetro do caule, altura da planta e número de folhas. Destaca-se a importância da escolha do sistema hidropônico para aperfeiçoar a produtividade e sustentabilidade em regiões com condições climáticas extremas. Portanto, o NFT na Telha, beneficiado pela torre de resfriamento, é a alternativa mais eficaz, oferecendo uma percepção valiosa para a viabilidade econômica do cultivo em ambientes desfavoráveis.

Palavras-chave: Hidroponia. Temperatura. Torre de Resfriamento.

ABSTRACT

This study evaluates two NFT (Nutrient Film Technique) hydroponic systems to grow lettuce in adverse climatic conditions of air temperature in Araguatins-To. A conventional system with PVC pipe was compared to an innovative one with tiles and a cooling tower to mitigate high temperatures, the focus is on productivity and adaptation to extreme conditions of high air temperatures. The NFT system on Tile with Cooling Tower shows significant advantages, exhibiting lower average temperature and resilience to adverse conditions, while the system with PVC pipe is vulnerable to the spread of fungi correlated to high solution temperatures. Statistical analyzes confirm the superiority of NFT in Cooling Tower Tile in fresh and dry mass, stem diameter, plant height and number of leaves. The importance of choosing a hydroponic system to improve productivity and sustainability in regions with extreme climatic conditions is highlighted. Therefore, NFT on Tile, benefiting from the cooling tower, is the most effective alternative, offering valuable insight into the economic viability of cultivation in unfavorable environments.

Keywords: Hydroponics. Temperature. Cooling Tower.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Funcionamento da torre de resfriamento	24
Figura 2 – Construção das bancadas.....	27
Figura 3 – Fase intermediária e final dos sistemas	27
Figura 4 – Torre de resfriamento.....	28
Figura 5 – Kit solução nutritiva	30
Figura 6 – Plantio, germinação e berçário.....	31
Figura 7 – Finalização da fase berçário	32
Figura 8 – Finalização da fase intermediária.....	33
Figura 9 – Fim da fase final.....	34
Figura 10 – Plantas desidratadas.....	38
Figura 11 – Raiz com Pythium	39
Figura 12 – Raiz saudável.....	39

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Temperatura do mês de setembro de 2023.....	25
Gráfico 2 - Temperatura do mês de outubro de 2023.	26
Gráfico 3 - Média diária de Temperatura da solução nutritiva dos sistemas NFT PVC e Telha.	36
Gráfico 4 - Massa fresca da parte aérea.....	38
Gráfico 5 - massa seca da parte aérea	42
Gráfico 6 – Altura da planta.....	39
Gráfico 7 – Diâmetro do caule.....	43
Gráfico 8 - Número de folhas.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Custos por bancada.	29
Tabela 2 – Parâmetros da temperatura da solução nutritiva dos sistemas.	37
Tabela 3 - Parâmetros da massa das plantas avaliadas.	40
Tabela 4 – Parâmetros morfológicos avaliados nas plantas.	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1 Hidroponia e cultivo de alface em ambiente protegido	16
2.2 A Alface e os fatores que influenciam seu desenvolvimento na hidroponia	19
2.3 Resfriamento da solução nutritiva.....	21
2.4 Funcionamento da torre de resfriamento.....	23
3 MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 Área experimental.	25
3.2 Construção da estrutura.....	26
3.3 Torre de Resfriamento.	28
3.4 Tabela de custo entre as bancadas dos sistemas.	29
3.5 Solução Nutritiva.....	30
3.6 Germinação e Berçário.	31
3.7 Fase Intermediária e Final.	32
3.8 Características avaliadas.....	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5 CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS.....	46

1 INTRODUÇÃO

Agricultura é uma das atividades humanas mais essenciais e antigas, sendo à base da nossa sobrevivência e desenvolvimento ao longo da história. No entanto, com o crescimento da população global e a crescente demanda por alimentos, tornou-se imperativo encontrar soluções sustentáveis e eficientes para a produção agrícola. Nesse contexto, a hidroponia emerge como uma técnica inovadora e promissora que revoluciona a maneira como cultivamos plantas, oferecendo uma abordagem diferenciada e altamente eficiente para o cultivo de vegetais, frutas e ervas sem a necessidade de solo.

Esta técnica não apenas se destaca por sua eficiência, mas também por sua capacidade de economizar recursos hídricos, reduzir o uso de agroquímicos e permitir o cultivo de alimentos em áreas urbanas e locais com solos inadequados. O surgimento da hidroponia não pode ser desassociado da crescente necessidade de abordagens agrícolas inovadoras, que foi amplamente impulsionada pela chamada "Revolução Verde" no século XX (Embrapa, 2018).

A Revolução Verde, que teve início nas décadas de 1940 a 1950 trouxe melhorias significativas na produtividade agrícola através do uso intensivo de fertilizantes químicos, pesticidas e variedades de culturas de alto rendimento. No entanto, também gerou preocupações ambientais e de saúde devido ao uso excessivo de agroquímicos, ao desgaste do solo e ao consumo desenfreado de água. Assim, a necessidade de encontrar métodos de cultivo mais sustentáveis e eficazes se tornou uma prioridade global.

Esse método de cultivo ainda é pouco comum no município de Araguatins – TO, que se localiza no extremo norte do Tocantins, pelo qual o clima predominante é tropical, onde as duas estações dominantes (estação de seca e chuva) são bem características, respectivamente, uma é muito seca e outra muito molhada, e isso acaba dificultando muito a produção de hortaliças na região, e a hidroponia sendo um cultivo protegido acaba deixando essa produção mais constante, independente da época do ano e totalmente livre do contato com o solo, semelhante aos princípios da economia circular que prevê uma melhor utilização dos recursos ambientais e econômicos, incluindo dessa maneira uma abordagem agroecológica.

Neste estudo, busca-se avaliar o desempenho mais favorável entre dois sistemas hidropônicos NFT, um construído com material de cano PVC e outro utilizando telha de fibrocimento em conjunto com a técnica de torre de resfriamento. A análise estará focalizada na produtividade e na capacidade de adaptação às condições climáticas da região do extremo norte do Tocantins.

Com o objetivo de comparar a viabilidade desses sistemas, especialmente em relação às altas temperaturas enfrentadas pelos produtores locais, com o propósito de fornecer clareza e recomendações para aperfeiçoar a escolha de sistemas hidropônicos nesse contexto específico.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Hidroponia e cultivo de alface em ambiente protegido

Para compreender os conceitos básicos da hidroponia e seus sistemas de cultivo, é essencial entender que ela é uma técnica de cultivo de plantas que dispensa a necessidade de solo. Sua origem etimológica pode ser rastreada até a convergência das palavras gregas "*hydro*" (água) e "*ponos*" (trabalho), aludindo, desse modo, a prática laboriosa em um ambiente aquoso. Apesar de sua antiguidade como uma técnica de cultivo, o termo "hidroponia" foi cunhado pela primeira vez em 1930, sendo creditado ao Dr. W. F. Gerike, consagrado como um dos precursores notáveis desse método inovador (Ghiraldini, 2014).

Conforme (Abrantes & Seixas filho, 2006), a hidroponia é caracterizada por uma técnica na qual a cultura cultivada se desenvolve, sendo sustentada por perfis. Estes perfis, por meio de um sistema de motobomba, fornecem uma solução nutritiva às raízes, atendendo as necessidades da planta. Esse sistema de fornecimento de nutrientes é fundamental para o desenvolvimento saudável das plantas cultivadas nesse método. Nesta perspectiva, compreende-se por uma técnica que possibilita produzir em níveis verticais, potencializando a eficiência da produção por metro quadrado, e sendo superior ao cultivo no solo.

Há diversos sistemas de cultivos hidropônicos no Brasil, como:

- Sistema NFT (Nutrient Film Technique) ou técnica de nutrientes em filme: Amplamente utilizado no país, esse sistema, como observado por (Beling, 2011), consiste em uma película fina de solução nutritiva que flui intercaladamente sobre as raízes das plantas. É especialmente eficaz no cultivo de hortaliças de folhas, como a alface.
- Sistema de Cultivo em Substrato: Este método envolve o cultivo das plantas em substratos inertes, como fibra de coco ou perlita (Cardoso *et al.*, 2017).
- Sistema de Cultivo em Espuma de Poliestireno Expandido (EPS): O sistema de EPS é também bastante adotado no Brasil para o cultivo de hortaliças, principalmente alface. (Lima *et al.*, 2019) informa que esse sistema é conhecido pela sua eficiência e baixo custo.
- Sistema de Gotejamento: Esse sistema entrega água e nutrientes diretamente às raízes das plantas por meio de tubos de irrigação (Camargo *et al.*, 2015).

