



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL



IRACEMA CARLA CALIXTO DA SILVA

**MONITORAMENTO PARA AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS EM CULTIVOS
HIDROPÔNICOS: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA**

RECIFE

2024

IRACEMA CARLA CALIXTO DA SILVA

**MONITORAMENTO PARA AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS EM CULTIVOS
HIDROPÔNICOS: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Emanuel Di Tarsodos Santos Sousa.

RECIFE

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S586m SILVA, IRACEMA CARLA CALIXTO DA
MONITORAMENTO PARA AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS EM CULTIVOS HIDROPÔNICOS: UMA
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA / IRACEMA CARLA CALIXTO DA SILVA. - 2024.
68 f.

Orientador: Emanuel Di Tarso dos Santos Sousa.
Inclui referências.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, , Recife,
2024.

1. Automação. 2. Cultivos Hidropônicos. 3. Monitoramento Ambiental. 4. Monitoramento da solução
nutritiva. 5. Tecnologias. I. Sousa, Emanuel Di Tarso dos Santos, orient. II. Título

CDD

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ser minha força motriz, por iluminar meu caminho e me conceder a determinação necessária para enfrentar cada obstáculo nestes anos de graduação.

Agradeço à minha querida filha, Esther Marina, minha maior fonte de inspiração e motivação, por muitas vezes compreender as minhas ausências, por ser minha companheira nos momentos de estudo e por me ensinar, dia após dia, o verdadeiro significado da renúncia e do amor incondicional.

Agradeço aos amigos Vanessa Andrade, Maria Vitória Neves, Danilo Barros, Julia Gabriela e Vanessa Rayane, que estiveram ao meu lado, juntos, em muitos desafios acadêmicos (surtos rs), por cada momento de estudo compartilhado, por cada palavra de incentivo e por cada abraço nos momentos de dúvida e desânimo. Amizades que ultrapassaram as barreiras da universidade e já são parte da minha vida.

Agradeço à minha mãe Maria Auxiliadora Calixto, e ao meu esposo, Jean Baptiste Joseph, por cuidarem da nossa amada Esther Marina, por serem meu suporte emocional em momentos de angústia, e por compreenderem a importância deste sonho em minha vida. Aos demais familiares e amigos, que torceram pela minha vitória, como tia Gracinha Calixto, primo Alexandre Calixto, amigas Érica Bezerra, Carolina Silva, Mirella Alcoforado, Virgínia Pontes e todos os que tiveram que me ouvir falar cotidianamente da minha vida acadêmica, que compreenderam meus momentos de ausências sociais, para estudar.

Aos professores que desde o início do curso fizeram a diferença na minha jornada para conclusão do curso, e ficarão marcados na memória como Amélia Nascimento, Amilton Santos Junior, Daniela Amorim, Edivan de Souza, Ênio Farias, Gledson Pontes, Isis Quinteiro, Levy Paes, Marianne Barboza e ao meu orientador deste Trabalho de Conclusão de Curso Emanuel Sousa: meus sinceros agradecimentos por seu comprometimento, dedicação e inspiração. Suas palavras e ensinamentos foram fundamentais para o meu crescimento pessoal e profissional, e por isso serei eternamente grata.

RESUMO

No contexto atual de aumento da fome global e crescimento populacional, é crucial implementar práticas tecnológicas para aumentar a produtividade agrícola e reduzir desperdícios. Este trabalho realizou uma revisão bibliográfica sobre o uso de tecnologias de monitoramento das variáveis ambientais e da solução nutritiva em cultivos hidropônicos, visando identificar avanços na automação de processos para produção agrícola nessa modalidade. Foram consultadas 82 fontes entre 2010 e 2023, identificando 16 trabalhos que utilizaram tecnologias de hardware e software para automação em sistemas hidropônicos. Controladores como ESP32, Arduino Nano e Arduino Mega foram empregados para monitorar e controlar variáveis ambientais e de solução nutritiva, enquanto bombas peristálticas e válvulas solenoides garantiram dosagem precisa e controle do fluxo de água. Softwares como C++, Dart, Matlab, Arduino IDE, LabView, Blynk e ThingSpeak foram utilizados para programação e integração de dados, enquanto plataformas online como Firebase, framework Flutter e MQTT foram empregadas para armazenamento, visualização e comunicação de dados em tempo real. Embora ofereçam vantagens como maior eficiência e economia de recursos, o uso dessas tecnologias enfrenta desafios significativos, incluindo a necessidade de conhecimento técnico especializado e dependência de conectividade.

