



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Instituto de Ciência e Tecnologia
Câmpus de Sorocaba

GUSTAVO HIDEKI FUGINO

**ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE HIDROPONIA DE BAIXO
CUSTO EM SOROCABA**

Sorocaba

2025

GUSTAVO HIDEKI FUGINO

**ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE HIDROPONIA DE BAIXO
CUSTO EM SOROCABA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Luis Armando De Oro Arenas

Sorocaba

2025

F958e	<p>Fugino, Gustavo Hideki</p> <p>Estudo e implementação de um sistema de hidroponia de baixo custo em Sorocaba / Gustavo Hideki Fugino. -- Sorocaba, 2025 52 p.</p> <p>Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba</p> <p>Orientador: Luis Armando de Oro Arenas</p> <p>1. Hidroponia. 2. Agricultura sustentável. 3. Controle hidráulico. I. Título.</p>
-------	---

GUSTAVO HIDEKI FUGINO

**ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE HIDROPONIA DE BAIXO
CUSTO EM SOROCABA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Universidade Estadual Paulista (UNESP), como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel(a) em Engenharia Ambiental.

Data da defesa: 03/07/2025

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Luis Armando De Oro Arenas
UNESP – Instituto de Ciência e Tecnologia – Campus de Sorocaba

Prof. Dr. Matheus Branco Arcadepani
UNESP – Instituto de Ciência e Tecnologia – Campus de Sorocaba

Dra. Natasha Mirella Godoi De Oro
PUC - Campinas

RESUMO

Este trabalho visa o desenvolvimento de um sistema hidropônico de pequeno porte, com ênfase na sustentabilidade e na otimização do uso de recursos naturais. A hidroponia, técnica que dispensa o uso de solo e utiliza uma solução nutritiva para o cultivo de plantas, foi escolhida devido à sua eficiência no uso da água e nutrientes, o que contribui para a conservação ambiental. O objetivo do projeto foi construir um sistema hidropônico de baixo custo, utilizando materiais reciclados, e realizar o dimensionamento hidráulico para garantir o uso eficiente da água e reduzir perdas de carga. A metodologia envolveu a construção de um sistema baseado no método NFT (*Nutrient Film Technique*), utilizado para o cultivo de alface, com materiais como PVC, tubos de diferentes diâmetros e uma bomba de recirculação para o fornecimento de solução nutritiva. O dimensionamento hidráulico foi feito com base na vazão necessária, perdas de carga nas tubulações e potência da bomba, assegurando o funcionamento adequado do sistema. Os resultados mostraram que o sistema teve uma vazão média de 2,1 L/min na primeira canaleta e 1,5 L/min nas demais. O custo total foi de R\$ 261,98, confirmando a viabilidade econômica e ambiental do projeto. Conclui-se que a hidroponia representa uma alternativa sustentável para a produção de alimentos urbanos, reduzindo o impacto ambiental e promovendo o uso eficiente dos recursos naturais.

Palavras-Chave: Hidroponia. Sustentabilidade. Dimensionamento Hidráulico

ABSTRACT

This study aims to develop a small-scale hydroponic system, with an emphasis on sustainability and the optimization of natural resource use. Hydroponics, a technique that eliminates the need for soil and uses a nutrient solution for plant cultivation, was chosen due to its efficiency in water and nutrient usage, which contributes to environmental conservation. The project's objective was to build a low-cost hydroponic system using recycled materials and to perform hydraulic sizing to ensure efficient water use and reduce head loss. The methodology involved constructing a system based on the NFT (Nutrient Film Technique) method, used for lettuce cultivation, with materials such as PVC, pipes of different diameters, and a recirculation pump for nutrient solution supply. Hydraulic sizing was carried out based on the required flow rate, pipe losses, and pump power, ensuring system efficiency. The results showed that the system had an average flow rate of 2.1 L/min in the first channel and 1.5 L/min in the others. The total cost was R\$ 261.98, confirming the economic and environmental viability of the project. It is concluded that hydroponics represents a sustainable alternative for urban food production, reducing environmental impact and promoting the efficient use of natural resources.

Keywords: Hydroponics, Sustainability, Hydraulic Sizing

Lista de Figuras

Figura 1: Principais tipos de sistemas hidropônicos.....	17
Figura 2: Esquema do sistema de hidroponia.....	21
Figura 3: Diagrama de metodologia implementada no projeto	24
Figura 4: Estrutura física do sistema hidropônico	26
Figura 5: Tubo da parte injetora	28
Figura 6: Corte feito na parte de baixo do copo plástico.....	28
Figura 7: Cano 25mm - 1 peça de 74 cm.....	32
Figura 8: Cano 40 mm - 4 peças de 63 cm	32
Figura 9: Cano 40 mm - 2 peças de 22 cm	32
Figura 10: Cano 40 mm - 2 peças de 17 cm	32
Figura 11: Cano 40 mm - 2 peças de 70 cm	33
Figura 12: Cano 40 mm - 4 peças de 31 cm	33
Figura 13: Cano 40 mm - 4 peças de 20 cm	33
Figura 14: Cano 50mm - 1 peça de 1 m	33
Figura 15: Cano 75 mm - 3 peças de 1 m.....	34
Figura 16: Cano 100 mm - 1 peça de 80 cm.....	34
Figura 17: 3 CAP 75mm e 1 CAP 100 mm.....	34
Figura 18: 8 T de 40 mm	34
Figura 19: 4 Joelho de 40 mm	34
Figura 20: 1 Joelho de 50 mm	34
Figura 21: 1 redutor de 100mm para 50 mm	35
Figura 22: Encaixe de mangueira	35
Figura 23: Bomba de recalque 1000L/h	35
Figura 24: Mangueira de 90 cm e 25 mm.....	35
Figura 25: Cinta plástica.....	36
Figura 26: Serra copo 75 mm	36
Figura 27: Serra copo 50 mm	36
Figura 28: Silicone para PVC.....	36
Figura 29: Copo plástico	37
Figura 30: Recipiente de 10L	37
Figura 31: Solução Nutritiva	37
Figura 32: Muda de alface	37
Figura 33: Infraestrutura do Sistema Hidropônico	38
Figura 34 : Mudanças plantadas no sistema hidropônico	39
Figura 35 : Arquitetura geral do sistema automatizado de Sihombing et al.....	47

Lista de Tabelas

Tabela 1: Fórmulas de soluções nutritivas em g/1.000 litros de água	20
Tabela 2: Valores dos custos para o projeto	40
Tabela 3: Resultado Dimensionamento Hidráulico	43

Sumário

1. Introdução	10
2. Objetivo Geral e Específicos	13
3. Revisão Bibliográfica	14
3.1 <i>Sistemas Hidropônicos</i>	14
3.2 <i>Soluções Nutritivas</i>	17
3.3 <i>Construção de Estrutura de Sistemas Hidropônicos de baixo custo</i>	22
4. Material e métodos	23
4.1 <i>Construção da Infraestrutura</i>	24
4.1.1 <i>Estrutura física do sistema hidropônico</i>	24
4.1.2 <i>Estrutura para Plantio</i>	26
4.1.3 <i>Cano Coletor</i>	26
4.1.4 <i>Fechamento e Instalação do Sistema de Irrigação</i>	27
4.1.5 <i>Plantio das Mudas</i>	28
4.1.6 <i>Solução Nutritiva</i>	29
4.2 <i>Dimensionamento Hidráulico</i>	29
4.2.1 <i>Equação da Continuidade</i>	29
4.2.2 <i>Perda de Carga (Hf)</i>	30
4.2.3 <i>Cálculo da Potência Hidráulica (P)</i>	30
4.2.4 <i>Estimativa da Potência da Bomba (Pbomba)</i>	31
4.3 <i>Materiais</i>	31
5. Resultados e Discussão	38
5.1 <i>Infraestrutura do Sistema Hidropônico</i>	38
5.2 <i>Custos do projeto</i>	39
5.3 <i>Dimensionamento hidráulico</i>	41
5.3.1 <i>Vazão do sistema</i>	41
5.3.2 <i>Perda de Carga (Hf)</i>	41
5.3.3 <i>Potência Hidráulica (P)</i>	42
5.3.4 <i>Estimativa da Potência da Bomba (Pbomba)</i>	42
5.3.5 <i>Resumo dos Resultados dos Cálculos</i>	43
5.4 <i>Resultado do plantio</i>	44
5.5 <i>Análise Crítica do Sistema Hidropônico e Propostas de Melhoria</i>	45
6. Conclusões	48
Referências	49

1. Introdução

Com o aumento da busca por formas sustentáveis de produzir alimentos, tem-se repensado os métodos agrícolas convencionais, que podem gerar impactos negativos como: o uso excessivo de recursos naturais, a contaminação do solo e a aplicação intensiva de agrotóxicos. Nesse contexto, segundo Gaikwad e Maitra (2020), a hidroponia é uma alternativa viável e ambientalmente responsável, pois permite o cultivo de plantas sem solo, utilizando uma solução nutritiva que alimenta diretamente as raízes. Possibilitando maior controle sobre as condições de cultivo, reduz o impacto ambiental e contribui para uma produção mais eficiente e sustentável.

Segundo Carrijo (2000), o termo hidroponia tem origem no grego *hydro* (água) e *ponos* (trabalho), e embora seu significado literal seja "trabalho com água", a hidroponia refere-se ao conjunto de técnicas de cultivo de plantas sem solo, nas quais os nutrientes essenciais são fornecidos diretamente às raízes por meio de soluções nutritivas.

De acordo com Furlani (2004), a primeira menção ao cultivo sem solo na literatura científica foi feita pelo pesquisador inglês John Woodward (1665–1728), que realizou experimentos com plantas de menta (*Mentha spicata*) cultivadas em diferentes tipos de água: da chuva, da torneira, de enxurradas e até líquido de esgoto diluído. Os melhores resultados de crescimento foram observados nas plantas cultivadas com o esgoto diluído. A partir dessas observações, Woodward concluiu, como citado por Martins (s.d.), que as plantas se nutrem da água e dos elementos dissolvidos nela, e que ao identificar esses elementos, seria possível cultivar sem o uso da terra.