A hidroponia, por ser um sistema fechado, inicia com a solução nutritiva disposta em um tanque onde é sugada por meio de uma bomba centrífuga que a direciona para os canais de cultivo, ao translocar por todas as raízes a solução retornará ao tanque por gravidade, repetindo o ciclo (Abrantes & Filho, 2001).

Dessa maneira, a solução nutritiva é considerada um dos componentes mais delicados da hidroponia, onde manejada de forma incorreta ocorrerá a perda de produtividade, isso devido à capacidade das plantas de absorver nutrientes que está intimamente ligada à sua quantidade próximo das raízes. Essa absorção, por sua vez, é sensivelmente afetada por variáveis do ambiente, como a concentração de sais, níveis de oxigênio, temperatura, nível de acidez da solução nutritiva, intensidade da luz, período de exposição à luz e as condições climáticas (Furlani *et al.*, 2009).

Esse processo da absorção de nutrientes é detalhado por (Douglas, 1987) aduzindo que “os sais minerais são absorvidos, juntamente com a água, por meio de finíssimos e microscópicos pelos localizados nas raízes das plantas. Essa absorção é feita com a participação de uma força conhecida como osmose”.

Nesse contexto, o sistema NFT (técnica do fluxo laminar de nutrientes) é a mais difundida mundialmente, desenvolvida pelo inglês Allen Cooper em 1965. Essa técnica se desdobra em três modalidades distintas: tubo plástico PVC, calha plástica e telha de fibrocimento, onde estes fornecem apoio para a subirrigação da solução nutritiva (Abrantes & Filho, 2001).

O processo NFT compreende as seguintes partes principais: tanque de alimentação, bomba centrífuga, bancada e a estufa. Além destas, existem outras tais como: Temporizador (Timer), medidor de Condutividade Elétrica (CE) ou Condutivímetro e medidor de acidez ou de pH ou Peagâmetro (Abrantes & Filho, 2001).

Dentro do cenário brasileiro, o avanço da hidroponia comercial é atribuído à proeza visionária dos japoneses Shigeru Ueda e Takanori Sekine, que importaram essa técnica do Japão durante a década de 1980, introduzindo-a primeiramente no Estado de São Paulo. No final da década de 1990, a hidroponia abrangia cerca de 12 mil hectares em todo o mundo, resultando em uma produção total de aproximadamente 3 milhões de toneladas, com foco principal no cultivo de hortaliças (Plataforma, 2023).

O incremento no consumo de hortaliças de variedades distintas está em ascensão no Brasil, sendo este impulsionado, sobretudo, pelo aumento da renda familiar, pela crescente busca por práticas alimentares mais saudáveis e pelas alterações observadas nos padrões de hábitos alimentares da população, que incluem a procura por produtos de qualidade superior e com características únicas (Mello & Campagnol, 2016).

O grande impulsionamento desta técnica no país se deve à diminuição na administração da produção e no uso de produtos fitossanitários, que ocorre de forma menos intensiva e mais regulamentada nesse sistema. Além disso, a produção durante os períodos de entressafra se torna possível, resultando em uma oferta mais uniforme, maior qualidade dos produtos e preços mais atrativos.

De acordo com (Abrantes & Filho, 2001), o cultivo de alface por meio da técnica hidropônica traz consigo uma série de benefícios e obstáculos que desempenham um papel crucial na compreensão dessa prática em relação ao método convencional de plantio no solo. A eficácia na distribuição equilibrada de nutrientes e o cultivo protegido resultam em níveis de produtividade ampliados, principalmente pela redução do tempo necessário para a produção e pela minimização da exposição a infestações de pragas e enfermidades. Como resultado, obtemos produtos mais saudáveis e reduzimos tanto a contaminação do ambiente quanto o risco para os indivíduos que trabalham nesse contexto.

As vantagens presentes no cultivo hidropônico são: Uso Eficiente de Água – a hidroponia permite economizar água, um recurso valioso, pois a água é recirculada no sistema. Conforme (Menezes *et al.*, 2017), a hidroponia possibilita uma economia de água de até 90% em comparação com a agricultura tradicional. Crescimento mais rápido - segundo (Novotny *et al.*, 2019), a alface cultivada em sistemas hidropônicos atinge a maturidade em menos tempo. O controle preciso dos nutrientes e do ambiente de cultivo na hidroponia resulta em um crescimento mais rápido das plantas. Menos uso de pesticidas - a produção hidropônica de alface é menos suscetível a pragas e doenças, o que reduz o uso de agroquímicos (Carneiro *et al.*, 2017)

Além das vantagens, há desafios presentes no cultivo hidropônico. O custo inicial elevado - como aduz (Silva, 2018), o custo inicial para estabelecer um sistema hidropônico é um dos principais desafios para os produtores em infraestrutura e

equipamentos. Manutenção da qualidade da água - é crucial manter a qualidade da água e da solução nutritiva para o sucesso do cultivo hidropônico (Siqueira *et al.*, 2019). Necessidade de conhecimento técnico - a gestão adequada da solução nutritiva e das condições ambientais requer conhecimento técnico específico. Conforme (Gomes *et al.*, 2018), a capacitação técnica é essencial para enfrentar os desafios da hidroponia.

Portanto, todos os aspectos mencionados destacam a complexidade inerente ao cultivo hidropônico de alface, ressaltando a necessidade de estratégias técnicas e econômicas apropriadas para alcançar êxito nesse ramo.

2.2 A Alface e os fatores que influenciam seu desenvolvimento na hidroponia

A alface, conhecida cientificamente como *Lactuca sativa* L., é uma hortaliça de folhagem delicada e sensível às condições atmosféricas, incluindo variações de temperatura, níveis de luz e concentração de dióxido de carbono. Pertencente à família botânica Asteraceae, a alface é originária da região mediterrânea (Maldonado *et al.*, 2014)

A introdução e adaptação da alface ao clima tropical brasileiro têm raízes na colonização portuguesa. Inicialmente, a alface era cultivada em regiões de clima mais ameno, como o sul do Brasil e áreas serranas, devido à sua sensibilidade às condições climáticas tropicais. Esse processo gradual de adaptação e expansão da cultura da alface no Brasil envolveu pesquisas e avanços na agricultura.

Conforme ressaltado por (Maldonado *et al.*, 2014), ao longo do tempo, foram realizados estudos e esforços para desenvolver variedades de alface mais resistentes ao calor e à umidade característicos do clima tropical brasileiro. Esses esforços culminaram no desenvolvimento de variedades mais adaptadas, permitindo que a alface fosse cultivada em todo o país, inclusive em regiões de clima mais quente. Hoje, o Brasil é um dos principais produtores de alface no mundo, com uma ampla variedade de tipos e cores, incluindo desde as folhas soltas até as variedades de cabeça.

De acordo com (Silva *et al.*, 2022), a alface é a principal hortaliça folhosa cultivada no Brasil, destaca-se não apenas em volume de produção, mas também em valor comercializado. Com uma notável aceitação por parte dos consumidores, essa planta anual, originária de climas temperados, conquistou um lugar de

destaque nos hábitos alimentares brasileiros, refletindo a sua versatilidade e apelo nutricional.

Para o cultivo da alface hidropônico há diversos fatores que influenciam seu desenvolvimento como, a água e nutrientes, que desempenham um papel fundamental, onde a água é o substrato no qual as raízes das plantas se desenvolvem, e os nutrientes necessários para o crescimento são fornecidos por meio de uma solução nutritiva (Dutra *et al.*, 2012). A luminosidade, que é outro fator crítico para o desenvolvimento da alface na hidroponia, é uma planta de dias curtos, e a luminosidade desempenha um papel relevante na determinação do tamanho e da qualidade das folhas (Silva *et al.*, 2016). A temperatura exerce influência sobre o desenvolvimento da alface. De acordo com (Santos *et al.*, 2015) a alface é uma cultura sensível à temperatura, e condições térmicas inadequadas podem afetar negativamente o crescimento e sua qualidade. Portanto, a manutenção de condições de temperatura adequadas é crucial. Segundo (Pereira *et al.*, 2019), os ambientes protegidos, como estufas, permitem o controle preciso das condições ambientais, incluindo temperatura, umidade e luminosidade, o que pode resultar em maior produtividade e qualidade da alface. Portanto, o fornecimento adequado de cada fator acima citado é essencial para o desenvolvimento saudável da alface.