PALAVRAS-CHAVE: Automação, Cultivos Hidropônicos, Monitoramento Ambiental, Monitoramento da solução nutritiva, Tecnologias.

ABSTRACT

In the current context of global hunger and exponential population growth, implementing technological practices to increase agricultural productivity and reduce waste is crucial. This paper conducted a bibliographic review on the use of monitoring technologies for environmental variables and nutrient solution in hydroponic farming, aiming to identify advancements in process automation for agricultural production in this modality. 82 sources were consulted between 2010 and 2023, identifying 16 works that used hardware and software technologies for automation in hydroponic systems. Controllers like ESP32, Arduino Nano, and Arduino Mega were employed to monitor and control environmental and nutrient solution variables, while peristaltic pumps and solenoid valves ensured precise dosing and water flow control. Software such as C++, Dart, Matlab, Arduino IDE, LabView, Blynk, and ThingSpeak were used for programming and data integration, while online platforms like Firebase, Flutter framework, and MQTT were employed for real-time data storage, visualization, and communication. Although offering advantages such as increased efficiency and resource savings, the use of these technologies faces significant challenges, including the need for specialized technical knowledge and connectivity dependence.

KEYWORDS: Automation, Hydroponic crops, Environmental monitoring, Nutrient solution monitoring, Technologies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Três dimensões da agricultura inteligente moderna. (Fonte: Hati & Singh (2021)).....	14
Figura 2 - Presença percentual de AgTechs nas regiões brasileiras. Fonte: Adaptado de Massruhá (2020).....	15
Figura 3 - Fluxograma de tipos de cultivo sem solo. Adaptado de Joshi et al. (2022)	17
Figura 4 - (a) Sistema hidropônico aberto e (b) sistema hidropônico fechado. Fonte: Savvas (2013) ..	18
Figura 5 - Desenho esquemático de um sistema NFT. Fonte: Sharma et al (2018)	19
Figura 6 - Sistema de Fluxo e Refluxo ou Sub-irrigação. Fonte: Sharma et al (2018)	20
Figura 7 - Desenho Esquemático do Sistema DFT. Fonte: Sharma et al (2018)	20
Figura 8 - Desenho esquemático do Sistema Floating. Fonte: Sharma et al (2018).....	21
Figura 9 - Desenho Esquemático do Sistema Hidropônico de gotejamento. Fonte: SHARMA (2018).	21
Figura 10 - Diagrama esquemático de um sistema aeropônico. Fonte: Carlet (2019), Adaptado de Buckseth et al. (2016).....	22
Figura 11 -Visão interna e externa do Cultivo Hidropônico Esther 4.0 em Estufa no DEM (Departamento de Energia Nuclear - UFPE).....	28
Figura 12 - Sensor de pH modelo RK500-12 do fabricante Rika Sensors. Fonte: Trevisan (2020).	31
Figura 13 - <i>Sensor Para Medidor Condutividade Bancada C230</i> . Fonte: RoboCore (2023)	31
Figura 14 - Sensor de temperatura DS18B20 a Prova D'água. Fonte: Eletrogate (2024).....	32
Figura 15 - Sensor DHT11. Fonte: RoboCore (2023).....	32
Figura 16 - Sensor ISE de nitrato em: (a) unidade de leitura (b) bancada de hidroponia.	32
Figura 17 - Módulo sensor de luminosidade luz LDR. Fonte: RoboCore (2023).	33
Figura 18 - Arduino UNO. Fonte: Google (2023).....	33
Figura 19 - Bomba peristáltica Fonte: Google (2023)	34
Figura 20 - Bomba submersível. Fonte: Shimoda et al. (2023)	35
Figura 21 - Minibomba de água. Fonte: Shimoda et al. (2023).....	35
Figura 22 - Válvula solenoide. Fonte: Robocore (2023)	35
Figura 23 - Válvula solenoide. Fonte: Robocore (2023)	36
Figura 24 - Módulo Relé Serial. Fonte: Shimoda et al. (2023).....	36
Figura 25 - Lâmpadas LED Red / Blue (especifica para crescimento de plantas) 220v.	37
Figura 26 - (a) Display LCD display 16x2 (b) Display em funcionamento no Sistema Hidropônico Esther 4.0.	37
Figura 27 - Códigos das categorias pesquisadas. Fonte: INPI (2024).....	42
Figura 28 - Fluxograma da categorização adotada para os trabalhos revisados.	43
Figura 29 - Síntese das etapas da metodologia	44
Figura 30 - Quantidades de Trabalhos analisados nesta revisão bibliográfica sistemática.	46
Figura 31 - - Quantidades de Trabalhos "T2" analisados de acordo com os países.....	47
Figura 32 - Anos de publicações dos Trabalhos analisados.	47
Figura 33 - Culturas hidropônicas dos trabalhos analisados.	48
Figura 34 - Quadro com ranking dos 10 país com mais tecnologias de monitoramento e automação para hidroponia patenteadas no mundo. Fonte: Global Brand Database (wipo.int) (2024).....	49
Figura 35 - Mapa dos países com depósitos de patentes contendo tecnologias de monitoramento e automação para hidroponia no mundo. Fonte: Global Brand Database (wipo.int) (2024).....	49
Figura 36 - Sensores e parâmetros da solução nutritiva monitorados.....	50
Figura 37 - Sensores e parâmetros ambientais monitorados.	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faixas de tolerância e valores ideais de alguns parâmetros da solução nutritiva.....	22
Tabela 2 - Resumo das Vantagens do cultivo em hidroponia de acordo com os Autores	54
Tabela 3 - Resumo dos desafios do cultivo em hidroponia de acordo com os Autores	55