O cultivo de plantas em soluções nutritivas começou a ser desenvolvido em 1860, quando Sachs e Knop criaram as primeiras fórmulas desse tipo de solução (Bataglia, 2003). Em 1950, Hoagland e Arnon elaboraram duas soluções específicas para o cultivo de tomateiros, que foram consideradas as mais eficazes da época e, até hoje, servem como referência na formulação de outras soluções nutritivas (Bezerra Neto & Barreto, 2000). O termo "hidroponia" foi introduzido em 1937 por William Frederick Gericke, que também foi responsável por levar os conhecimentos de laboratório para aplicações práticas no campo, promovendo o uso comercial da técnica (Martins, s.d.). A partir desse momento, a hidroponia passou a ser utilizada comercialmente em diversos países. Atualmente, a prática é amplamente adotada em nações como Holanda, Alemanha, Espanha, Itália, Suécia, Austrália, Japão e Estados Unidos. Inclusive, a NASA utiliza a hidroponia para cultivar hortaliças durante missões espaciais de longa duração (Martinez, 2002). No Brasil, o uso comercial da hidroponia vem crescendo

rapidamente, com destaque para os estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio Grande do Sul, que se destacam em pesquisas voltadas ao desenvolvimento e implementação dessa técnica.

Na hidroponia, as plantas são cultivadas em materiais neutros, como argila expandida ou fibra de coco, que não possuem valor nutricional. Os nutrientes necessários para o crescimento são fornecidos diretamente às raízes por meio de uma solução composta por água e elementos essenciais, como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e outros micronutrientes, conforme explicam Fallovo et al. (2009). Esse sistema permite a reutilização da solução nutritiva, o que reduz o desperdício e otimiza o uso de água e nutrientes. Além disso, segundo Oliveira e Leite (2021), a recirculação contribui para diminuir a incidência de doenças comuns no solo e reduz a necessidade de produtos químicos, favorecendo uma produção mais limpa e segura para o consumo.

A utilização de sistemas hidropônicos em áreas urbanas tem crescido consideravelmente, especialmente para o cultivo de hortaliças como alface, rúcula e manjeriço. Esses sistemas podem ser instalados em diferentes ambientes, como estufas, galpões ou até mesmo dentro de residências, oferecendo uma alternativa para a produção local de alimentos frescos. Essa prática contribui para diminuir a dependência dos sistemas convencionais, como a agricultura em campo aberto, fortalecendo a segurança alimentar, conforme destacado por Sihombing et al. (2018). Segundo Cabistani (2001), um ponto fundamental para o bom funcionamento da hidroponia é o correto dimensionamento hidráulico do sistema, que inclui o cálculo da vazão de água necessária, a escolha adequada das bombas e a distribuição eficiente da solução nutritiva às plantas.

Este trabalho tem como objetivo a construção e o dimensionamento hidráulico de um sistema de hidroponia de pequeno porte, adequado para uso residencial ou comunitário. O projeto busca minimizar os custos iniciais, utilizando materiais reciclados e de baixo custo, alinhando-se aos princípios da sustentabilidade e otimização do uso de recursos naturais. Através da análise hidráulica detalhada, será possível garantir que a solução nutritiva seja distribuída de maneira uniforme, promovendo um crescimento saudável e eficiente das plantas. Este sistema será projetado para o cultivo de alfaces, aproveitando as condições ideais de temperatura, umidade e nutrientes para um desenvolvimento rápido e produtivo, em conformidade com as melhores práticas descritas na literatura.

Além disso, a eficiência do uso de água será um dos principais critérios de avaliação, uma vez que a hidroponia permite reduzir o consumo de água em até 90% quando comparado à agricultura convencional (SIHOMBING et al., 2018). A análise do impacto ambiental e a viabilidade econômica do sistema serão discutidas ao longo do trabalho, com base nas

referências de dimensionamento hidráulico e análise de custos encontrados na literatura especializada.

Conforme destacado pelo site oficial das Nações Unidas, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável representam um chamado mundial para combater a pobreza, preservar o meio ambiente e o clima, além de assegurar que todas as pessoas, em qualquer lugar, tenham acesso à paz e à prosperidade. Esses objetivos orientam as ações das Nações Unidas, que atuam para que o Brasil alcance as metas estabelecidas na Agenda 2030.

Através da definição do projeto, pode-se identificá-lo com algumas ODS. Entre elas a ODS 2 - Fome Zero e Agricultura Sustentável, buscando o aumento da garantia de alimentação mais saudável e um cultivo facilitado permitindo o acesso para mais pessoas; ODS 6 - Água Potável e Saneamento, visto que há a reutilização da água e desse modo a necessidade da filtração da mesma para que não haja contaminação nas plantações; e a ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis, uma vez que o sistema de hidroponia é uma alternativa sustentável para cultivo de plantas e que pode ser realizado em um meio urbano.

2. Objetivos Geral e Específicos

O cenário da produção de alimentos no Brasil, principalmente em áreas urbanas, enfrenta desafios relacionados ao uso sustentável dos recursos naturais, como a falta de espaço para o cultivo. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo principal desenvolver um sistema hidropônico de pequeno porte, de baixo custo e com materiais reciclados, que possibilite a produção de alimentos de forma sustentável e acessível, voltado para o uso residencial. O projeto foi estruturado com base nos princípios da hidroponia e da hidráulica, visando garantir a eficiência do sistema e promover a sustentabilidade na produção de alimentos. Para isso, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

1. Realizar uma revisão bibliográfica sobre os principais conceitos, tecnologias e práticas associadas à hidroponia, identificando as soluções mais adequadas para o projeto e as melhores práticas para a implementação de sistemas eficientes e sustentáveis.
2. Realizar o dimensionamento hidráulico do sistema, garantindo a distribuição eficiente de nutrientes e água;
3. Construir um sistema hidropônico pequeno e de baixo custo utilizando materiais reciclados;

3. Revisão Bibliográfica

Este projeto foi fundamentado em uma revisão bibliográfica, com a seleção de referências agrupadas em três categorias principais: tipos de sistemas hidropônicos, tipos de soluções nutritivas e construção de sistemas hidropônicos.

A separação da revisão bibliográfica em três categorias visa organizar os diferentes aspectos da hidroponia de forma clara e objetiva. A categoria tipos de sistemas hidropônicos organiza as diferentes metodologias de cultivo, permitindo uma comparação entre elas e facilitando a escolha do sistema mais adequado. Já a categoria de soluções nutritivas explora os componentes necessários para o crescimento saudável das plantas, um fator crucial para o sucesso do cultivo. A categoria sobre a construção de sistemas aborda os aspectos técnicos e estruturais, essenciais para garantir a eficiência do sistema. Essa divisão permite uma abordagem mais detalhada e focada de cada área, facilitando o entendimento dos elementos essenciais para a implementação e otimização de sistemas hidropônicos.

3.1 Sistemas Hidropônicos

O sistema de hidroponia pode ser considerado mais prático, em relação a outros tipos de cultivos, já que é possível de se realizá-lo em lugares de menores metros quadrados, e o cultivo das plantas não necessita de solo, uma vez que as raízes ficam dentro da água. O sistema de hidroponia propõe a ciclagem da água, ou seja, a água utilizada no ciclo é reutilizada, e apenas há perda por evaporação e evapotranspiração. Por este motivo há a necessidade de uma bomba para a água do reservatório passar pela filtração. (NETO; BARRETO, 2012)

Segundo, Frasety, B.; Harisman, K.; Ramdaniah, N. A. H. (2021), o tratamento consiste em cinco tipos de sistemas de instalação de hidroponia: Sistema de Técnica do Filme Nutriente (Nutrient Film Technique System - NFT), Sistema de Técnica de Fluxo Profundo (Deep Film Sistema Técnico - DFT), Sistema de Enchimento e Drenagem (EBB and FLOW - EFS), Sistemas Aeropônicos (AS), e Sistema de Balsa Flutuante (Float Raft System - RFS).

O Sistema de Técnica do Filme Nutriente (NFT) consiste em um fluxo contínuo e raso de solução nutritiva que circula por canais ou tubos, onde as raízes ficam em contato com essa fina película de nutrientes. Esse método é ideal para plantas pequenas e de crescimento rápido, como alface e ervas, sendo eficiente no uso da água e nutrientes e proporcionando boa oxigenação das raízes. (Frasety; B, 2012)

O Sistema de Técnica de Fluxo Profundo (DFT) mantém as raízes submersas em uma camada mais profunda, cerca de 4 cm, de solução nutritiva em canais ou tanques. Esse sistema

recirculante oferece maior estabilidade para as raízes e suporta plantas maiores ou com sistemas radiculares mais desenvolvidos. (Frasety; B, 2012)

O Sistema de Enchimento e Drenagem (Ebb and Flow System - EFS) funciona por ciclos em que o meio de cultivo é periodicamente inundado com solução nutritiva e depois drenado. Esse processo permite que as raízes absorvam tanto os nutrientes quanto o oxigênio durante as fases de enchimento e drenagem, sendo flexível e adequado para diversas culturas. (Frasety; B, 2012)

No Sistema Aeropônico (AS), as raízes das plantas ficam suspensas no ar e são nebulizadas com uma fina névoa de solução nutritiva. Essa técnica proporciona máxima oxigenação e uso eficiente de água e nutrientes, sendo utilizada especialmente em cultivos de alto valor e crescimento rápido. (Frasety; B, 2012)

Por fim, o Sistema de Balsa Flutuante (RFS) consiste em placas flutuantes onde as plantas são fixadas, posicionadas sobre um reservatório com solução nutritiva. As raízes ficam submersas e a solução é constantemente aerada, sendo um método muito utilizado para o cultivo de alface e outras hortaliças folhosas. (Frasety; B, 2012)

Como resultado do artigo de Frasety, B.; Harisman, K.; Ramdaniah, N. A. H. (2021), o sistema hidropônico NFT apresentou de 6% a 10% mais eficiência no aumento da produtividade da alface e afirmando que os sistemas NFT e RFS são os mais recomendados para a produção hidropônica de alface.

De forma complementar, Gaikwad, Dinkar J.; Maitra, Sagar (2020), abordam o cultivo hidropônico, sendo uma técnica de crescimento de plantas em soluções ricas em nutrientes, sem a necessidade de solo. Além disso, comentam que a hidroponia é considerada o setor de agricultura de crescimento mais rápido e pode desempenhar um papel importante na produção sustentável de alimentos no futuro. Nele se discute os diferentes sistemas hidropônicos, como o sistema de gotejamento, sistema de pavio, cultura em água profunda, sistemas NFT (Nutrient Film Technique), sistemas de inundação e drenagem e sistemas aeropônicos.

O sistema de gotejamento (Drip Systems) é relativamente simples, controla a umidade fornecendo a solução nutritiva diretamente às raízes por meio de bombas. As plantas ficam em um meio moderadamente absorvente para que a solução pingue lentamente, permitindo controle preciso da irrigação. (Gaikwad; Maitra, 2020).