As necessidades nutricionais da alface variam durante seu ciclo de crescimento, passando por diferentes estágios que requerem diferentes nutrientes em quantidades específicas. Durante o ciclo de crescimento da alface, as necessidades nutricionais variam em três principais fases. Na fase de germinação e estabelecimento, a alface é particularmente sensível à deficiência de fósforo, essencial para o desenvolvimento radicular e o crescimento inicial (Malavolta *et al.*, 1997), na fase de crescimento vegetativo, de acordo com (Abreu *et al.*, 2008), a prioridade está no desenvolvimento das folhas, tornando o nitrogênio crucial para o crescimento foliar e o potássio para a turgidez das folhas. Por fim, na fase de formação de cabeça, especialmente em variedades como a alface *iceberg*, é aconselhável reduzir a oferta de nitrogênio para evitar o excesso de folhas soltas e promover o desenvolvimento da cabeça (Malavolta *et al.*, 1997), além disso, micronutrientes como ferro, manganês e zinco desempenham papéis essenciais no metabolismo da alface ao longo de todo o ciclo de crescimento, sendo fundamentais para garantir o desenvolvimento e a qualidade da planta.

A temperatura desempenha um papel crítico no crescimento da alface, de acordo com (Douglas, 1987, p.49) “para as espécies tropicais a faixa ideal está entre 24 e 32°C”. Temperaturas extremamente altas ou baixas podem inibir o crescimento da alface e afetar a qualidade do produto final, levando a sabores amargos e texturas indesejadas (Silva *et al.*, 2015). Além disso, a alface é sensível ao estresse térmico, resultando em danos às células e no crescimento prejudicado em condições extremas.

Altas temperaturas afetam negativamente as plantas em sistemas hidropônicos, pois causam estresse térmico, levando a uma diminuição no crescimento e na produção (Melo *et al.*, 2018). Conseqüentemente temos plantas menores e menos produtivas, pois afeta a absorção de nutrientes das plantas, levando-as a desequilíbrios nutricionais que comprometem sua saúde e vitalidade (Santos *et al.*, 2020).

Variedades de alface podem exibir níveis variados de tolerância a temperaturas extremas, sendo importante selecionar as mais adequadas para as condições específicas de cultivo.

2.3 Resfriamento da solução nutritiva

O controle da temperatura da solução nutritiva é de extrema importância no cultivo hidropônico, pois exerce um impacto direto no desenvolvimento e saúde das plantas. Em regiões de clima tropical, como o Brasil, o cultivo hidropônico requer um controle rigoroso da temperatura e da umidade, especialmente durante os períodos mais quentes do dia. A falta desse controle pode ter impactos significativos no sistema, conforme evidenciado por (Marques, 2018), que, por meio da análise de dados de temperatura ao longo do tempo, observou que a solução nutritiva, quando liberada durante os momentos de alta temperatura, tende a retornar mais quente para o reservatório devido à troca de calor com outras partes do sistema e com o ar ambiente.

Nestes horários críticos, o conjunto do sistema gradualmente adquire uma temperatura mais elevada, o que pode resultar em um desenvolvimento prejudicado das plantas e, em alguns casos, distúrbios fisiológicos, como destacado por (Cometti *et al.*, 2008). Eles descreveram que os distúrbios fisiológicos nas plantas, notadamente o "*tipburn*," que se manifesta na queima das bordas das folhas, são

problemas preocupantes que podem levar à redução da produtividade e ao murchamento excessivo durante as horas mais quentes do dia.

A temperatura da solução nutritiva desempenha um papel fundamental no cultivo hidropônico por meio da absorção de nutrientes. Segundo (Melo *et al.*, 2018), a temperatura afeta diretamente a capacidade das raízes das plantas de absorver nutrientes. Temperaturas adequadas aperfeiçoam a absorção de minerais essenciais para o crescimento. Altas temperaturas da solução nutritiva podem resultar em estresse térmico nas plantas, prejudicando seu desenvolvimento. O uso de técnicas para a redução do estresse térmico é indispensável para regiões de climas tropicais (Santos *et al.*, 2020).

Todavia, há métodos na hidroponia utilizados para resfriar a solução nutritiva como, sistemas de neblina, onde a evaporação da água reduz a temperatura, criando um microclima mais favorável (Carmargo *et al.*, 2016). E a utilização de trocadores de calor, empregados para transferir o calor da solução nutritiva para uma fonte de resfriamento, como água fria ou um sistema de resfriamento (Pinto *et al.*, 2014). Além disso, a exposição a temperaturas extremas pode levar ao estresse térmico nas plantas, prejudicando significativamente seu crescimento e desenvolvimento (Santos *et al.*, 2020).

Em adição, a influência da temperatura também pode ocasionar no crescimento *micelial de Pythium* que varia de acordo com a espécie. Estudos mostraram que a faixa de temperatura ótima para o crescimento *micelial de Pythium* helicoides é de 24 a 37°C, enquanto para as espécies de *Pythium* pertencentes aos grupos F e T, a faixa ótima é de 21 a 30°C, com exceção do grupo F4, que tem ótimo de temperatura entre 25 e 35°C. Foi observado que o isolado de *Pythium dissotocum* cresce mais rápido em temperaturas entre 27 e 35°C, enquanto o isolado de *Pythium middletonii* tem crescimento ideal entre 23 e 30°C. No entanto, acima de 35°C, o crescimento de *P. middletonii* é inibido e acima de 40°C, o crescimento de *P. dissotocum* é inibido (Baptista *et al.*, 2011).

O controle de *Pythium* em cultivos hidropônicos pode incluir o uso de produtos químicos, como fungicidas, que podem ser aplicados no meio de cultura para controlar o patógeno. Todavia, o uso de produtos biológicos, como microrganismos antagonistas, também pode ser eficaz no controle de *Pythium*. Outra abordagem é o manejo adequado do sistema hidropônico, incluindo a manutenção da qualidade da

água, a limpeza regular do sistema e a utilização de substratos estéreis (Furlani, 1999). Além disso, a escolha de cultivares das alfaces mais resistentes a *Pythium* também pode ajudar a reduzir a incidência da doença. É importante ressaltar que a combinação de diferentes métodos de controle pode ser mais eficaz do que a utilização de um único método.

Por conseguinte, o controle da temperatura é vital no combate a patógenos, como *Pythium*, cujo crescimento é sensível às variações de temperatura. Estratégias de manejo adequado, como o uso de produtos químicos e biológicos, a manutenção da qualidade da água e a escolha de cultivares resistentes, desempenham um papel importante na prevenção de doenças.

Os pesquisadores Stanghellini & Kronland destacaram a influência da temperatura na patogenicidade de *P. dissotocum* à alface em condições de hidroponia, evidenciando reduções significativas na produção, com uma queda de 35-54% à 18°C à 28°C.

Nessa perspectiva, a gestão eficaz da temperatura da solução nutritiva é essencial para o sucesso do cultivo hidropônico em climas tropicais. A combinação de métodos de resfriamento, controle de patógenos e técnicas de cultivo adequadas garantem uma produção de alimentos saudáveis e de alta qualidade por meio da hidroponia.

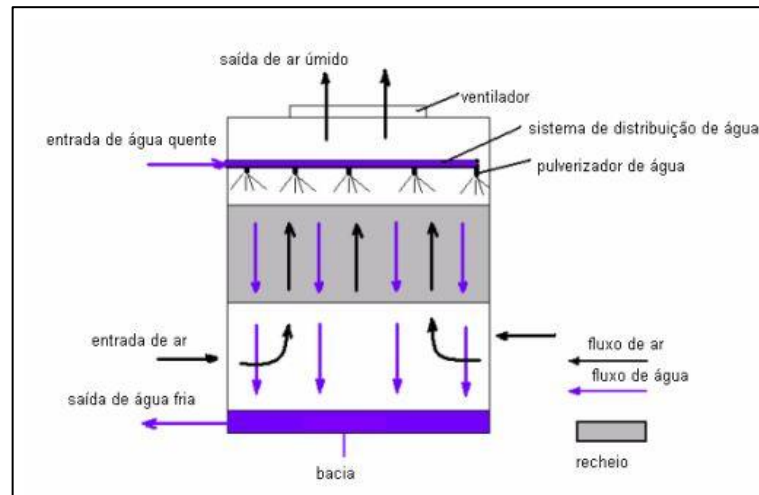
2.4 Funcionamento da torre de resfriamento.

A torre de resfriamento é um dispositivo habitual em instalações industriais nos setores químico e petroquímico. Seu funcionamento implica a simultânea transferência de calor e massa, prevenindo assim o desperdício de água.

Na análise dos atributos da torre, são contemplados fatores como a carga térmica a ser dissipada no processo, a taxa de circulação de água, a disparidade de temperaturas entre a entrada e a saída da torre, designada como "*range*", e a diferença entre a temperatura da água ao deixar a torre e a temperatura de bulbo úmido do ar ambiente, conhecida como "*approach*" (Green; Perry, 2008).