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a.C	antes de Cristo
AD	Agricultura Digital
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
AP	Agricultura de Precisão
CE	Condutividade Elétrica
CEA	Controlled Environment Agriculture (Agricultura de Ambiente Controlado)
CO ₂	Dióxido de carbono
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
GPS	<i>Global Positioning System</i> (Sistemas de Posicionamento Global)
IA	Inteligência Artificial
INPI	Instituto Nacional de Propriedade Industrial
IoT	<i>Internet Of Things</i> (Internet das Coisas)
LDR	<i>Light Dependent Resistor</i> (Resistor dependente de luz)
LED	<i>Light Emitting Diode</i> (Diodo emissor de luz)
NFT	<i>Nutrient Film Technique</i> (Técnica de Filme Nutricional)
OD	Oxigênio Dissolvido
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
pH	Potencial Hidrogeniônico
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
UR	Umidade Relativa
WIPO	<i>World Intellectual Property Organization</i> (Organização Mundial da Propriedade Intelectual)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivo Geral	12
2.2	Objetivos Específicos	12
3	REVISÃO DE LITERATURA	12
3.1	Panorama Histórico Das Tecnologias Na Agricultura	12
3.2	Bancos De Patentes	16
3.3	Os Cultivos Hidropônicos	16
3.4	Definições E Tipos De Sistemas Hidropônicos	18
3.5	Principais Parâmetros Monitorados Em Sistemas Hidropônicos	22
3.5.1	Ph (Potencial Hidrogênico)	22
3.5.2	Temperatura	24
3.5.3	Condutividade Elétrica (CE)	24
3.5.4	Oxigênio Dissolvido (OD)	26
3.5.5	Nutrientes	26
3.5.6	Ambiente e Variáveis Ambientais	27
3.6	Monitoramento De Parâmetros Físico-Químicos Da Solução Nutritiva Para Automação Em Sistemas Hidropônicos	29
3.7	Hardwares Em Sistemas Hidropônicos	30
3.7.1	Sensores	30
3.7.2	Controladores	33
3.7.3	Atuadores	34
3.7.4	Outros Componentes	37
3.8	Softwares, IoT, Inteligência Artificial, Big Data, Armazenamentos De Dados	