O sistema de pavio (Wick System) é o mais simples e menos utilizado, não requer eletricidade, bombas ou aeradores. A solução nutritiva chega às plantas por ação capilar através

do pavio, sendo adequado para plantas pequenas, ervas e especiarias, mas ineficiente para plantas que demandam muita água. (Gaikwad; Maitra, 2020).

O sistema de cultura em água profunda (Deep Water Culture System) é o mais fácil de usar. As plantas ficam apoiadas em uma plataforma flutuante, como isopor, sobre a solução nutritiva. O oxigênio é fornecido às raízes por meio de bombas de ar, semelhantes às usadas em aquários. Esse sistema é frequentemente utilizado para hortaliças folhosas. (Gaikwad; Maitra, 2020).

O sistema Nutrient Film Technique (NFT) foi desenvolvido na década de 1960 na Inglaterra por Dr. Alen Cooper. Consiste em um fluxo raso e contínuo de solução nutritiva recirculante que passa pelas raízes nuas das plantas, formando um tapete denso no fundo do canal. É amplamente utilizado para o cultivo de diversas hortaliças. (Gaikwad; Maitra, 2020).

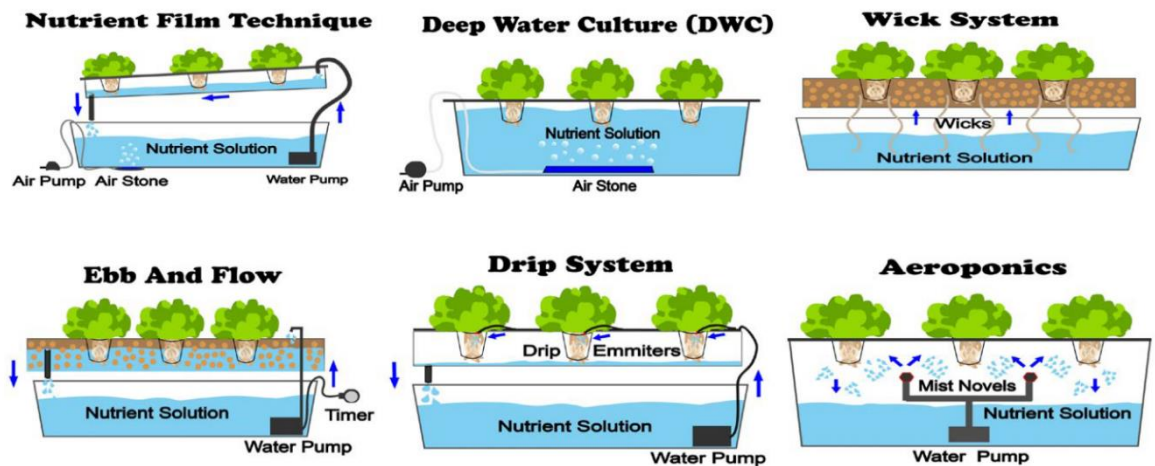
O sistema de enchimento e drenagem (Ebb-Flow System), também conhecido como flood and drain, foi o primeiro sistema comercial de hidroponia. Nesse sistema, a solução nutritiva é bombeada do reservatório para inundar o meio de cultivo, e a água excedente retorna ao reservatório por gravidade para ser reutilizada. Esse ciclo de enchimento e drenagem permite que as plantas absorvam nutrientes e oxigênio de forma eficiente. (Gaikwad; Maitra, 2020).

Por fim, o sistema aeropônico é provavelmente o mais avançado tecnologicamente. As raízes das plantas ficam suspensas no ar e são nebulizadas continuamente com uma solução nutritiva, geralmente a cada poucos minutos, controladas por um temporizador. Esse sistema oferece máxima oxigenação das raízes e alta eficiência no uso de água e nutrientes, mas requer equipamentos mais sofisticados. (Gaikwad; Maitra, 2020).

Enquanto Frasety, B.; Harisman, K.; Ramdaniah, N. A. H. (2021) concentram-se nos sistemas clássicos de maior aplicação comercial e eficiência comprovada, especialmente para culturas como alface, Gaikwad, Dinkar J.; Maitra, Sagar (2020) oferecem uma abordagem mais ampla, ressaltando o rápido crescimento do setor hidropônico e seu papel na produção sustentável de alimentos. Essa complementaridade contribui para uma compreensão mais completa das potencialidades e limitações dos diversos sistemas hidropônicos.

Na FIGURA 1 são demonstrados os diferentes tipos de sistemas hidropônicos mencionados, ilustrando visualmente o funcionamento e sua estrutura.

Figura 1: Principais tipos de sistemas hidropônicos



O sistema NFT (Nutrient Film Technique) é considerado o mais adequado para o cultivo de alface principalmente pela sua capacidade de fornecer as condições ideais para o desenvolvimento das raízes, garantindo uma boa troca de oxigênio e água (Andriolo et al., 2004; Dalastra et al., 2020; Gaikwad, Dinkar J.; Maitra, Sagar (2020)).

3.2 Soluções Nutritivas

Cada nutriente possui funções essenciais para o desenvolvimento saudável das plantas. O nitrogênio é fundamental para a formação de aminoácidos e proteínas, sendo o principal elemento para o crescimento vegetal. O fósforo participa dos processos energéticos da planta e compõe substâncias responsáveis pela transmissão do código genético, como DNA e RNA. O potássio atua como catalisador em reações enzimáticas, regula a turgidez das células, controla a abertura e fechamento dos estômatos, e está envolvido na síntese, acumulação e transporte de carboidratos, influenciando a qualidade dos frutos e a resistência da planta. O cálcio é o principal constituinte mineral das paredes celulares, importante para a integridade celular, permeabilidade das membranas, viabilidade do pólen e ativação de enzimas responsáveis pela divisão e crescimento celular. O magnésio é componente central da molécula de clorofila e atua como catalisador enzimático em processos de transferência de energia (ATP e ADP). O enxofre está envolvido na síntese de proteínas e presente em aminoácidos e vitaminas. (CARRIJO, 2000).

Entre os micronutrientes, o boro é importante na síntese e transporte de carboidratos e no sistema reprodutivo das plantas. O ferro desempenha papel crucial na fotossíntese, na formação da clorofila e nos processos que necessitam transferência de energia. O zinco atua como catalisador enzimático e está envolvido na síntese de reguladores de crescimento, como

o ácido indolacético. O cobre é componente dos cloroplastos, importante para a fotossíntese, metabolismo dos carboidratos e atua como catalisador em diversas reações enzimáticas. O manganês participa de processos de oxirredução essenciais para o metabolismo vegetal. O molibdênio é necessário para o metabolismo do nitrogênio, especialmente na redução do nitrato a amônio. Por fim, o cloro está envolvido no processo fotossintético, na regulação dos estômatos e na hidratação dos tecidos (CARRIJO, 2000).

O efeito das proporções de macro-ânions (NO_3^- , H_2PO_4^- e SO_4^{2-}) e macro-cátions (K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}) em soluções nutritivas durante duas estações de cultivo consecutivas (primavera e verão) na produção de alface *Lactuca sativa* L. var. *acephala* foi analisado por Fallovo et al. (2009), avaliando a qualidade e a produção das plantas. Os autores observaram que altas concentrações de Ca na solução nutritiva contribuiu para maior qualidade das plantas. Esses resultados contribuem para a escolha de soluções nutritivas para o cultivo de alface.

Segundo, Frick; Mitchell (1993), o pH da solução nutritiva em cultivos hidropônicos é um fator crítico que influencia a disponibilidade de nutrientes essenciais para as plantas. A disponibilidade dos nutrientes varia conforme o pH, sendo que um pH ligeiramente ácido é considerado ideal para a produção hidropônica, pois elementos como ferro (Fe), manganês (Mn), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) tendem a precipitar e se tornam indisponíveis em pH acima de 7 (Resh, 2004).

A recomendação para o pH ideal da solução nutritiva variam entre 5,5 e 6,5 (Hochmuth, 2001), 5,8 a 6,4 (Resh, 2004), e entre 5 e 7 (Ahn; Ikeda, 2004). Estudos sobre alface hidropônica também mostram que pH fora da faixa ideal pode reduzir a área foliar, peso seco da parte aérea, comprimento e largura das folhas, além da condutância estomática (Whipker et al., 1996).

A condutividade elétrica (CE) da solução nutritiva é um parâmetro fundamental que influencia diretamente a disponibilidade e absorção de nutrientes pelas plantas cultivadas em sistemas hidropônicos. A condutividade elétrica representa a concentração total de sais dissolvidos na solução, impactando o equilíbrio osmótico e a absorção de água e nutrientes pelas raízes. Em cultivos hidropônicos, a avaliação do teor de nutrientes na solução é comumente realizada de forma indireta por meio da medição da CE (VERDONCK et al., 1981), já que a solução é composta principalmente por elementos iônicos cuja concentração pode ser estimada pela capacidade da solução de conduzir corrente elétrica, isto é, quanto maior a concentração de nutrientes, maior a CE (STAFF, 1998).

Para o cultivo de alface, a CE da solução nutritiva geralmente varia entre 1,6 e 1,8 dS/m (SOARES, 2002) podendo alcançar até 2,5 dS/m (CASTELLANE & ARAÚJO, 1995). Durante

a absorção dos nutrientes pelas plantas, ocorre uma redução dos elementos presentes na solução, refletida na diminuição da CE (MARTINEZ, 1997).

Manter o pH e a condutividade adequados é essencial para o crescimento saudável das plantas. Para um crescimento adequado, as plantas devem receber uma combinação de macro e micronutrientes, ou seja, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, manganês, boro, zinco, cobre, molibdênio e cloro, assim, dentro de certos limites de composição e concentrações totais, pode haver uma ampla gama de soluções nutritivas adequadas para o crescimento das plantas. Normalmente, a pequena quantidade de minerais no abastecimento de água pode ser ignorada, porém, quando os nutrientes são deficientes ou presentes em excesso na solução, as plantas sofrem.

Oliveira e Leite (2021) realizaram um estudo comparando o desenvolvimento de três variedades de alface (americana, Angelina; crespa, Valentina; e lisa, Regiane) em um sistema hidropônico NFT com duas soluções nutritivas diferentes. Com base nos resultados, o estudo concluiu que a solução nutritiva 2 - concentrações de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, KNO_3 , KH_2PO_4 , K_2SO_4 , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, Micronutrientes completos e Ferro em g/450L, com valores de 378, 300, 75, 150, 250, 25 e 15, respectivamente - teve um desempenho superior no sistema hidropônico, resultando em plantas maiores e mais vistosas.