O funcionamento da torre de resfriamento é exemplificado na figura 1.

Figura 1 – Funcionamento da torre de resfriamento



Fonte: Mello (2008)

A transferência de calor realizada por torres de resfriamento é fundamentada na exposição da superfície da água destinada ao resfriamento ao ar não saturado. Esse processo viabiliza a troca simultânea de calor e massa entre as duas partes. Em condições adequadas, a maior parte do calor trocado durante a operação é, principalmente, latente, indicando que cerca de 80% da troca térmica decorre da evaporação de uma pequena porção de água. Apenas 20% estão relacionados ao calor sensível, influenciado pela diferença de temperatura entre o ar e a água (Cheremisinoff; Cheremisinoff, 1981).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área experimental

O Experimento foi conduzido na cidade de Araguatins – TO, com coordenadas de localização aproximadas de latitude 5°38'49"S e longitude 48°06'25"W. O Tocantins possui um clima tropical com verões úmidos e invernos secos, de acordo com a classificação de Köppen, janeiro é o mês mais chuvoso, enquanto agosto é o mais seco, com uma média anual de precipitação variando de 1.500 a 2.100 mm. Esse clima é caracterizado por essas duas estações bem definidas, uma seca e outra chuvosa temperatura média em torno de 28,5 °C e altitude de 103,7 m (Silva júnior, 2016).

Cabe ressaltar que o experimento foi concebido no intervalo de tempo compreendido entre os meses de agosto a outubro. Neste período, englobou-se desde as etapas iniciais de preparo do local até a conclusão da produção e coleta de dados.

Durante os meses de setembro ocorreu uma onda de calor intensa em todas as regiões do Brasil. O INMET sobre o aumento das temperaturas máximas em diversas regiões do Brasil entre terça-feira (19/09) e o próximo domingo (24/09). Destacam-se as áreas do sul da Região Norte, bem como as Regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul (Inep, 2023). A média da temperatura da cidade durante o período de coleta da temperatura é ilustrada nos gráficos 1 e 2.

Gráfico 1 – Temperatura do mês de setembro de 2023

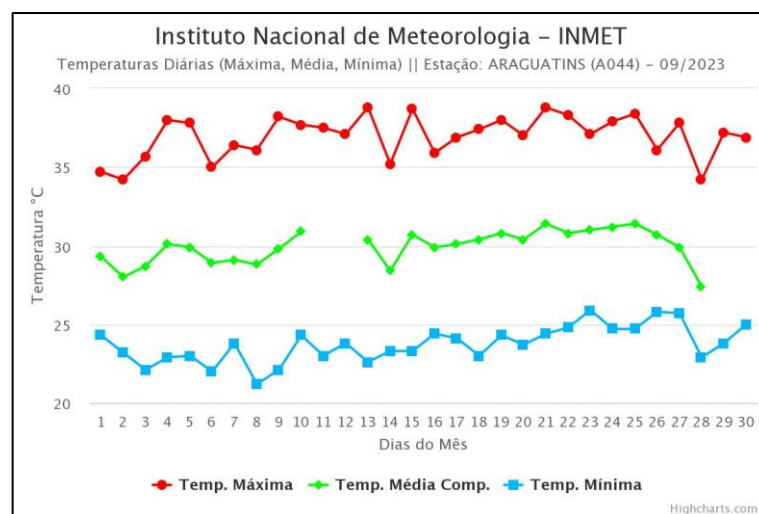
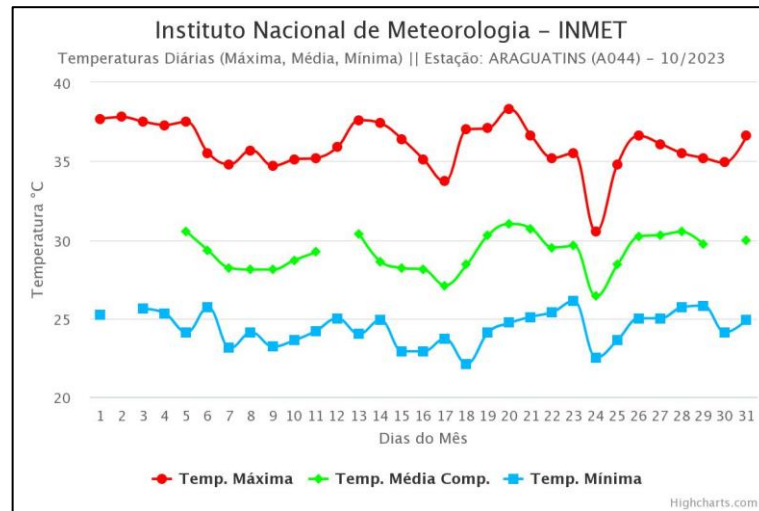


Gráfico 2 – Temperatura do mês de outubro de 2023

3.2 Construção da estrutura

A área experimental, com dimensões de 9 x 8 metros, passou por um processo de preparação que incluiu a remoção de plantas daninhas e objetos indesejados por meio de capina. Em seguida, o foco se voltou para a montagem das bancadas, que foram configuradas em dois sistemas: o NFT com canos de PVC e o NFT com telhas de fibrocimento.

Para a construção do NFT com canos de PVC, foram empregados quatro canos de 75 mm, cada um com 5 metros de comprimento, e dois canos de 50 mm também com 5 metros de comprimento. Já no sistema NFT com telha de fibrocimento, foram utilizadas duas telhas com dimensões de 2,44 x 1,10 metros e uma telha de 2,44 x 0,50 metros. Utilizaram-se dois reservatórios de água com capacidade para 250 litros, onde foram alocados para armazenar a solução nutritiva. Esse processo de preparação e configuração das bancadas foi crucial para o andamento do experimento. Processo descrito é ilustrado na figura 2.

Figura 2 – Construção das bancadas

Fonte: Autor (2023)

Por outro lado, na bancada construída com telhas, e uma lona de silagem foi aplicada para auxiliar a sustentação das plantas, e evitar a proliferação de algas e ajudar na refração dos raios solares.

Usando um gabarito, foram precisamente criados os orifícios de suporte para as plantas, mantendo as dimensões observadas na outra bancada, assegurando, assim, uniformidade no experimento. Os processos são exibidos na figura 3.

Figura 3 – Fase intermediária e final dos sistemas

Fonte: Autor (2023)

Ao longo do experimento, os perfis feitos de cano PVC foram habilmente moldados com a utilização de uma serra copo e discos de 50 mm e 75 mm de diâmetro. Esses perfis foram dispostos em um arranjo com um espaçamento de 20x20cm entre as plantas e as fileiras, proporcionando uma organização eficaz.

3.3 Torre de Resfriamento

A torre de resfriamento foi desenvolvida com o propósito específico de reduzir a temperatura da solução nutritiva. Este dispositivo é constituído por um sistema de motobomba de ½ CV alojado no reservatório da solução. Através desse sistema, a solução é direcionada por uma mangueira de polietileno ½ polegada para um conjunto de dois chuveiros que são posicionados a uma altura de 2,5 metros, direcionando a solução novamente para o reservatório.

À medida que a solução nutritiva cai, as partículas de água entram em contato com o ar atmosférico, desencadeando assim um processo de resfriamento e oxigenação. Adicionalmente, um segundo sistema de bombeamento é empregado para a alimentação das plantas na bancada composta por telhas de fibrocimento.

Os equipamentos para a sua construção foram: uma motobomba de ½, mangueira preta de 20 mm, dois chuveiros, sombrite para que não haja dispersão da solução para fora da caixa, e lona com o mesmo intuito anterior. A figura 4 ilustra a torre de resfriamento.

Figura 4 – Torre de resfriamento



Fonte: Autor (2023)

Para que não houvesse a dispersão da solução pelo vento na saída do chuveiro, foram desenvolvidos três cilindros feitos por mangueira de polietileno e sombrite, e criou-se uma saia com a lona de silagem ao redor da caixa d'água para evitar o salpicamento das gotas de água.

3.4 Tabela de custo entre as bancadas dos sistemas

Na tabela 1, realizou-se uma análise comparativa dos custos brutos das bancadas de cada sistema, considerando os equipamentos específicos de cada bancada. Cabe ressaltar que o quadro não abrange todos os materiais utilizados no experimento, pois seu propósito principal é destacar os valores relacionados à construção das bancadas de cada sistema em avaliação.