Em Sistemas Hidropônicos	38
3.8.1 Softwares	38
3.8.2 IoT (Internet Of Things).....	39
3.8.3 IA (Inteligência Artificial)	40
4 METODOLOGIA	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
5.1 Análise Quantitativa E Qualitativa Dos Trabalhos Que Utilizaram Tecnologias De Monitoramento Para Automação Das Variáveis Ambientais E Da Solução Nutritiva Em Cultivos Hidropônicos, Entre Os Anos De 2010 E 2023	45
5.2 Tecnologias De Monitoramento Para Automação Das Variáveis Ambientais E Da Solução Nutritiva Em Cultivos Hidropônicos, Entre Os Anos De 2010 E 2023.....	50
5.3 Vantagens E Desafios No Uso De Tecnologias De Monitoramento Em Cultivos Hidropônicos, Conforme Os Resultados Obtidos Pelos Autores Revisados	53
5.4 Considerações Sobre Os Resultados Dos Trabalhos Revisados	56
6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

A fome global persiste, com 900 milhões de pessoas em severa insegurança alimentar em 2023, incluindo 83 milhões na América Latina e Caribe, um aumento atribuído aos impactos da pandemia de COVID-19 (FAO, FIDA, OMS, PMA e UNICEF, 2023). A ONU prevê que a população mundial chegará a 9,7 bilhões em 2050, demandando um aumento de 70% na produção de alimentos, exigindo investimentos no agronegócio e na agricultura familiar.

No Brasil, apesar de sua reputação agrícola, em 2022, 70,3 milhões de pessoas enfrentavam insegurança alimentar moderada e 21,1 milhões, insegurança alimentar severa (FAO, 2023). O semiárido brasileiro enfrenta fome devido à escassez de recursos hídricos, dificultando a produção de alimentos.

O aumento populacional e a demanda por alimentos destacam preocupações sobre a disponibilidade futura de solo para agricultura. Práticas agrícolas insustentáveis e a degradação do solo são desafios identificados por Montgomery (2007) e a FAO (2018). A irrigação convencional, muitas vezes ineficiente, é responsável por cerca de 75% do consumo de água no Brasil (ANA, 2019), exacerbando a escassez global de água e a necessidade de melhorar as técnicas de produção alimentar.

No contexto atual, a agricultura baseada no solo enfrenta desafios significativos devido à urbanização, alterações climáticas, catástrofes naturais e uso indiscriminado de produtos químicos e pesticidas (Sharma, 2018). A poluição de corpos d'água e a crescente escassez hídrica interrompem o ciclo natural da água, tornando imperativa a adoção de práticas de reutilização de água.

Em resposta, a hidroponia se destaca como um método alternativo à produção em solo, caracterizado por seu alto nível de tecnificação, produtividade e rendimento superior às técnicas convencionais (Furlani et al., 1999; Al-Tawaha et al., 2018). Conforme Furlani (1999), a hidroponia é uma técnica de cultivo de plantas que se desenvolve sem solo, onde as raízes das plantas são suspensas em uma solução nutritiva que fornece todos os nutrientes essenciais necessários para o seu crescimento e desenvolvimento.

Essa técnica permite um controle mais preciso dos nutrientes fornecidos às plantas, resultando em um maior rendimento e qualidade das culturas. A técnica é amplamente utilizada devido à sua capacidade de produção ao longo do ano (Heintze, 2018). Para garantir a manutenção da produção e qualidade de cultivos hidropônicos, é essencial enfrentar desafios como alterações nos parâmetros ideais devido a fatores climáticos, falhas elétricas ou

humanas, que podem resultar em perdas de produção (Santos, 2021).