O estudo de Robredo, Quiroga e Echazú (2000) comparou duas soluções nutritivas para o cultivo de alface em estufa com condicionamento térmico solar. As concentrações de Nitrato, Fosfato Diácido, Sulfato, Potássio, Cálcio, Magnésio e Amônio foram analisadas em duas soluções nutritivas: Hoagland e Arnon, e Sonneveld. No entanto, a solução de Sonneveld se destacou por seu pH mais estável. Embora as diferenças entre as soluções não tenham causado variações significativas nos rendimentos de peso das plantas, o estudo concluiu que cada espécie se beneficia mais de uma solução nutritiva adaptada às suas necessidades específicas.

Segundo, Robredo, Quiroga e Echazú (2000), os resultados indicam que o cultivo de alface no verão tende a ser mais produtivo em comparação com a primavera, apresentando maior crescimento e melhores características nutricionais. As soluções nutritivas mais recomendadas para o cultivo de alface segundo Castellani & Araujo, 1995, é indicada na TABELA 1.

Tabela 1: Fórmulas de soluções nutritivas em g/1.000 litros de água.

Sal	Alface	Tomate	Pimentão	Pepino	Morango	Melão
Nitrato de cálcio	950	900	650	960	700	900
Nitrato de potássio	900	270	506	486	303	455
Sulfato de potássio	-	122	-	-	-	22
Fosfato de potássio (¹)	272	272	170	245	204	170
Cloreto de potássio	-	141	-	-	-	-
Sulfato de magnésio	246	216	246	418	246	246
Nitrato de magnésio (²)	-	228	50	-	-	-
Sulfato de manganês	1,70	4,23	1,70	4,23	1,70	2,54
Sulfato de zinco	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Sulfato de cobre	0,19	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Molibdato de sódio	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Bórax	2,85	1,90	2,40	1,90	1,90	1,90
Fe - EDTA	50	43	37	43	25	22

(¹) 35% de K_2O e 53% de P_2O_5 .

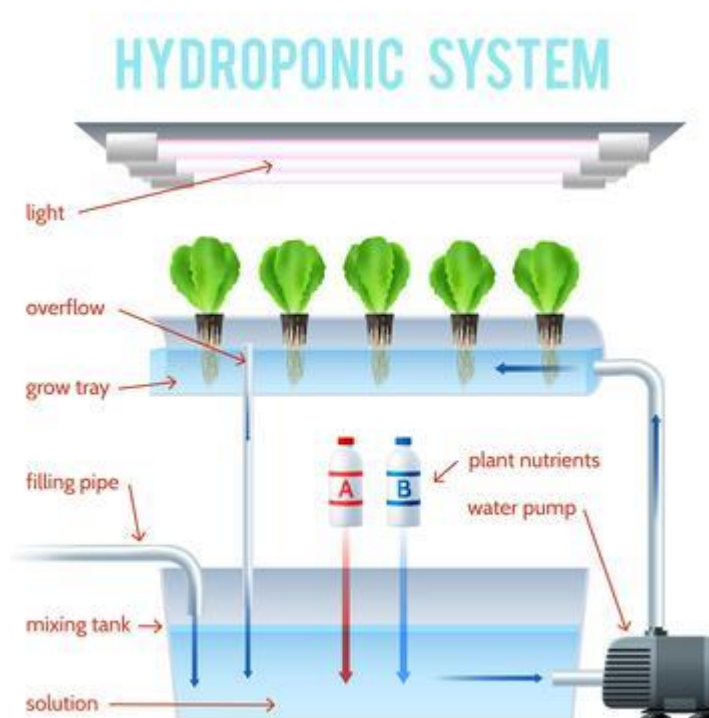
(²) 7% de N, 10% MgO (líquido).

Fonte: Castellani & Araujo, 1995

3.3 Construção de Estrutura de Sistemas Hidropônicos de baixo custo

O esquema do sistema de hidroponia ilustrado na FIGURA 2 serve como uma representação visual fundamental para entender a disposição e o funcionamento de um sistema hidropônico. Este tipo de esquema é essencial para a construção do sistema, pois facilita a compreensão de como cada parte do sistema contribui para o crescimento saudável das plantas, além de permitir uma análise clara dos fluxos de água e nutrientes. Ao visualizá-lo, é possível identificar as interações entre os componentes e verificar se o projeto atende às necessidades específicas das plantas cultivadas, como a alface, garantindo seu desenvolvimento adequado.

Figura 2: Esquema do sistema de hidroponia



Fonte: Vecteezy

Dentro da literatura foi encontrada diversas revisões bibliográficas para construção de sistemas hidropônicos (Silva, Christopher Ferraz Rodrigues E. et al., 2022; Santos, Esteicy Espanholo Kaus et al., 2020; Gashgari, Raneem et al., 2018).

Silva et al. (2022) analisaram a viabilidade de um sistema hidropônico movido a energia solar. Para o desenvolvimento do projeto, os materiais utilizados incluíram barras de alumínio para a base da estrutura, telha de polipropileno para suporte, estrutura para fixação da placa fotovoltaica, balde para armazenar produtos alimentícios, bomba d'água de 12V, módulo fotovoltaico de 30W, microcontrolador Arduino Uno R2 para automatização, módulo relé para controle da bomba, bateria composta por 3 pilhas recarregáveis de 4,2V, controlador de carga de placa solar de 10A, e um módulo LCD Keypad Shield para interação com o usuário. O projeto demonstrou que o uso de energia limpa foi eficaz, contribuindo para a construção de sistemas hidropônicos sustentáveis.

Santos et al. (2020) desenvolveram um modelo de sistema hidropônico caseiro do tipo NFT (Nutrient Film Technique) de baixo custo e fácil montagem, ideal para espaços reduzidos. Os materiais selecionados incluíram buchas de redução, encaixes de tubulação, joelhos, fita metalizada, tubos de esgoto e mangueira. A base retangular foi construída e os tubos foram

posicionados com furos para as sementes. O custo total do projeto foi de R\$182,00, sem incluir a placa fotovoltaica. Este estudo fornece uma visão prática sobre os materiais necessários e o custo envolvido na construção de um sistema hidropônico caseiro.

Gashgari et al. (2018) compararam o método de cultivo hidropônico com o cultivo tradicional em solo, utilizando sementes de pepino e pepino armênio. Para a construção do sistema hidropônico, foram usados recipientes de plástico de tamanhos diferentes, pedras para segurar as plantas, solução de quelato de cálcio e ferro, sulfato de magnésio, potássio, sulfeto de cobre, sulfeto de zinco, manganês sulfeto, e um dispositivo de bomba de ar. O experimento durou 1 mês e meio e mostrou que o sistema hidropônico teve melhores resultados em termos de crescimento das plantas, embora o comprimento das folhas fosse semelhante ao do cultivo no solo. Este estudo contribui para a compreensão teórica de que o sistema hidropônico pode ser utilizado para diversas sementes sem restrições e apresenta melhores resultados em termos de crescimento.

Essas fontes discutem os materiais e metodologias de baixo custo e fácil acesso, facilitando a implementação de sistemas hidropônicos simples e acessíveis, sem comprometer a eficiência do processo.

Com relação aos trabalhos revisados e discutidos anteriormente a escolha da hidroponia como técnica de cultivo se justifica pela crescente necessidade global de encontrar soluções sustentáveis para a produção de alimentos. Em um cenário de diversidade climática e de microclimas ao redor do mundo, é essencial buscar alternativas que maximizem a produção agrícola em diferentes contextos. Nesse sentido, a hidroponia apresenta-se como uma técnica eficiente, capaz de otimizar a produtividade e adaptar-se às condições específicas de cada região. (EMBRAPA, 2015)

4. Material e métodos

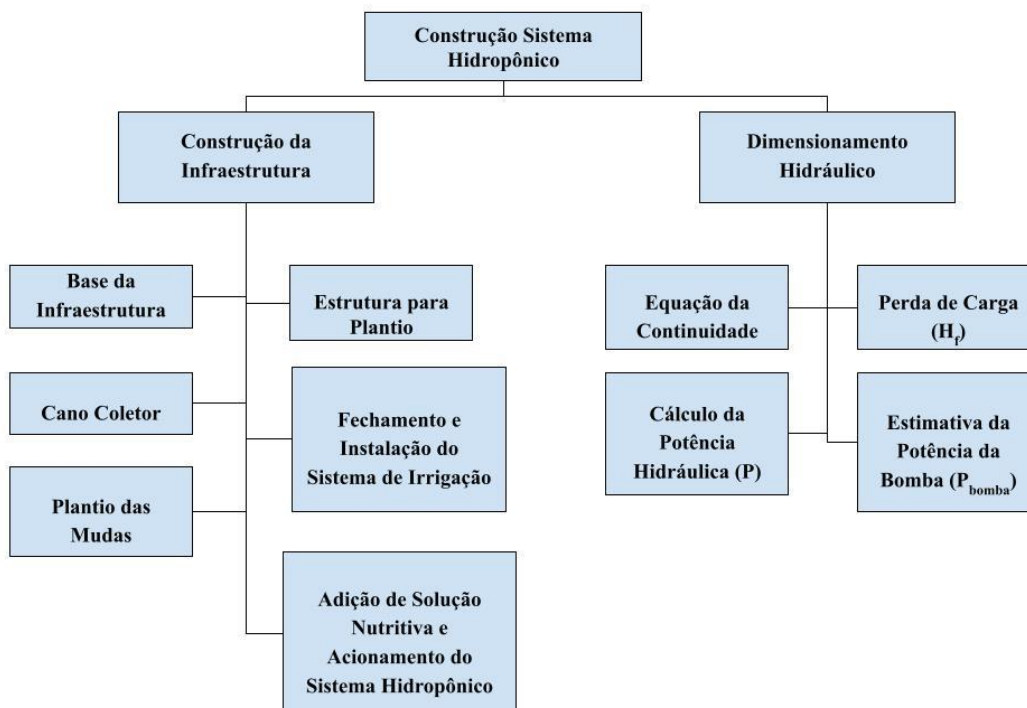
O projeto foi conduzido utilizando o sistema hidropônico do tipo NFT (Nutrient Film Technique), que consiste na circulação contínua de uma fina lâmina de solução nutritiva pelas raízes das plantas. A instalação ocorreu em 14 de novembro de 2024, na cidade de Sorocaba (SP), região com clima subtropical caracterizado por temperaturas amenas a elevadas e boa luminosidade durante a primavera (INMET).