Tabela 1 – Custos por bancada

Descrição detalhada				
Item	Bancada NFT CANO PVC	Quantidade	Valor Un. R\$	Valor Total
1	Barra de cano de 6m 75 mm	4	120	480
2	Barra de cano de 6m 50 mm	2	62	124
3	Barra de cano de 6m 20 mm	1	14,58	14,58
4	Joelho de 50 mm	5	3,33	16,65
5	Joelho de 75 mm	4	7,5	30
7	tap de 50 mm	2	4,5	9
8	Registro de 25 mm	2	8,96	17,92
9	Mangueira preta 1m	6	1,35	8,1
10	Bomba salo 1000L/H	1	78,9	78,9
11	Cap de 75 mm	4	6,84	27,36
12	Cap de 100 mm	2	9,5	19
			TOTAL	825,51
Item	Bancada NFT na telha	Quantidade	Valor Un. R\$	Valor Total
1	Telha 2,44 x 1,10	2	76,5	153
2	Telha 2,44 x 0,50	1	24	24
3	Lona de Silagem 8 x 1 m	2	20	40
4	Barra de cano de 6m 20mm	1	14,58	14,58
5	Barra de cano de 6m 100 mm	1	14,22	14,22
6	Bomba salo 1000L/H	1	78,9	78,9
7	Registro de 25 mm	2	8,96	17,92
8	Chuveiro	2	6,96	13,92
9	Mangueira preta 1m	12	1,35	16,2
10	Bomba Sapo inove 900	1	250	250

11	TOTAL	622,74
----	--------------	---------------

Fonte: Autor (2023)

3.5 Solução Nutritiva

No gerenciamento da solução nutritiva, foram empregados instrumentos de alta precisão, incluindo uma balança para assegurar a exatidão das medições. Na figura 5 tem o kit de nutriente (PLANTPAR) um produto comercial, especialmente formulado com nutrientes para folhosas na quantidade adequada para preparar 1000 litros de solução. Além disso, dispositivos de medição de pH e condutividade elétrica (CE) foram empregados para monitorar e ajustar as propriedades da solução. A fim de regular o pH, foram empregados ácido fosfórico a 85% e bicarbonato de sódio. Preparou-se uma solução com 8 ml do ácido e diluído em 2L de água, que por meio de 200 ml desta solução é feito a redução do pH.

Figura 5 – Kit solução nutritiva



Fonte: Autor (2023)

3.6 Germinação e Berçário

A variedade comprada foi a Jade da (Sakata) que é caracterizada por plantas grandes e volumosas, de formato 'bolinha', folhas largas que exibem uma coloração verde brilhante e alta crespicidade, essas hortaliças oferecem uma alta uniformidade de colheita. O ciclo médio total para o cultivo dessa variedade é de 52 dias.

Desse modo, as plantas são colocadas em espumas fenólicas e molhadas e guardadas em um local escuro por 48h para que haja a quebra de dormência e a germinação. Foram plantadas 252 plantas, e foi aferida a temperatura três vezes ao dia desde o berçário até a fase final.

Em seguida, depois de germinadas ficaram por 14 dias no berçário até a fase intermediária. Todo o processo é apresentado na figura 6.

Figura 6 – Plantio, germinação e berçário



Fonte: Autor (2023)

Após as plantas de alface finalizar a etapa do berçário, onde receberam tratamento idêntico, dentre eles solução balanceada, correção de pH e temperatura uniforme e o mesmo tempo de fluxo laminar.

Pode-se observar na figura 7, o desenvolvimento da planta na transferência para a fase intermediária uniformidade da parte aérea e as raízes.

Figura 7 – Finalização da fase berçário



Fonte: Autor (2023)

3.7 Fases Intermediária e Final

Posteriormente, as plantas foram transferidas para bancadas intermediárias figura 8. Nesse momento, metade das plantas foi alocada em uma bancada de fibrocimento, equipada com um sistema de resfriamento na torre do reservatório de solução, enquanto a outra metade foi direcionada para o sistema NFT PVC com reservatório convencional.

A temperatura da solução em ambos os reservatórios foi monitorada durante 3 horários no dia: 8h, 12h30min e 17h para avaliar eventuais diferenças entre os dois sistemas.

Figura 8 – Finalização da fase intermediária.



Fonte: Autor (2023)

No decorrer da fase intermediária as alfaces do Sistema NFT PVC as 12h30min do dia sofriam muito com as altas temperaturas, desse modo, foi observado que até a fase final ocorreu a senescências de 8 plantas.

As plantas cultivadas nos sistemas transitaram da fase intermediária para a fase final, permanecendo nesta última etapa por um período de 14 dias. Ao final desse período, as plantas atingiram a fase de colheita (figura 9), completando assim o ciclo de desenvolvimento.

Figura 9 – Fim da fase final



Fonte: Autor (2023)

3.8 Características avaliadas

O término do experimento foi aos 42 dias após germinação, tendo em vista que todas as plantas apresentavam a mesma idade. Coletou-se 10 plantas aleatoriamente de cada sistema para análise estatística. A amostragem avaliada corresponde a 8% do total plantado, onde foram analisadas as seguintes variáveis:

- Massa fresca da parte aérea (MFA): foram pesadas com o uso de uma balança de precisão, sendo considerado o peso das folhas e caule.
- Massa seca da parte aérea (MSA), massa fresca da raiz (MFR) e massa seca da raiz (MSR): onde foram submetidas ao procedimento de secagem feito em estufa circulação forçada de ar a 65° por 48 horas até obtenção de massa constante. Optou-se por utilizar uma balança analítica, pois os valores após a secagem exigiram mais assertividade.
- Diâmetro do caule (DC): usou-se um paquímetro com medição em milímetros.

- Número de folhas (NF): foram contadas manualmente todas as folhas por unidade de alface.
- Altura da planta (AP): Foram aferidos com a utilização de uma régua métrica em cm.

Os dados da temperatura obtida diariamente dos sistemas NFT com cano PVC e NFT com telha e torre de resfriamento foram registrados em tabelas para o controle para uso nos dados estatístico.

Realizou-se o teste t para duas médias independentes para todas as variáveis a 5% de significância.

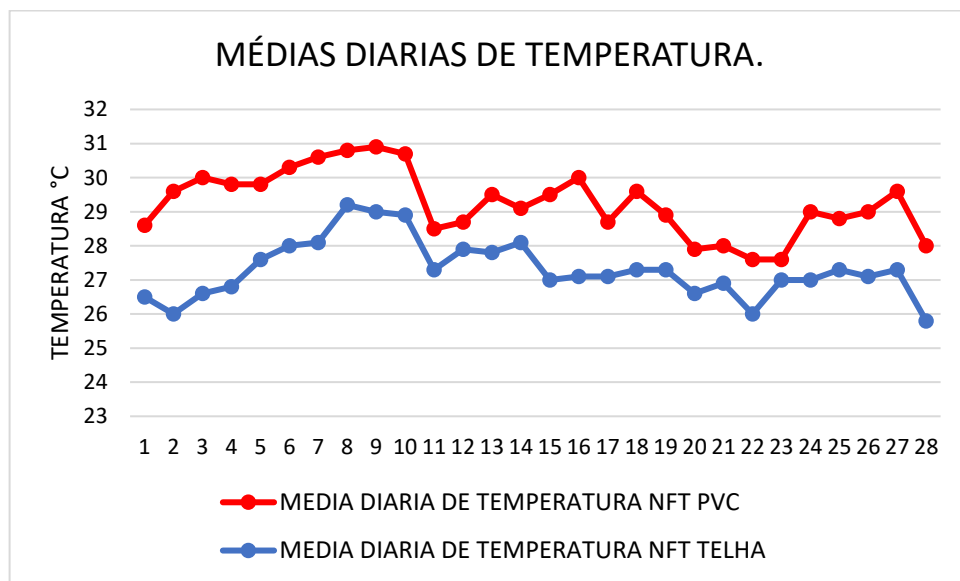
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Frente à análise da medição de temperatura da solução nutritiva, observou uma disparidade entre os sistemas empregados NFT com cano de PVC e NFT na telha com torre de resfriamento.

Os dados de temperatura referentes aos sistemas NFT foram obtidos em três períodos diários ao longo das fases intermediária e final do ciclo da cultura, totalizando 168 medições de temperatura ao longo de um período de 28 dias.

Diante desse contexto, a fim de simplificar a análise dos dados, optou-se pela obtenção de uma média diária. A discrepância entre os sistemas encontra-se no gráfico 3.

Gráfico 3 – Médias diárias de Temperatura da solução nutritiva dos sistemas NFT PVC e Telha



Fonte: Autor (2023)

O sistema NFT na telha associado uma torre de resfriamento registrou uma média menor de temperatura quando comparado ao sistema em cano PVC. Essa situação é desejada pelos produtores em sistemas hidropônicos e vem solucionar os problemas da temperatura elevada na região norte.