As flutuações climáticas impactam as condições de crescimento das culturas, demandando ajustes imediatos para manter o desempenho das plantas. O monitoramento remoto é benéfico não apenas para os agricultores, mas especialmente para as mulheres na agricultura, que enfrentam desafios adicionais devido aos seus múltiplos papéis na sociedade (Silva et al., 2024).

O monitoramento de variáveis ambientais e da solução nutritiva é crucial para garantir um desenvolvimento vegetativo saudável e de qualidade. Tecnologias como sensores, IoT (Internet of Things), IA (Inteligência Artificial) e desenvolvimento de aplicativos podem permitir tomadas de decisões mais assertivas e eficientes (Massruhá, 2020).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Realizar uma revisão bibliográfica das tecnologias de monitoramento das variáveis ambientais e da solução nutritiva, visando a automação de processos em cultivos hidropônicos.

2.2 Objetivos Específicos

- Analisar quantitativa e qualitativamente os trabalhos que utilizaram tecnologias de monitoramento para automação das variáveis ambientais e da solução nutritiva em cultivos hidropônicos, entre os anos de 2010 e 2023;
- Identificar tecnologias de monitoramento para automação das variáveis ambientais e da solução nutritiva em cultivos hidropônicos, entre os anos de 2010 e 2023;
- Destacar as vantagens e desafios no uso de tecnologias de monitoramento em cultivos hidropônicos, conforme os resultados obtidos pelos autores revisados.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Panorama Histórico Das Tecnologias Na Agricultura

A prática da agricultura é uma das mais antigas atividades desenvolvidas pelos humanos. De acordo com Pena (2024), no Período Neolítico, a constituição das primeiras técnicas e materiais utilizados para o cultivo de plantas e confinamento de animais foi a principal causa da sedentarização do ser humano, o que permitiu a sua moradia fixa e desenvolvimento das primeiras cidades.

Após a Segunda Guerra Mundial, a evolução da agricultura conheceu um de seus

patamares mais importantes, o que ficou conhecido como Revolução Verde. Trata-se, basicamente, de um conjunto de medidas e promoção de técnicas baseadas na introdução de melhorias genéticas nas plantas e na evolução dos aparatos de produção agrícola para ampliar, sobretudo, a produção de alimentos (Pena, 2024).

A chamada Agricultura 4.0 está inserida no cenário da Quarta Revolução Industrial, que engloba inovações tecnológicas na automação, controle e tecnologia da informação, como o compartilhamento de dados, edição de genomas e Inteligência Artificial, aplicadas a processos que ocorrem nas lavouras.

O conceito envolve fazendas totalmente monitoradas por meio de sensores que são interligados à Internet (Internet das Coisas) e geram um grande volume de dados que serão filtrados, armazenados em um sistema de nuvens e, posteriormente, analisados (Vasconcelos, 2018).

A agricultura de precisão, que visa ao gerenciamento mais detalhado de todos os processos envolvidos na produção, segundo a Embrapa, torna-se um dos grandes pilares estruturadores do agronegócio digital. Isso por esta se tratar de um sistema de gestão da produção agrícola, utilizando um elenco de tecnologias e procedimentos para que os sistemas de produção sejam otimizados, tendo como elemento-chave o gerenciamento da variabilidade espacial da produção e dos fatores nela envolvidos” (MOLIN, 2004).

No contexto atual, a tecnologia encontrou um terreno fértil no agronegócio brasileiro. Já começa a mudar os resultados de safras, diminuir as perdas, dar precisão à agricultura, aumentar a produção leiteira, rastrear o comércio de carne, reduzir incêndios. O setor é impulsionado pela Internet das Coisas, Inteligência artificial, drones, edição genômica, *big data*, algoritmos. (Revista Fonte, 2018).

Neste cenário novos conceitos emergem. Conforme Luchiari Junior et al. (2014) um termo usado para contextualizar o atual cenário tecnológico no setor agroindustrial é o AgroTIC, sendo definido como: a junção de hardware, software e instrumentos de produção que possibilitam coleta, armazenamento e processamento de grandes volumes de dados, automatização de processos, troca, e manejo da informação e do conhecimento.