O experimento teve duração de duas semanas, período considerado suficiente para avaliar as respostas iniciais das plantas ao sistema hidropônico adotado. A espécie escolhida para o cultivo foi a alface americana

A metodologia adotada foi desenvolvida com base na revisão bibliográfica detalhada, que inclui a análise de métodos e técnicas amplamente utilizados em sistemas hidropônicos e sua construção de infraestrutura. O objetivo é proporcionar uma abordagem replicável, permitindo que outros autores possam aplicar a mesma metodologia em diferentes contextos e com base em fundamentos teóricos e práticos.

O diagrama apresentado na FIGURA 3 resume a metodologia adotada para o desenvolvimento do sistema hidropônico, dividida em duas grandes etapas: a construção da infraestrutura e o dimensionamento hidráulico. Na primeira etapa, detalha-se a montagem da estrutura física, que inclui a base da infraestrutura, a estrutura para plantio, o cano coletor, o sistema de irrigação, o plantio das mudas e a adição da solução nutritiva com o acionamento do sistema. Já na segunda etapa, são apresentados os cálculos hidráulicos fundamentais para o funcionamento eficiente do sistema, como a equação da continuidade, a perda de carga, o cálculo da potência hidráulica e a estimativa da potência da bomba. Essa organização facilita o entendimento do processo completo, desde a montagem prática até os aspectos técnicos necessários para garantir o desempenho adequado do sistema hidropônico.

Figura 3: Diagrama de metodologia implementada no projeto



Fonte: Autoria própria

A seguir, detalha-se a metodologia utilizada, dividida em etapas que orientam a construção da infraestrutura e o funcionamento do sistema hidropônico.

4.1 Construção da infraestrutura

A construção da infraestrutura do sistema hidropônico requer um planejamento detalhado e a escolha adequada dos materiais, visando garantir a resistência, funcionalidade e eficiência do sistema. A montagem precisa ser realizada de forma criteriosa para assegurar a correta circulação da solução nutritiva e o suporte adequado às plantas. A seguir, são descritas as etapas da metodologia empregadas na montagem da estrutura física

4.1.1 Estrutura física do sistema hidropônico

Seguindo algumas etapas de Santos et al. (2020), a base da infraestrutura foi construída com tubos de PVC, conforme a literatura técnica que aponta o uso de PVC como material econômico e de fácil montagem para sistemas hidropônicos. O modelo da montagem final é demonstrado na FIGURA 4. A sequência de montagem é:

1. Iniciou-se a montagem com quatro tubos de PVC de 40 mm de diâmetro e 20 cm de comprimento cada. Em cada um desses tubos, foi encaixado um conector em “T” de 40 mm, formando a base para as conexões subsequentes.
2. Entre os conectores em “T” instalados nos tubos verticais, foram conectados dois tubos horizontais de 40 mm com 70 cm de comprimento, posicionados paralelamente e fixados nas extremidades dos “T”. Essa etapa formou a estrutura horizontal intermediária que sustentará as demais conexões.
3. A partir dos conectores em “T” da estrutura intermediária, foram conectados quatro tubos verticais de 40 mm e 31 cm de comprimento, posicionados em pé para formar a próxima etapa da estrutura vertical.
4. Em cada um dos quatro tubos verticais de 31 cm, foi encaixado um conector em “T” de 40 mm na parte superior, permitindo a conexão de novos tubos horizontais.
5. Entre os quatro conectores em “T” superiores, foram conectados tubos horizontais de 40 mm e 63 cm de comprimento, formando a parte superior da estrutura e interligando os tubos verticais.
6. Em dois dos conectores em “T” superiores, foram encaixados tubos verticais de 40 mm e 22 cm de comprimento, que servirão como suporte para as mudas.
7. Do lado oposto, foram encaixados dois tubos verticais de 40 mm e 17 cm de comprimento, formando as conexões verticais complementares para o suporte das mudas.
8. Para interligar as partes da estrutura e garantir a estabilidade do sistema, foram conectados tubos horizontais de 40 mm e 63 cm de comprimento nas extremidades, utilizando dois conectores em “joelho” (curva de 90°) em cada ponta. Essa etapa finalizou a montagem da estrutura, proporcionando rigidez e suporte adequado para o cultivo hidropônico.

Figura 4: Estrutura física do sistema hidropônico



Fonte: Autoria própria

4.1.2 Estrutura para plantio

A estrutura para o plantio das mudas foi feita em tubos de PVC com furos, visando uma boa fixação e distribuição das raízes, conforme práticas recomendadas por Santos et al. (2020). A montagem consiste em:

1. Foi utilizado 3 canos de PVC de 1 m e 75 mm para fazer 4 furos de 50 mm de diâmetro, com distância de 20 cm entre cada furo.
2. Para a entrada de água no sistema foi feito uma abertura nas extremidades utilizando uma broca escalonada.
3. Posicionou-se os 3 canos de 1 m e 75 mm sobre a base da infraestrutura para a instalação das mudas. Devido a diferença de altura de 5 cm entre cada lado, o ângulo de inclinação da estrutura para o plantio é de aproximadamente 4,5 graus.

4.1.3 Cano coletor

O uso de canos coletores é fundamental para garantir a coleta eficiente de água e nutrientes, que serão retornados ao reservatório. (Santos et al., 2020). O processo de montagem segue em:

1. Foi utilizado um cano de 80 cm e 100 mm. Nele foi feito 3 furos de 75 mm com marcações de 20 cm de distância entre cada um.

2. Uma luva de 100 mm foi encaixada em um extremo do cano, seguido de um redutor de 100 mm para 50 mm na outra extremidade.
3. Conectou-se um cano de 1 m e 50 mm ao redutor, e este é alocado no reservatório de água com solução nutritiva.
4. Os tubos da estrutura de plantio foram conectados diretamente aos furos realizados no cano coletor, garantindo a circulação da solução nutritiva para as raízes das mudas.

4.1.4 Fechamento e instalação do sistema hidropônico

A instalação do sistema hidropônico foi realizada com base nas técnicas de fluxo laminar de água (NFT), com adaptação ao uso de irrigação por gotejamento, que garantem o fluxo adequado de água para as mudas. O procedimento adaptado, recomendado segundo Santos et al. (2020) inclui:

1. Colocar CAPS (tampos) nos canos para vedação.
2. Colocar o recipiente de 10 L ao lado da base para armazenar a água.
3. Instalação da parte injetora:
 - A. Fazer 3 pequenos furos para a saída de água, com uma broca escalonada no cano de 74 cm e 25 mm. O tubo da parte injeto é demonstrada na FIGURA 5.
 - B. Os furos foram distribuídos de forma equidistante, com aproximadamente 18 cm de distância entre a extremidade do cano e o primeiro furo, e entre cada furo subsequente.
 - C. O cano de 74 cm e 25 mm foi posicionado no primeiro furo dos três canos de 1 m e 75 mm, que estão dispostos sobre a base da infraestrutura. Em seguida, utilizar cintas plásticas para fixar o cano de 74 cm e 25 mm à estrutura.
 - D. Foi colocado um adaptador de 25 mm para conectar com a mangueira de 90 cm, utilizando cintas plásticas para evitar vazamentos.
 - E. Conectou-se a bomba à mangueira.

Figura 5: Tubo da parte injetora



Fonte: Autoria própria

4.1.5 Plantio das mudas

O plantio das mudas foi realizado com copos plásticos, facilitando a inserção das mudas no sistema e garantindo seu bom desenvolvimento. A montagem consiste em:

1. Utilizar copos plásticos para auxiliar no plantio.
2. Fazer um pequeno furo em "X" no fundo do copo, como indicado na FIGURA 6, para permitir o encaixe nos furos de 50mm.

Figura 6: Corte feito na parte de baixo do copo plástico



Fonte: Autoria própria

4.1.6 Solução nutritiva

Baseando-se em Fallovo et al. (2009), Oliveira e Leite (2021) e Robredo, Quiroga e Echazú (2000) para o funcionamento do sistema hidropônico, a solução nutritiva aplicada, e o sistema foi ativado conforme os seguintes passos:

1. Aplicou-se a dose de 10 gotas – aproximadamente 0,5 mL - de solução nutritiva, conforme indicações do fabricante para cada 10 L de água. A solução nutritiva utilizada foi um fertilizante líquido à base de macronutrientes NPK, indicado para aquários plantados. A escolha desse fertilizante foi feita levando em consideração o objetivo principal do estudo, que foi desenvolver um sistema hidropônico de baixo custo e com funcionamento eficiente. A concentração dos nutrientes na solução é a seguinte: Nitrogênio (N) 0,57%, Fósforo (P) 1,14%, Potássio (K) 3,42%, Enxofre (S) 0,25%, Magnésio (Mg) 0,17%, Ferro (Fe) 0,01%, Zinco (Zn) 0,0048%, Cobre (Cu) 0,0048%, Boro (B) 0,0029%, Manganês (Mn) 0,0038% e Molibdênio (Mo) 0,0001%.
2. A bomba utilizada foi a bomba submersível Kintons KT 301, com potência aproximada de 6 W e vazão em torno de 1000 L/h, e foi ligada a uma tomada de 127 V para iniciar o funcionamento do sistema.

4.2 Dimensionamento Hidráulico

O dimensionamento hidráulico é fundamental para garantir o funcionamento eficiente do sistema hidropônico, pois envolve a determinação da vazão necessária, das perdas de carga ao longo da tubulação e da potência requerida para a bomba. Esses cálculos são essenciais para assegurar a circulação adequada da solução nutritiva, otimizar o consumo energético e manter as condições ideais para o desenvolvimento das plantas. A seguir, apresenta-se a metodologia utilizada, segundo a NBR 5626, para realizar esses cálculos, baseando-se nos princípios básicos da hidráulica aplicada ao sistema.