Segundo CARRUTHERS (2015), as temperaturas ideais para solução nutritiva para diferentes culturas estão em torno de 18 a 28°C. Temperaturas acima do valor crítico diminuem a absorção de água, nutrientes e de oxigênio interferindo diretamente no desenvolvimento da planta.

A torre de resfriamento ao funcionar, promove à remoção do calor de uma corrente de água para o ar atmosférico e conseqüentemente o resfriamento de água (COOLING TOWER INSTITUTE, 2007). A Tabela 2 ilustra os dados de temperatura da solução analisados.

Tabela 2 – Parâmetros da temperatura da solução nutritiva dos sistemas

Parâmetros Estatísticos	Temperatura dos Sistemas Hidropônicos	
	NFT PVC	NFT Telha
Média	29,25a	27,31b
Variância	0,92	0,73
t calculado	8,03*	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t de student. Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha indica contraste significativo entre elas.

Fonte: Autor (2023)

No experimento realizado, utilizou-se o teste t de Student para comparar as médias independentes de temperatura entre NFT na telha e NFT em cano PVC, com um total de 28 médias amostrais de cada sistema, o teste usou 5% de significância.

Observou-se que a estatística t calculada (tcal) 8,03 foi maior que o valor crítico (ttab) 2,10, resultando na rejeição da hipótese nula (H0) de que as médias são iguais. Isso indica evidências estatísticas de diferença nas médias de temperatura entre os sistemas.

Conforme observado na tabela 1 o sistema NFT telha se mostra mais favorável, pois obteve médias de temperaturas mais amenas de 27,31°C, enquanto o NFT PVC médias de 29,25°C. Observam-se ainda indicativos de estabilidade maior na temperatura do NFT telha já que este apresentou variância de 0,73 em contraponto ao NFT com cano PVC. Este efeito com menor temperatura na telha, é importante para o desenvolvimento das plantas, uma menor volatilidade da solução.

Para tanto, constatou-se que as médias de temperatura no sistema NFT na telha foram significativamente menores do que no NFT em cano PVC. Assim, conclui-se que o NFT na telha é mais indicado nas condições e períodos testados, pois apresenta menor temperatura da solução nutritiva comparativamente ao NFT cano.

No pico de alta temperatura, no período de 12h e 30min, notou-se que as plantas do sistema NFT com cano sofreram danos severos (Figura 10), pois o calor

intenso aumentou a taxa de transpiração das folhas, levando à perda excessiva de água. A desidratação resultou em murchamento das folhas e afetou negativamente o turgor celular, levando a um aspecto murcho e flácido da planta.

Figura 10 – Plantas desidratadas



Fonte: Autor (2023)

Ao longo do experimento, evidenciou-se a propagação do fungo *Pythium* no sistema NFT com cano (figura 11). *Pythium*, um gênero fúngico conhecido por frequentemente afetar as raízes das plantas, manifesta-se por sinais distintos de infecção. Esses sinais incluem o surgimento de manchas escuras nas raízes, amolecimento da estrutura radicular, diminuição no crescimento radicular e, em estágios avançados, a presença de um odor caracteristicamente fétido (BAPTISTA *et al.*, 2011).

Figura 11 – Raiz com Pythium

Fonte: Autor (2023)

Destaca-se que o sistema NFT na telha com torre de resfriamento, evidenciou uma notável resiliência às elevadas temperaturas, ao contrário do sistema NFT com cano, onde se observou a propagação do fungo *Pythium*. É visto na figura 12 um aspecto notável e saudável das raízes das plantas do sistema, mesmo diante das condições térmicas desfavoráveis.

Figura 12 – Raiz saudável.

Fonte: Autor (2023)

A saúde das raízes no sistema NFT na telha revelou-se notável, pois se caracterizou por um aspecto vigoroso. Além disso, o sistema radicular demonstrava um desenvolvimento bem estabelecido, o que corrobora com a vitalidade das plantas. Sarro (2019) discorre no seu experimento que o desenvolvimento do sistema radicular da planta na hidroponia está diretamente ligado a temperatura da solução nutritiva, no caso de temperaturas elevadas ocorre uma hipóxia, onde dificulta a absorver água e nutrientes e dessa forma ocasiona na redução do desenvolvimento radicular.

Esse resultado aponta para a eficácia do sistema de resfriamento, sugerindo que a gestão térmica adequada pode ser um fator determinante na prevenção de patologias, como o *Pythium*, e na preservação da saúde radicular em ambientes propensos a elevadas temperaturas.

Com base nestas evidências, é possível afirmar que o sistema NFT na Telha com Torre de Resfriamento é mais eficiente e propício para o cultivo hidropônico de alface em condições de alta temperatura, proporcionando um ambiente mais favorável ao desenvolvimento saudável das plantas em comparação com o sistema NFT com cano PVC.

Na tabela 3 mostra os parâmetros massa fresca da parte (MFA), massa seca da parte aérea (MSA), massa fresca da raiz (MFR) e massa seca da raiz (MSR) analisada nas plantas dos sistemas.

Tabela 3 - Parâmetros da massa das plantas avaliadas.

Tipos de Sistemas	g planta⁻¹			
	MFA	MSA	MFR	MSR
Média NFT com telha	121,50	4,96	20	1,08
Média NFT com cano PVC	41	1,81	10	0,51
Variância na Telha	1511,39	1,77	22,22	1,08
Variância PVC	154,44	0,27	5,56	0,08
t calculado	6,24*	6,98*	6,00*	6,02*

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t de student.

Fonte: Autor (2023).

O sistema NFT na Telha com Torre de Resfriamento supera significativamente o sistema NFT com cano PVC em diversos parâmetros críticos para o cultivo hidropônico de alface. As métricas de massa fresca, massa seca, comprimento do caule, altura da planta e número de folhas demonstram uma

variação estatisticamente significativa entre os dois sistemas, evidenciando o impacto positivo do sistema NFT na Telha com Torre de Resfriamento no desenvolvimento das plantas.

Os parâmetros morfológicos diâmetro do caule (DC), altura da planta (AP), número folha (NF) analisados nas plantas dos sistemas NFT na telha e NFT PVC é descrito na tabela 4.

Tabela 4 – Parâmetros morfológicos avaliados nas plantas.

Tipos de Sistemas	DC (mm)	AP (cm)	NF (un)
Média NFT com telha	8,96	30,20	18,90
Média NFT com cano PVC	5,89	21,60	12,70
Variância NFT com telha	1,49	8,84	11,66
Variância NFT com cano PVC	1,20	3,71	2,46
t calculado	5,91*	7,68*	5,22*

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t de student.

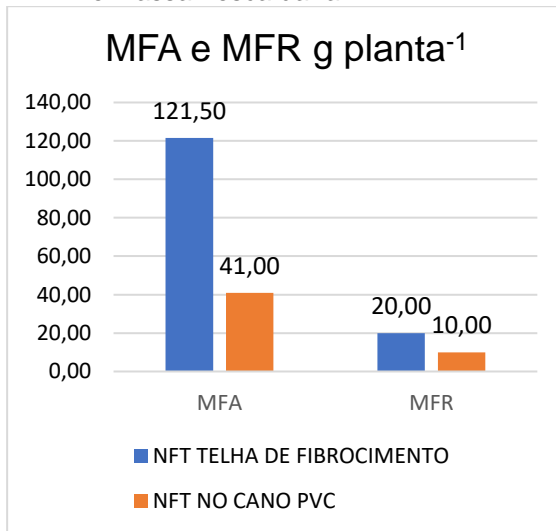
Fonte: Autor (2023).

Os valores de t calculado para todas as variáveis foram significativamente superiores ao t tabelado (2,10), indicando que as diferenças observadas são significantes. Essa análise fortalece a confiabilidade dos resultados, reforçando a superioridade do sistema NFT na Telha com Torre de Resfriamento.

Análise dos dados que o sistema NFT na Telha com Torre de Resfriamento supera significativamente revela que o sistema NFT com cano PVC em diversos parâmetros críticos para o cultivo hidropônico de alface.