Antonello et al. (2016) destacam o que chamaram de “microfazendas”, estruturas reduzidas para a produção de alimentos através de técnicas de hidroponia. Além de pequena, pode ser portátil e instalada em qualquer residência para a produção de alimentos sendo possível misturar tipos diferentes de plantas, principalmente no caso de ser automatizada, ou seja, possuir gerenciamento inteligente da produção.

Hati & Singh (2021) chamaram de *Smart Indoor Farms* (Agricultura Inteligente

moderna) os cultivos que incorporam três importantes características: *soilless farming* (agricultura sem solo), *energy harvesting* (energias renováveis), e *smart technologies* (tecnologias inteligentes), conforme apresenta a Figura 1.

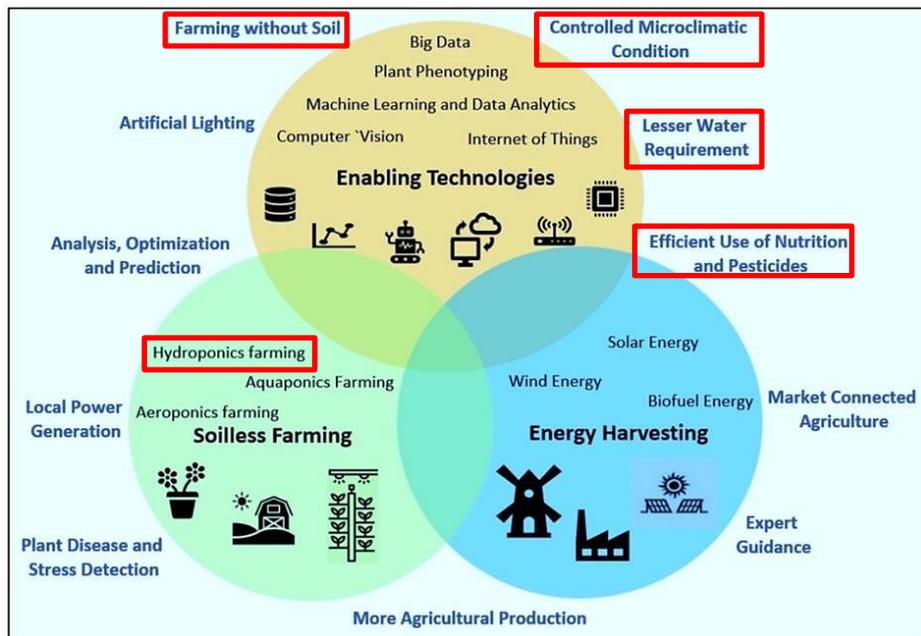


Figura 1 - Três dimensões da agricultura inteligente moderna. (Fonte: Hati & Singh (2021))

Os autores defendem que incorporação de agricultura sem solo, uso de energias renováveis (local) e tecnologias inteligentes promove benefícios como: otimização da utilização dos recursos necessários; fornecimento de uma infraestrutura autônoma com soluções independente das condições climáticas externas; proporciona uma melhor orientação ao agricultor ou ao gestor através da partilha de informações e previsões relevantes e previsões; afina o processo de monitorização, controle e gestão para uma maior produção.

A Agricultura Digital (AD) vem sendo implantada no Brasil como uma resposta à transformação digital que está ocorrendo em todos os setores da sociedade, resultando no maior uso das Tecnologias da Informação e da Comunicação (TICs), aliadas às tecnologias disruptivas, que preconizam a nova revolução industrial, a Indústria 4.0 (Masshurá, 2020).

Os autores afirmam ainda que além de abranger as inovações tecnológicas, a agricultura 5.0 precisa englobar, também, características que possibilitam a produção de mais alimentos em menos área e com menos insumos. Assim, abre-se uma oportunidade para o crescimento de cultivos agrícolas por meio de sistemas hidropônicos.