4.2.1 Equação da Continuidade

Segundo a NBR 5626, a equação de continuidade é a relação que define a vazão, a velocidade e a área da seção transversal de uma tubulação ou canal. A fórmula é a seguinte:

$$Q = v \cdot A$$

Onde:

- Q é a vazão (m³/s)

- v é a velocidade do fluido (m/s)
- A é a área da seção transversal da tubulação (m²)

Para determinar a vazão do sistema, foi utilizado um copo volumétrico para medir o volume de água em 10 segundos. A vazão é então calculada dividindo o volume de água coletado pelo tempo (10 segundos).

$$Q = \frac{\text{Volume de água coletado (m}^3\text{)}}{\text{Tempo (s)}}$$

4.2.2 Perda de Carga (H_f):

Segundo a NBR 5626, a perda de carga é o valor da energia perdida devido ao atrito entre o fluido e as paredes da tubulação. A perda de carga é dada pela expressão:

$$H_f = J \cdot L$$

Onde:

- H_f é a perda de carga (m)
- J é a perda de carga unitária (m/m)
- L é o comprimento total da tubulação (m)

A perda de carga unitária pode ser calculada pela fórmula de Fair-Whipple-Hsiao:

$$J = 0,000859 \cdot Q \cdot D^{-4,75}$$

Onde:

- D é o diâmetro do tubo (m)
- Q é a vazão (m³/s)

4.2.3 Cálculo da Potência Hidráulica (P):

A potência hidráulica necessária para o sistema é dada pela fórmula (NBR 5626):

$$P = \gamma \cdot Q \cdot H$$

sendo:

- P é a potência hidráulica (CV)
- γ é o peso específico do líquido (kgf/m³)

- Q é a vazão a ser bombeada (m³/s)
- H é a altura manométrica do sistema (m)

A equação para altura manométrica é dada por:

$$H = H_f + H_g$$

Onde:

- H é a altura manométrica do sistema (m)
- H_g é a altura geométrica (m), a diferença de altura
- H_f é a perda de carga (m)

4.2.4 Estimativa da Potência da Bomba (P_{bomba}):

Segundo a NBR 5626, a potência necessária para a bomba pode ser estimada levando em consideração o rendimento da bomba, utilizando a equação:

$$P_{bomba} = \frac{P}{\eta_{bomba}}$$

Onde:

- P_{bomba} é a potência da bomba (CV)
- P é a potência hidráulica do sistema (CV)
- η_{bomba} é o rendimento da bomba (adimensional)

4.3 Materiais

Os materiais escolhidos para a construção do sistema de hidroponia foram selecionados com o objetivo de garantir um baixo custo inicial, além de promover a sustentabilidade. Os materiais utilizados na construção do sistema incluem:

- Tubos e conexões, utilizadas na infraestrutura do sistema hidropônico, como mostrado na FIGURA 7 a 22.

Figura 7: Cano 25mm - 1 peça de 74 cm



Fonte: Autoria própria

Figura 8: Cano 40 mm - 4 peças de 63 cm



Fonte: Autoria própria

Figura 9: Cano 40 mm - 2 peças de 22 cm



Fonte: Autoria própria

Figura 10: Cano 40 mm - 2 peças de 17 cm



Fonte: Autoria própria

Figura 11: Cano 40 mm - 2 peças de 70 cm



Figura 12: Cano 40 mm - 4 peças de 31 cm



Figura 13: Cano 40 mm - 4 peças de 20 cm



Fonte: Autoria própria

Figura 14: Cano 50mm - 1 peça de 1 m



Fonte: Autoria própria

Figura 15: Cano 75 mm - 3 peças de 1 m



Fonte: Aatoria própria

Figura 16: Cano 100 mm - 1 peça de 80 cm



Fonte: Aatoria própria

Figura 17: 3 CAP 75mm e 1 CAP 100 mm



Fonte: Aatoria própria

Figura 18: 8 T de 40 mm



Fonte: Aatoria própria

Figura 19: 4 Joelho de 40 mm



Fonte: Aatoria própria

Figura 20: 1 Joelho de 50 mm



Fonte: Aatoria própria

Figura 21: 1 redutor de 100mm para 50 mm



Fonte: Autoria própria

Figura 22: Encaixe de mangueira



Fonte: Autoria própria

- Equipamentos e acessórios, para garantir o funcionamento do sistema hidropônico. Como a bomba de recalque 1000 L/h, mostrada na FIGURA 23, foi responsável por recircular a solução nutritiva; a mangueira de 90 cm (FIGURA 24), conduzindo a solução nutritiva presente no recipiente para o sistema hidropônico; a cinta plástica (FIGURA 25) possui a função de fixar os tubos e a mangueira, para manter a estrutura estável; o serra copo (75 mm e 50 mm) (FIGURA 26 e 27, respectivamente) foi utilizado para cortar os tubos de PVC; o silicone para PVC (FIGURA 28) foi utilizado para vedar as conexões e evitar vazamentos na estrutura; no copo plástico (FIGURA 29) foi feito um corte em X na base para armazenar as mudas; e um recipiente de 10 L, apresentada na FIGURA 30.

Figura 23: Bomba de recalque 1000L/h



Fonte: Autoria própria

Figura 24: Mangueira de 90 cm e 25 mm



Fonte: MF Aquarium

Figura 25: Cinta plástica



Fonte: Autoria própria

Figura 26: Serra copo 75 mm



Fonte: Autoria própria

Figura 27: Serra copo 50 mm



Fonte: Autoria própria

Figura 28: Silicone para PVC



Fonte: Autoria própria

Figura 29: Copo plástico



Fonte: Autoria própria

Figura 30: Recipiente de 10L



Fonte: Autoria própria

- Por fim, o sistema hidropônico requer alguns outros materiais essenciais para garantir o sucesso do cultivo, como a solução nutritiva, para fornecer nutrientes ao sistema, e que é apresentada na FIGURA 31 a solução utilizada foi um suplemento para aquários MBreda Macroplus NPK; e o último material essencial é a muda de alface, que irá ser cultivada no sistema hidropônico, mostrada na FIGURA 32.

Figura 31: Solução Nutritiva



Fonte: Autoria própria

Figura 32: Muda de alface



Fonte: Autoria própria

5. Resultados e Discussão

Foram apresentados os resultados obtidos durante a construção e operação do sistema hidropônico, bem como a discussão dos principais aspectos técnicos e práticos observados.

5.1 Infraestrutura do Sistema Hidropônico

A FIGURA 33 apresenta o sistema hidropônico completamente montado, destacando os principais componentes da estrutura.

Figura 33: Infraestrutura do Sistema Hidropônico



Fonte: Autoria própria

A FIGURA 34, representa o sistema hidropônico já operando com as mudas de alface plantadas. As mudas foram cuidadosamente colocadas nos copos plásticos, que possuem furos em "X" para permitir o encaixe eficiente nas aberturas dos canos de PVC. As raízes das plantas entram em contato direto com a solução nutritiva que circula pelas canaletas

Figura 34: Mudanças plantadas no sistema hidropônico



Fonte: Autoria própria

5.2 Custos do projeto

O custo total para a execução do projeto foi composto pelos seguintes materiais e equipamentos, indicado na TABELA 2.

Tabela 2: Valores dos custos para o projeto

Categoria	Item	Quantidade	Custo (R\$)
Materiais (Tubos de PVC)	Cano 25 mm	1 peça de 74 cm	20,00
	Cano 40 mm	1 peça de 6,74 m	
	Cano 50 mm	1 peça de 1 m	
	Cano 75 mm	1 peça de 3 m	
	Cano 100 mm	1 peça de 80 cm	
Conectores, Acessórios e outros materiais	CAP 25 mm	1 peça	141,99
	CAP 75 mm	3 peças	
	CAP 100 mm	1 peça	
	T 40 mm	1 peça	
	Joelho 40 mm	4 peças	
	Joelho 50 mm	1 peça	
	Redutor 100 mm para 50 mm	1 peça	
	Luva 100 mm	1 peça	
	Encaixe de mangueira	1 peça	
	Silicone para PVC	1 peça	
	Mudas	12 unidades	
Equipamento	Bomba de recirculação	1 unidade	99,99
Total do Projeto	-	-	261,98

Fonte: Autoria Própria

5.3 Dimensionamento hidráulico

5.3.1 Vazão do sistema:

O volume de água coletado foi de 300 mL (equivalente a 0,3 L), e o tempo de coleta foi de 10 segundos.

Cálculo da vazão:

- Volume coletado: 300 mL = 0,3 L
- Tempo de coleta: 10 segundos

Aplicando a fórmula da vazão:

$$Q = \frac{0,3L}{10s} = 0,03 \text{ L/s}$$

Convertendo para a unidade de Litros por minuto (L/min):

$$Q = 0,03 \text{ L/s} \times 60 = 1,8 \text{ L/min}$$

A vazão do sistema foi de 1,8 L/min.

Conversão da Vazão (Q):

Para converter a vazão encontrada de 1,8 L/min para m³/s, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$Q = 1,8 \text{ L/min} \times \left(\frac{1}{100 \times 60}\right)$$

$$Q = 3 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} = 0,00003 \text{ m}^3/\text{s}$$

5.3.2 Perda de Carga (H_f):

A perda de carga foi calculada para a mangueira que sai da bomba e subirá em direção à tubulação de distribuição. Esse fator é importante porque, ao subir, a água enfrenta resistência tanto pelo atrito nas paredes da mangueira quanto pela diferença de altura, resultando numa perda de pressão ao longo do trajeto.

Para esse cálculo, considerou-se os seguintes valores:

- Diâmetro da mangueira: 25 mm (0,025 m).
- Comprimento da mangueira: 90 cm (0,9 m).

- Desnível vertical: 80 cm (0,8 m)

A perda de carga unitária (J) foi calculada, desta maneira:

$$J = 0,000859 \times \frac{3 \times 10^{-5}}{(0,025)^{4,75}}$$

$$J = 1,049 \text{ m/m}$$

Com o valor da perda de carga unitária (J) podemos calcular a perda de carga total (H_f) ao longo do comprimento da mangueira ($L = 0,90 \text{ m}$):

$$H_f = 1,049 \text{ m/m} \times 0,90 \text{ m}$$

$$H_f = 0,944 \text{ m}$$

5.3.3 Potência Hidráulica (P)

Como a altura vertical foi de 0,8 m e a perda de carga foi de 0,944 m, a altura manométrica total é:

$$H = 0,8 + 0,944$$

$$H = 1,744 \text{ m}$$

Assim, considerando o peso específico da água de aproximadamente 9810 N/m^3 , a potência hidráulica necessária para o sistema foi de:

$$P = 9810 \text{ N/m}^3 \times 0,00003 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,744 \text{ m}$$

$$P = 0,513 \text{ W}$$

5.3.4 Estimativa da Potência da Bomba (P_{bomba}):

Considerando um rendimento da bomba de 80% ($\eta = 0,8$), a potência da bomba é:

$$P_{\text{bomba}} = \frac{0,513 \text{ W}}{0,8}$$

$$P_{\text{bomba}} = 0,642 \text{ W}$$

5.3.5 Resumo dos Resultados dos Cálculos

Na Tabela 3, estão resumidos os resultados dos cálculos realizados para o dimensionamento hidráulico do sistema.