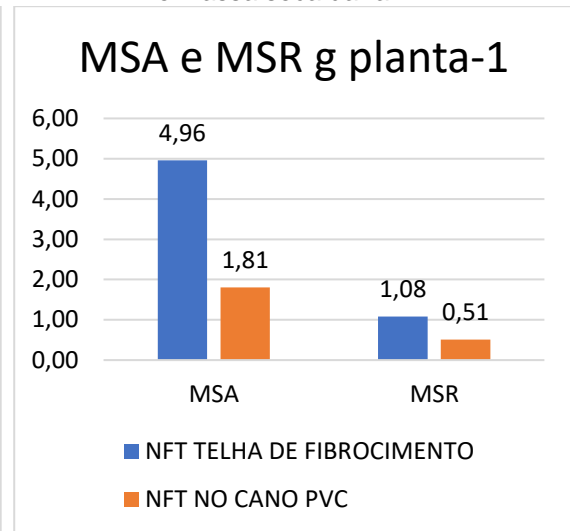
As métricas de massa fresca (gráfico 4), massa seca (gráfico 5), diâmetro do caule (gráfico 6), altura da planta (gráfico 7) e número de folhas (gráfico 8), demonstram uma variação significativa entre os dois sistemas, evidenciando o impacto positivo do sistema NFT na Telha com Torre de Resfriamento no desenvolvimento das plantas.

Gráfico 4 – Massa fresca da parte aérea e massa fresca da raiz



Fonte: Autor (2023)

Gráfico 5 – Massa seca da parte aérea e massa seca da raiz



Fonte: Autor (2023)

Em relação à massa fresca da parte aérea, o sistema NFT em telha registrou 121,50 g planta⁻¹, superando o sistema em canos de PVC em comparação com o NFT com cano PVC 41 g planta⁻¹. Essa diferença expressiva destaca a eficácia do sistema na Telha em promover um crescimento mais vigoroso das plantas, contrapondo os desafios térmicos. Em estudo anterior feito por Pereira Júnior (2019), que se buscou avaliar o desempenho de variedades de alface no cultivo hidropônico no período chuvoso e seco em Paragominas-Pa, onde foram encontrados valores médios para massa fresca da parte aérea da cultivar da alface crespa Soraia de 73,278 g/planta.

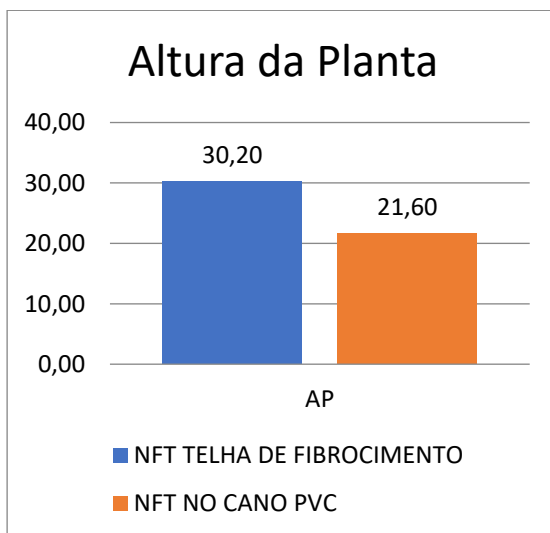
A MFR no sistema NFT na Telha, influenciada pelo efetivo resfriamento, foi consideravelmente superior 20 g planta⁻¹ em relação ao NFT com cano PVC 10 g planta⁻¹. Essa diferença substancial ressalta a importância do controle térmico na promoção do desenvolvimento radicular. Martins (2021) no seu estudo com cultivo hidropônico em Uruçuí-Pi, obteve médias de massa fresca da raiz para cultivar Vanda de 12,08 g/planta.

Os resultados indicam que o sistema NFT na Telha, com sua capacidade de controle térmico, resultou em uma MSA significativamente mais alta (4,96 g/planta) em comparação com o NFT com cano PVC (1,81 g/planta). Isso sugere uma maior produção de biomassa nas condições de resfriamento proporcionadas pela torre. A variedade verônica cultivada por Blat *et al.*, (2011) em um sistema hidropônico onde ele visava analisar os resultados de 5 cultivares de alface em dois ambientes

distintos, um climatizado e o outro não, ao avaliar a cultivar evidenciou valores médio de 4,7 g/planta de massa seca da parte aérea semelhantes a este trabalho.

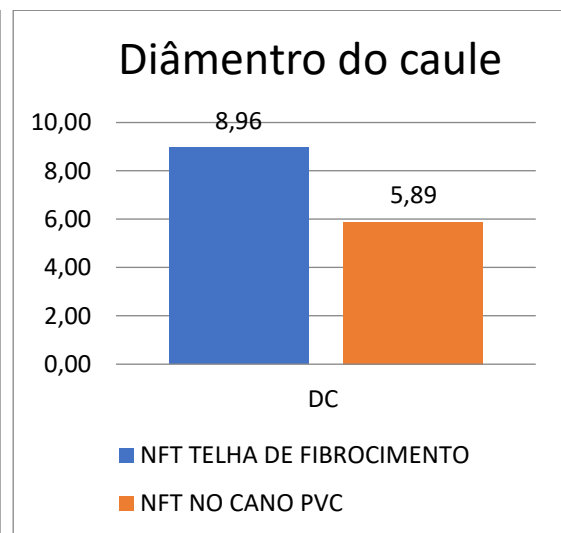
Mais uma vez, o sistema NFT na Telha demonstrou superioridade, com uma MSR mais alta (1,08 g/planta) em comparação com o NFT com cano PVC (0,51 g/planta). Isso aponta para uma maior eficiência na absorção de nutrientes e desenvolvimento radicular nas condições térmicas otimizadas. Martins (2021) realizou um experimento de cultivo hidropônico com NFT, onde valores médios de Massa Seca da raiz das cultivares Vanda 0,90 g/planta e Milena 0,91 g/planta, que foram inferiores aos resultados alcançados pelo NFT na telha deste estudo.

Gráfico 6 – Altura da planta



Fonte: Autor (2023)

Gráfico 7 – Diâmetro do caule



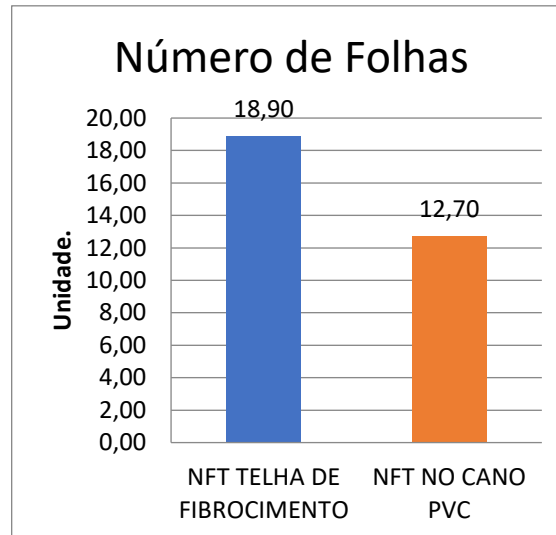
Fonte: Autor (2023)

O NFT na Telha com Torre de Resfriamento exibiu um DC superior (8,96 mm) em comparação com o NFT com cano PVC (5,89 mm). Essa diferença sugere um maior desenvolvimento estrutural e robustez do caule. No experimento feito por Pereira Júnior (2019), trouxe em seu experimento hidropônico os parâmetros médios de diâmetro do caule de 0,61 cm para cultivar Rosabela.

Na análise das alturas das plantas nos diferentes sistemas, destaca-se a superioridade do NFT na telha, atingindo uma média de 30,20 cm, em comparação com o NFT em cano de PVC, que registrou 21,60 cm. Isso evidencia a influência positiva do resfriamento. Esses resultados são comparados com a pesquisa de Barbosa *et al.*, (2022), que cultivou a variedade Jade em sistema hidropônico por 94 dias, alcançando uma média de altura de planta de 19,33 cm.

Esses resultados são cruciais para aprimorar a compreensão e a escolha de sistemas hidropônicos em ambientes propensos a condições térmicas adversas.

Gráfico 8 – Número de folhas



Fonte: Autor (2023)

Entre os dois sistemas, tem-se NFT na telha com média de número de folha com 18,90 un/planta e NFT PVC com 12,70 un/planta apontam nesse parâmetro uma disparidade. No experimento de Pereira Júnior (2019), ilustrou uma média para esta variável um valor de 12,6 un/planta para a variedade SV 2005. Esses resultados reforça a eficácia do sistema no crescimento do desenvolvimento foliar.

A Tabela 1 apresenta os custos das bancadas, revelando uma perspectiva econômica que demonstra o NFT na telha, aliado à torre de resfriamento, como uma opção 25% mais econômica em comparação ao sistema NFT com cano de PVC. Notavelmente, a bancada de NFT com cano PVC tem capacidade para produzir 88 plantas de alface, enquanto a bancada na telha exibe uma capacidade expandida, comportando 132 plantas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após observação e análise dos resultados obtidos, ressalta-se que o sistema NFT na telha, beneficiado pela presença da torre de resfriamento, emergiu como a alternativa mais eficaz em mitigar os desafios impostos por elevadas temperaturas. Este sistema, ao contrário do NFT com cano PVC, não apenas preservou a integridade das plantas de alface, mas também evitou a propagação do fungo *Pythium*, evidenciando sua robustez em ambientes térmicos desfavoráveis.