No âmbito da agricultura digital, surgem as fazendas digitais ou inteligentes (*Smart-Farms*) na fase de produção (Pivoto et al., 2018). Nestas fazendas, a exploração agropecuária é altamente conectada, monitorada e automatizada em uma infraestrutura

totalmente integrada. Este tipo de agricultura é empregada, utilizando sensores espalhados pela propriedade, conectados à Internet das coisas (IoT), gerando grandes volumes de dados (*Big Data*) que requerem filtragem, armazenamento na computação em nuvem, e análise seguida de tomada de decisão, que pode ser realizada por uma Inteligência Artificial (IA).

A habilidade de utilizar as tecnologias digitais para converter os dados preciso sem conhecimento para apoiar e impulsionar a complexa tomada de decisões na fazenda e ao longo da cadeia de valor permitirá a mudança da agricultura de precisão para a agricultura de decisão (Shepherd et al., 2018). O uso de inteligência artificial e de robôs agrícolas autônomos para atuar na agricultura leva a uma nova fase, que é a agricultura 5.0 (*European Agricultural Machinery Association, 2017*).

No Brasil, Massruhá et al. (2020) chamou de *AgTechs* as empresas de tecnologias aplicadas à agricultura com papel central na oferta e disseminação de tecnologias e inovações para os produtores, utilizando-se de novos modelos de negócios, e na interação com instituições de ensino, centros de pesquisa, investidores, grandes corporações e outras organizações de apoio à inovação. A Figura 2 mostra a região nordeste em penúltimo lugar em quantidade de *Agtechs*, ainda conforme os autores.

Região	AgTechs (%)
Sudeste	66
Sul	23
Centro – Oeste	6,5
Nordeste	3,4
Norte	1,1

Figura 2 - Presença percentual de *AgTechs* nas regiões brasileiras. Fonte: Adaptado de Massruhá (2020)

Organizações brasileiras foram identificadas por Bambini & Bonacelli (2019) com papel relevante para a inovação agrícola que possuem capilaridade nacional: Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae); Sistema Senai-Sesi-IEL, formado pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), o Serviço Social da Indústria (Sesi); Unidades de Pesquisa da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), com forte influência regional; Serviço Nacional de Aprendizagem Rural; e a Rede de Extensão Rural Pública, vinculada aos governos estaduais e presente em todo o País.

Em Pernambuco, além da FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco), que desempenha um papel importante no financiamento de projetos de pesquisa e inovação em diversas áreas, incluindo tecnologias agrícolas, há outros órgãos e

instituições estaduais. Alguns exemplos incluem: Secretaria de Desenvolvimento Econômico de Pernambuco (SEDEC); SEBRAE Pernambuco; Banco do Nordeste (BNB); Embrapa Semiárido. Universidades e Instituições de Ensino Superior como a Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) possuem um papel importante na pesquisa e desenvolvimento de tecnologias agrícolas, bem como na formação de profissionais qualificados nessa área.

3.2 Bancos De Patentes

Os bancos de patentes tem desempenhado um papel importante no avanço da tecnologia e na proteção dos direitos de propriedade intelectual, além de ser uma ferramenta importante para a inovação, a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico em diversos setores da economia. Atualmente, tem-se ferramentas para patentear novas tecnologias criadas para diversos fins, incluindo no setor agrícola, a exemplo do Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) e da *World Intellectual Property Organization* (WIPO).

O INPI adota a Classificação Internacional de Patentes e, desde 2014, a Classificação Cooperativa de Patentes para classificar os pedidos. A classificação de patente tem como objetivo inicial o estabelecimento de uma ferramenta de busca eficaz para a recuperação de documentos de patentes pelos escritórios de propriedade intelectual e demais usuários, a fim de estabelecer a novidade e avaliar a atividade inventiva de divulgações técnicas em pedidos de patente (BRASIL, 2019).

A WIPO é uma agência especializada das Nações Unidas dedicada à promoção da proteção da propriedade intelectual em nível global. Oferece serviços e recursos para facilitar o registro internacional de patentes, marcas registradas e outros direitos de propriedade intelectual. Promove o desenvolvimento e a disseminação de conhecimentos sobre propriedade intelectual, incluindo o acesso a informações sobre patentes e assistência técnica para países em desenvolvimento (WIPO, 2023).