Tabela 3: Resultado Dimensionamento Hidráulico

Variável	Valor
Vazão (Q)	0,00003 m ³ /s
Perda de carga total (Hf)	0,944 m
Potência hidráulica (P)	0,513 W
Potência da bomba (P _{bomba})	0,642 W

Fonte: Autoria própria

A partir dos parâmetros fornecidos pela EMBRAPA pode-se discutir os resultados obtidos no dimensionamento hidráulico

A vazão do sistema foi calculada em 1,8 L/min, o que se encontra dentro da faixa recomendada pela EMBRAPA para o cultivo de alface na fase final (1 a 2 L/min). Para a fase inicial, a EMBRAPA sugere uma vazão entre 0,5 L/min e 1 L/min, o que indica que a vazão do sistema é um pouco mais alta do que o ideal para o início do cultivo. Embora o sistema apresente uma vazão adequada para o crescimento das plantas na fase mais avançada, pode ser necessário futuramente reduzir a vazão na fase inicial para evitar excessos de irrigação, que poderiam prejudicar a oxigenação das raízes e causar saturação do substrato. Esse ajuste garantiria que as raízes se desenvolvessem adequadamente desde o início do ciclo.

A perda de carga no sistema do projeto foi calculada em 0,944 m, o que está acima dos limites recomendados pela EMBRAPA, que indicam uma perda de carga de 20% a 30% da altura manométrica. Com uma altura manométrica de 1,744 m, a perda de carga permitida seria entre 0,35 m e 0,52 m. Portanto, a perda de carga observada no sistema é elevada, o que pode indicar a necessidade de ajustes para melhorar a eficiência hidráulica. Reduzir essa perda é importante para garantir que as plantas recebam a quantidade adequada de água com menor esforço da bomba, otimizando o funcionamento do sistema.

A potência hidráulica necessária foi estimada em 0,513 W, valor esse considerado baixo, mas que se reflete no objetivo de um sistema hidropônico de pequeno porte. Considerando a altura manométrica total de 1,744 m e a baixa vazão do sistema, esse valor de potência é adequado e suficiente para garantir que a água seja distribuída de forma eficaz.

A potência da bomba foi calculada em 0,642 W, considerando um rendimento de 80% para a bomba. Esse valor também é adequado, pois de acordo com a EMBRAPA, o rendimento médio das bombas é de 70% a 90%. Esse fator de eficiência é importante para garantir que a energia consumida pela bomba seja usada de forma eficaz, sem desperdício de energia.

5.4 Resultado do plantio

O plantio das mudas de alface foi realizado, utilizando copos plásticos com furos em "X" para permitir o encaixe nos tubos de PVC do sistema hidropônico. Assim, as mudas foram posicionadas com as raízes imersas na solução nutritiva que circulava pelos canos.

No entanto, poucos dias após o plantio, as mudas não apresentaram o crescimento esperado. Em vez de se desenvolverem, as plantas não mostraram qualquer sinal de crescimento significativo e, progressivamente murcharam.

O desenvolvimento das mudas pôde ter sido afetado por diversos fatores, mas a principal hipótese sendo a qualidade da solução nutritiva utilizada. Embora tenha sido preparado um suplemento específico para o cultivo hidropônico, a concentração dos nutrientes, especialmente os micronutrientes, pôde não ter atendido às necessidades das plantas no estágio inicial de crescimento. A principal deficiência provavelmente foi de nitrogênio, e que está ligada diretamente no crescimento das mudas de alface. Além disso, o pH e a condutividade elétrica da solução, que não foram monitorados de maneira precisa, podem ter prejudicado a absorção de nutrientes pelas raízes, já que ambos influenciam a disponibilidade de micronutrientes.

Em comparação com outros sistemas hidropônicos, nos quais a solução nutritiva é rigorosamente controlada, o sistema pode não ter atendido aos requisitos ideais, o que pode explicar a baixa taxa de crescimento observada nas mudas de alface. Apesar de a fórmula da solução ser indicada para esse tipo de cultivo, ela pode não ter sido adequada para as condições específicas, comprometendo a absorção de nutrientes pelas raízes e, conseqüentemente, o desenvolvimento das plantas. Contudo, é importante destacar que o foco principal deste estudo não foi acompanhar detalhadamente o desenvolvimento das plantas, mas sim realizar o dimensionamento e a implementação de um sistema hidropônico de baixo custo, priorizando a viabilidade econômica e o funcionamento eficiente do sistema.

Além disso, o sistema foi projetado para garantir boa oxigenação e circulação da solução nutritiva, mas o crescimento das raízes pôde ter sido insuficiente devido ao tempo de adaptação das mudas ao meio hidropônico, o que afetou a nutrição das plantas. Embora fatores ambientais, como temperatura e iluminação, possam ter influenciado o desenvolvimento das mudas, a principal causa da falha parece estar relacionada à solução nutritiva.

Esses resultados destacam a importância de ajustar a formulação da solução nutritiva e monitorar com precisão o pH e a concentração dos nutrientes em projetos futuros.

5.5 Análise Crítica do Sistema Hidropônico e Propostas de Melhoria

Considerando os resultados obtidos e a principal limitação observada no sistema, que foi a deficiência de micronutrientes, especialmente nitrogênio, uma série de melhorias pode ser implementada para a solução nutritiva e o monitoramento das condições do cultivo. A adoção de tecnologia, especificamente utilizando um sistema automatizado de monitoramento com Arduino, pode trazer benefícios significativos para o controle e a correção dos problemas identificados.

O Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto que foi desenvolvida com o objetivo de ser um dispositivo barato, funcional e de fácil programação. Ele é capaz de interagir com o ambiente por meio de sensores e é muito utilizado para automatizar e monitorar sistemas. O Arduino utiliza as linguagens de programação C e C++ e conta com uma IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado) própria, que facilita o desenvolvimento de projetos. Ele pode ser utilizado para coletar dados de parâmetros cruciais como pH, condutividade elétrica e níveis de micronutrientes essenciais. Sensores específicos conectados ao Arduino poderiam fornecer medições contínuas desses parâmetros, permitindo identificar rapidamente qualquer desequilíbrio nutricional ou ambiental que possa prejudicar o crescimento das plantas. Esse tipo de monitoramento em tempo real proporciona uma resposta imediata a qualquer alteração nos níveis de nutrientes ou nas condições ambientais, o que dificilmente seria possível em um sistema manual.

Além dos aspectos nutricionais, o Arduino também pode ser utilizado para controlar outros fatores ambientais, como a temperatura e a iluminação, que afetam diretamente o crescimento das mudas. Sensores de temperatura e intensidade luminosa podem ser integrados ao sistema, permitindo o ajuste automático de ventiladores ou lâmpadas, mantendo as condições ideais para o cultivo. Isso ajudaria a reduzir o estresse nas plantas e a otimizar a absorção de nutrientes, contribuindo para um crescimento mais saudável.

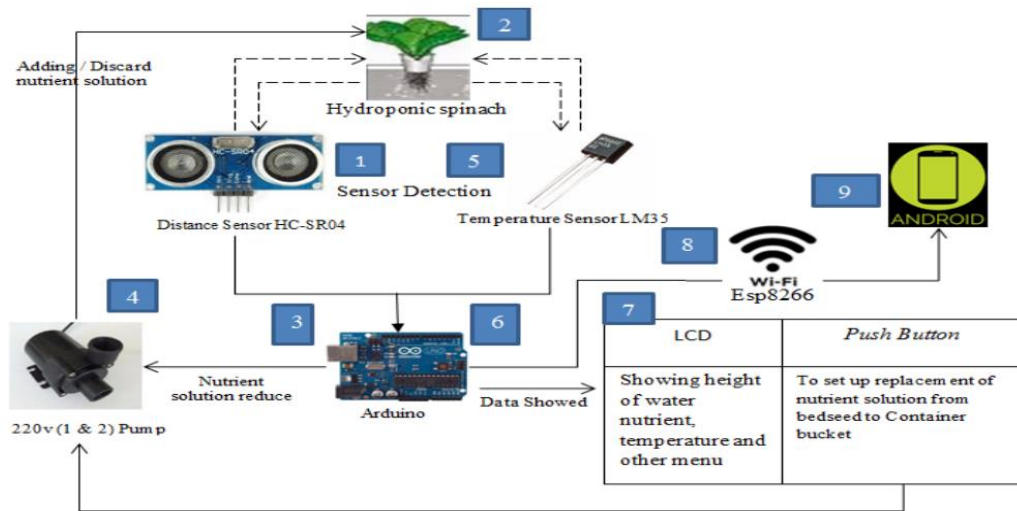
Por fim, o uso do Arduino permite a criação de um sistema de coleta e armazenamento de dados. Isso permitiria que informações sobre o desempenho do cultivo, como a variação nos níveis de nutrientes e nas condições ambientais ao longo do tempo, fossem registradas e analisadas. A partir desses dados, seria possível realizar ajustes baseados em padrões identificados, como variações de estações ou deficiências recorrentes de nutrientes, facilitando a tomada de decisões para futuros plantios.

Diversos estudos demonstram como o uso de tecnologias de monitoramento e automação, como o Arduino, tem sido aplicado para resolver desafios semelhantes aos encontrados no projeto.

Palande et al. (2018) desenvolveram o Titan Smartponics, um sistema totalmente automatizado e de baixo custo, composto por dois microcontroladores Arduino e um Raspberry Pi i (usado para executar um software de automação de código aberto chamado Domoticz), software de fonte aberta e alguns sensores. O sistema foi projetado para controlar parâmetros críticos, como pH, temperatura e condutividade elétrica da solução nutritiva. O Titan Smartponics se destacou pois era de baixo custo e de fácil acesso para os usuários quando comparado a outros sistemas, além da sua capacidade de ser pequeno e acessível o suficiente, para uso do consumidor.