É crucial salientar que o sistema NFT na telha apresenta uma vantagem econômica significativa. Seus custos são mais acessíveis e, adicionalmente, esses custos são diluídos ao longo da produção. Dessa forma, não só contribui-se para uma compreensão mais aprofundada dos efeitos das condições climáticas adversas no cultivo hidropônico de alface, mas também se ressalta a importância da escolha adequada dos sistemas de cultivo para aperfeiçoar a produtividade e a saúde das plantas.

O sucesso do sistema NFT na telha com torre de resfriamento enfatiza a necessidade de uma gestão térmica eficiente na prática da hidroponia, proporcionando perspectivas valiosas para aprimorar a sustentabilidade e a viabilidade econômica do cultivo hidropônico em regiões suscetíveis a temperaturas elevadas, como é o caso de Araguatins.

REFERÊNCIAS

- ABRANTES, José. **O associativismo/cooperativismo na produção hidropônica de hortaliças folhosas e a viabilidade de organização no estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, Novembro de 2001.
- ABRANTES, J; SEIXAS FILHO, J. T. **A viabilidade da agricultura urbana através da hidroponia e do associativismo/cooperativismo**. Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM). Novembro de 2001.
- ABREU, C. A., *et al.* **Adubação nitrogenada na alface americana no outono**. *Bragantia*, 2008. 67(3), 677-684.
- BAPTISTA, F.R., *et al.* **Avaliação patogênica in vitro de *Pythium middletonii* Sparrow e *Pythium dissotocum* Drechsler em alface**. *Summa Phytopathologica*, v.37, n.1, p.52-58, 2011.
- Barbosa, R.Z.; Gomes, J.H.V. **Avaliação do desenvolvimento e acúmulo térmico de diferentes cultivares de alface cultivadas na região de Garça - SP**. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia - CONTECC, 4 a 6 de outubro de 2022.
- BELING, F. A. **Hidroponia: princípios e práticas**. Nobel. 2011.
- Blat, S.F., *et al* (2011). **Desempenho de cultivares de alface crespa em dois ambientes de cultivo em sistema hidropônico**. *Horticultura Brasileira*, 29, 135-138
- CAMARGO, F. D., *et al.* Hidroponia na produção de hortaliças em ambiente protegido: tecnologia e controle do ambiente. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, 2016. 10(5), 954-970.
- CARDOSO, D. M., *et al.* Características produtivas e qualidade de frutos de pimentão em diferentes substratos em sistema hidropônico. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, 2017.11(2), 1502-1512.
- CARNEIRO, M. C. S., MONTEIRO, D. A., & TEIXEIRA, A. M. Desenvolvimento e qualidade de alface em hidroponia com uso de biofertilizante. **Horticultura Brasileira**, 2017. 35(1), 60-65.
- CARRUTHERS, Steven. **Hydroponic Gardening**. Australia: Casper Publications, 2015.
- DOUGLAS, James Sholto. **Hidroponia: cultura sem terra**. São Paulo : Nobel, 1987.
- DUTRA, A. F., *et al.* (2012). **Hidroponia como alternativa para o cultivo de hortaliças**. Embrapa Agroindústria Tropical.

EMBRAPA. **TRAJETÓRIA DA AGRICULTURA BRASILEIRA**. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/visao/trajetoria-da-agricultura-brasileira>. Acesso em: 5 de novembro de 2023.

FURLANI, P.R. **Hidroponia**. **Boletim Técnico IAC**, Campinas, n.100, p.285, 1996.

FURLANI, P.R. Hydroponic vegetable production in Brazil. **Acta Horticulturae**, The Hague, v.481, p.777-778, 1999.

GOMES, A. P. V., SILVA, J. A., & SOUSA, L. O. (2018). Desafios na produção de hortaliças em hidroponia no Semiárido. **Revista Ciência Agronômica**, 49(3), 516-524.

LOPES & M. C. C. G. JAVARONI (Eds.), **Hortaliças na América Latina: olericultura e diversidade** (p. 49-63). Editora UNESP.

GHIRALDINI, André. **Hidroponia – Vantagens e Desvantagens**. [S. l.], 24 out. 2014. Disponível em: <http://www.inteliagro.com.br/hidroponia-vantagens-e-desvantagens/>. Acesso em: 16 de setembro de 2023.

LIMA, C. G. R., RODRIGUES, R. L., SOUSA, P. F. Hidroponia em sistema de espuma de poliestireno expandido para cultivo de alface. **Boletim de Indústria Animal**, 2019. 76(1), 1-10.

MALAVOLTA, E., *et al.* **Nutrição de Plantas**. Agronômica Ceres.1997.

MELO A. S., COSTA, D. P., & FERNANDES, P. D. Parâmetros fisiológicos e desenvolvimento de mudas de alface cultivadas em solução nutritiva com diferentes concentrações de macronutrientes. **Revista Ciência Agronômica**, 2018. 49(4), 604-611.

MALDONADE, I. R., *et al.* (2014). **Introdução de hortaliças na América Latina e no Brasil**. In R. H.

MALDONADE, Iriani Rodrigues [*et al...*]. Manual de boas práticas na produção de Alface. Brasília, DF: **Embrapa Hortaliças**, 2014. 44 p. - (Documentos / Embrapa Hortaliças, ISSN 1677-2229; 141).

Martins, Thaynan de Sousa. **Desempenho agronômico de cultivares de alface em sistema hidropônico no município de Uruçuí-PI**. Instituto Federal do Piauí. Campus Uruçuí,PI, 2021.

MELLO, Simone da Costa ; CAMPAGNOL, Rafael. **Olericultura: cultivo hidropônico**. Curitiba: SENAR - Pr., 2016. – 84 p. ISBN 978-85-7565-138-4.

MENEZES, D. C., RIBEIRO, L. M., SOUZA, M. I. Hidroponia como alternativa de cultivo sustentável: uma revisão. **Revista de Ciências Agrárias**, 2017. 40(2), 326-333.

NOVOTNY, E. H., *et al.* Características agronômicas da alface cultivada em hidroponia. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, 2019. 13(3), 2848-2855.

PEREIRA, A. R., *et al.* **Ambientes protegidos na produção de hortaliças**. Embrapa Hortaliças. 2019.

PEREIRA JUNIOR, Alberto de Sousa. **Produtividade e análise sensorial de cultivares de alface (lactuca sativa L.) hidropônica em período chuvoso e seco de Paragominas**. Paragominas, PA, 2019.

PINTO, S. P., SANTOS, A. S., & PINTO, J. E. B. P. Cultivo de alface em hidroponia com solução nutritiva condicionada em sistema de resfriamento. **Acta Scientiarum. Agronomy**, 2014. 36(3), 377-384.

SANTOS, M. S., *et al.* Influência da temperatura na produção de alface em hidroponia. **Horticultura Brasileira**, 2015. 33(2), 201-207.

SANTOS, T. P., FERREIRA, G., & NOGUEIRA, D. S. Hidroponia em sistemas de agricultura familiar no estado do Amazonas, Brasil. **Acta Amazonica**, 2020. 50(2), 121-128.

SARRO, Cássio de Oliveira. **Estudo para implementação de sistema de refrigeração de solução nutritiva em hidroponia**. Universidade Federal Fluminense. Niterói- RJ, 2019.

[SEM AUTOR] O Sistema DFT (Deep Film Technique) e os diferentes tipos de sistemas hidropônicos. Acesso em: 13/09/2023. Disponível em: [A Hidroponia - \(plataformahidroponia.com\)](http://plataformahidroponia.com)

SILVA, C. A., *et al.* (2016). **Aspectos fisiológicos do crescimento e desenvolvimento da alface**. Embrapa Hortaliças.

SILVA, J. A., SOUSA, J. S., & TEIXEIRA, A. M. Avaliação econômica de sistemas de produção de alface em hidroponia. **Horticultura Brasileira**, 2018. 36(4), 502-509.

SIQUEIRA, L. A., PAIVA, J. R., & MACHADO, L. F. Qualidade da água em sistemas de produção de alface em hidroponia. **Irriga**, 2019. 24(3), 498-509.

Stanghellini, M.E.; Rasmussen, S.L. Hydroponics: a solution for zoosporic pathogens. **Plant Disease**, St. Paul, v.78, p.1129-1138, 1994.

TEIXEIRA, Nilva Teresinha. **Hidroponia: uma alternativa para pequenas áreas**. 1. ed. Guaraíba: Agropecuária, 1996. 86 p. v. 1.