Sihombing et al. (2018) criaram um sistema de controle automático de fluxo de nutrientes em plantações hidropônicas, operado por smartphone. Esse sistema utiliza um microcontrolador Arduino, que fez seu papel através da lógica C++, enviando dados referente aos níveis de fluido e temperatura da planta para o smartphone com sistema operacional Android. O nível da água é detectado pelo sensor ultrassônico HC-SR04 e a temperatura detectada pelo sensor de temperatura LM35. Todos os dados do sensor foram encaminhados para o Arduino Uno e exibidos no display de cristal líquido (LCD). Em seguida, o sistema transmitiu os dados através de uma rede sem fio (Wi-fi), e módulo ESP8266, para o aparelho de smartphone, permitindo que o usuário monitore e ajuste remotamente as condições do cultivo. A integração desse tipo de monitoramento remoto com o Arduino permitiria o controle eficiente dos parâmetros de cultivo. Esse tipo de automação também facilitaria a resposta rápida a qualquer alteração nas condições do sistema. Uma esquematização do sistema de controle do Sihombing et al. (2018), é representada pela FIGURA 35.

Figura 35: Arquitetura geral do sistema automatizado de Sihombing et al.



Fonte: Sihombing et al. (2018).

O uso de sistemas como o Titan Smartponics oferece uma solução eficiente para monitorar e ajustar os níveis de nutrientes de maneira automatizada. Já integração de sistemas de monitoramento remoto, como o apresentado por Sihombing et al. (2018), permitiria que mostrasse e ajustasse os parâmetros do sistema em tempo real, mesmo à distância.

6. Conclusões

O desenvolvimento do sistema hidropônico para cultivo de alface foi bem-sucedido no dimensionamento hidráulico e no controle do custo, alcançando o objetivo principal de criar uma solução acessível e funcional. A construção do sistema demonstrou ser viável de ser implantado como um modelo simplificado e econômico, adequado para aplicações em ambientes urbanos ou regiões com recursos limitados.

Embora o resultado do cultivo não tenha atingido as expectativas em termos de crescimento das mudas, essa etapa evidenciou importantes aspectos para o aprimoramento do sistema, como a necessidade de maior controle da solução nutritiva, que apresentou possíveis deficiências de micronutrientes, especialmente o nitrogênio, e dos parâmetros ambientais, incluindo pH e condutividade elétrica. A experiência adquirida reforça a importância do monitoramento contínuo e da adaptação das condições de cultivo para garantir a eficiência na absorção de nutrientes e o desenvolvimento saudável das plantas.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a incorporação de sistemas automatizados de monitoramento, como plataformas baseadas em Arduino, que possibilitam o controle mais preciso dos parâmetros essenciais, otimizando o desempenho do sistema hidropônico. Dessa forma, o uso de tecnologias acessíveis pode potencializar a sustentabilidade e a produtividade dos cultivos hidropônicos, consolidando essa técnica como uma alternativa viável para a agricultura moderna e sustentável.

Referências

- Ahn D.-H., Ikeda H. 2004. Effects of pH and concentration of nutrient solution on growth of hydroponically cultured Chinese chive (*Allium tuberosum* Rottler). Horticultural Research (Japan) 3: 191–194. DOI: 10.2503/hrj.3.191. [in Japanese with English abstract]
- ALBERONI, R. B. Hidroponia. Como instalar e manejar o plantio de hortaliças dispensando o uso do solo – alface, rabanete, rúcula, almeirão, chicória, agrião. São Paulo: Nobel, 1998.
- ANDRIOLO, Jerônimo L. et al. Cultivo hidropônico da alface empregando substratos: uma alternativa a NFT?. Horticultura Brasileira, v. 22, p. 794-798, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5626: Sistemas prediais de água fria e água quente - Projeto, execução, operação e manutenção. Rio de Janeiro, 2020.
- BATAGLIA, O. C. Nutrição mineral de plantas: a contribuição brasileira. O Agrônomo, v. 55, p. 40-43, 2003.
- BEZERRA NETO, E. & BARRETO, L.P. Técnicas de cultivo hidropônico. Recife. UFRPE. 2000.
- CABISTANI, Walter Souza. Um estudo de otimização no cultivo de alface hidropônica. 2001.
- CAMARGO, Fabiano Borges Dias de; FRANÇA, Isaias Batista. AQUAPONIA: CONTROLE E MONITORAMENTO COM ARDUINO. 2020.
- CARRIJO, Osmar A. Principios de hidroponia. EMBRAPA 2000.
- CASTELLANE, P.D. ARAUJO, J.A.C. Cultivo sem solo - Hidroponia. 4ª ed. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 43 p.
- CELESTINO, Danilo et al. Laboratório de desenvolvimento de ideias: estudo do caso da construção de placa fotovoltaica de leds. In: Anais: XLII–Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Juiz de Fora. 2014.
- DALASTRA, Cleiton et al. Head lettuce production and nutrition in relation to nutrient solution flow. Horticultura Brasileira, v. 38, n. 1, p. 21-26, 2020.
- DA TRINDADE LÉLIS, Alexandre et al. Níveis de ferro no desenvolvimento de alface crespa em sistema hidropônico NFT Iron levels in the development of curly lettuce in an NFT hydroponic system Niveles de hierro en el desarrollo de lechuga crespa en sistema.
- DE CARVALHO, Fernanda Santos; LAGE, Eduardo Gouveia Santiago. Método de análise e dimensionamento do sistema fotovoltaico ongrid. Technology Sciences, v. 1, n. 2, p. 24-36, 2019.

EMBRAPA. Mudanças climáticas e produção de hortaliças: Projeções, Impactos, Estratégias Adaptativas e Mitigadoras. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1020911/1/MUDANCAS-CLIMATICAS-E-PRODUCAO-DE-HORTALICAS.pdf>. 2015.

FALLOVO, Carlo et al. Yield and quality of leafy lettuce in response to nutrient solution composition and growing season. *J. Food Agric. Environ*, v. 7, n. 2, p. 456-462, 2009.

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

FRASETYA, B.; HARISMAN, K.; RAMDANIAH, N. A. H. The effect of hydroponics systems on the growth of lettuce. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2021. p. 042115.

Frick J., Mitchell C.A. 1993. Stabilization of pH in solidmatrix hydroponic systems. *HortScience* 28: 981– 984. DOI: 10.21273/hortsci.28.10.981.

FURLANI, A.M.C. Nutrição mineral. In: Kerbaui, G.B. *Fisiologia Vegetal*. v.1. Rio de Janeiro. Ed. Guanabara Koogan. 2004.

GAIKWAD, Dinkar J.; MAITRA, Sagar. Hydroponics cultivation of crops. *Protected Cultivation and Smart Agriculture*, p. 279-287, 2020.

GASHGARI, Raneem et al. Comparison between growing plants in hydroponic system and soil based system. In: *Proceedings of the 4th World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering*. Madrid, Spain: ICMIE, 2018. p. 1-7.

GEBERT, Alice; MULLER, Rafaela; CASAGRANDE, Deise. *ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA*. Feira Regional de Matemática, v. 1, n. 1, 2017.

HOCHMUTH G.J. 2001. Fertilizer management for greenhouse vegetables. *Florida greenhouse vegetable production handbook*, vol. 3. HS787. Florida Cooperative Extension Service, University of Florida. <http://edis.ifas.ufl.edu/cv265> [accessed August 5, 2018]

ISLAMIATI, Yurika et al. IoT Monitoring for Solar Powered Pump Applied in Hydroponic House. *International Journal of Research in Vocational Studies (IJRVOCAS)*, v. 2, n. 2, p. 22-30, 2022.

MANGUEIRA, Vinícios dos Santos. Sistema de monitoramento e controle para hidroponia de pequeno porte. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso.

MARTINEZ, H.E.P. O uso do cultivo hidropônico de plantas em pesquisa. Viçosa. UFV. 2002.

MARTINEZ, H. E. P. Formulação de soluções nutritivas para cultivos hidropônicos comerciais Jaboticabal: Funep, 1997. 31 p.

MARTINS, R.V. História da Hidroponia. Associação Brasileira de Hidroponia, s.d. Disponível em: Acesso em 15/03/2021.

NETO, Egídio Bezerra; BARRETO, Levy Paes. As técnicas de hidroponia. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica, v. 9, n. 1, p. 107-137, 2012.

OLIVEIRA, Gabriela Barbacovi; LEITE, Daniel Carvalho. COMPARAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DA ALFACE EM SISTEMA DE HIDROPONIA. 2021.

PALANDE, Vaibhav; ZAHEER, Adam; GEORGE, Kiran. Fully automated hydroponic system for indoor plant growth. Procedia Computer Science, v. 129, p. 482-488, 2018.

PECLY, José Otavio Goulart. VIABILIDADE DO USO DE ENERGIA SOLAR PARA A RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA EM UMA PEQUENA CULTURA HIDROPÔNICA. 2017.

RAMOS, Lara Caroline et al. Análise da viabilidade e dimensionamento de placas fotovoltaicas para uma microempresa do setor de alimentos. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 3, p. 29593-29614, 2021.

RESH H.M. 2004. Hydroponic Food Production, 6 th ed. Newconcept Press, Mahwah, USA, 567 p.

ROBREDO, Patricia; QUIROGA, Mirta; ECHAZÚ, Ricardo. Análisis comparativo de soluciones nutritivas en cultivos hidropónicos en invernadero. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, v. 4, 2000.

SANTOS, Esteicy Espanholo Kaus et al. HIDROPONIA CASEIRA NFT DE BAIXO CUSTO. Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação (EIGEDIN), v. 4, n. 1, 2020.

SHISHIDO, Alan Hideyuki et al. Sistema de monitoramento e inserção automática de nutrientes em horta hidropônica de alface em sistemas NFT. 2021.

SIHOMBING, P. et al. Automated hydroponics nutrition plants systems using arduino uno microcontroller based on android. In: Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2018. p. 012014.

SILVA, Cristopher Ferraz Rodrigues E. et al. Energia fotovoltaica aplicada em sistema hidropônico. 2022.

SOARES, I. Alface: cultivo hidropônico. Fortaleza: UFC, 2002.

STAFF, H. Hidroponia 2. ed. Cuiabá: Sebrae/MT, 1998. 86 p.

TEIXEIRA, Fabrício Palla et al. Physiological and biochemical aspects of tomato seedlings treated with prohexadione-calcium. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, 2021.

VERDONCK, O.; VLEESCHAUWER, D.; BOODT, M. The influence of the substrate to plant growth. *Acta Horticulturae*, Wageningen, v. 126, p. 251-258, 1981.

WHIPKERB.E., Bailey D.A., Nelson P.V., Fonteno W.C., Hammer P.A. 1996. A novel approach to calculate acid additions for alkalinity control in greenhouse irrigation water. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 27: 959–976. DOI: 10.1080/00103629609369610.