3.3 Os Cultivos Hidropônicos

O cultivo de plantas sem utilizar o solo como meio de enraizamento é conhecido como agricultura sem solo. De acordo com Joshi et al. (2022) dependendo das necessidades e do tipo de cultura, existe uma variedade de sistemas sem solo, incluindo a cultura em solução nutritiva (estática ou fluxo contínuo), cultivos em substratos e a aeroponia (Figura 3).



Figura 3 - Fluxograma de tipos de cultivo sem solo. Adaptado de Joshi et al. (2022)

Nos sistemas baseados em substrato, este não contribui com nutrientes nem com adsorção ou troca iônica (Raviv et al., 2019). Assim, os substratos são inertes, a exemplo dos meios sólidos como esponjas fenólicas e bioespumas (Ereno, 2007). Utiliza-se também outros substratos como o bagaço de cana de açúcar, argila expandida, serragem, perlita, casca de arroz, pó de coco (Bezerra Neto & Barreto, 2012), que pela carga orgânica pode influenciar na solução hidropônica.

No cultivo em solução, pode-se utilizar fontes de nutrientes mineral, organo-mineral e bioponia. As fontes de nutrientes minerais tais como sais solúveis de elementos como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, entre outros. O uso de nutrientes minerais em cultivo hidropônico é amplamente reconhecido por sua eficácia na promoção do crescimento vegetal. Por exemplo, a solução nutritiva de Hoagland, desenvolvida por Hoagland e Arnon (1950), é uma formulação bem conhecida e amplamente utilizada.

As fontes de nutrientes organo-minerais são compostas por uma combinação de componentes orgânicos e inorgânicos. Essas fontes podem incluir substâncias como compostos de aminoácidos, ácidos húmicos e fúlvicos, bem como extratos de algas (Canellas et al., 2010).

A bioponia consiste em um método de cultivo hidropônico em que não são utilizados fertilizantes sintéticos e defensivo agrícola sintético, similar ao que ocorre no cultivo orgânico. São utilizados biofertilizantes para a nutrição mineral e produtos alternativos para o controle fitossanitário (Dores, 2012). Utilizando a mesma metodologia da compostagem, na técnica há uso de resíduos animais e vegetais como esterco e palhas, e produção composto específico, levando em conta a composição destes ingredientes para atender as demandas das plantas, e quando necessário complementar o composto com fosfatos naturais (fósforo), cinzas vegetais (potássio) e calcário (cálcio, magnésio e pH) (Sanchez, 2015).

De acordo Carvalho et al. (2014) a bioponia envolve também a utilização de microorganismos que podem interagir com a matéria orgânica, liberando nutrientes

essenciais para as plantas em formas disponíveis para absorção. Ainda de acordo com o autor, a inoculação de microrganismos benéficos, como bactérias fixadoras de nitrogênio e micorrizas, pode melhorar significativamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas em sistemas hidropônicos.

3.4 Definições E Tipos De Sistemas Hidropônicos

O termo Hidroponia deriva das palavras gregas *Hydro* (água) e *ponos* (trabalho) e literalmente significa “trabalho com água” (Sharma, 2018). A primeira referência em literatura sobre cultivos hidropônicos é do pesquisador inglês John Woodward (1665–1728) que cultivou plantas de menta (*Mentha spicata*) em vasos com água da chuva, torneira, enxurrada e líquido de esgoto diluído, tendo observado neste último um maior crescimento nas plantas cultivadas. (FURLANI et al., 2009).

Em "Hydroponics: A Practical Guide for the soilles grower," Jones Jr. (2005) conceitua hidroponia como uma prática agrícola que emprega sistemas sem solo, utilizando substratos inertes ou soluções nutritivas para fornecer os elementos essenciais para o crescimento das plantas. Raviv et al. (2019), em "*Soiless Culture: Theory and Practice*," definem hidroponia como um sistema de cultivo que visa maximizar a eficiência no uso de recursos hídricos, minimizando a dependência do solo. Os autores ressaltam ainda a importância do controle ambiental total, incluindo fatores como luz, temperatura e umidade, para otimizar o cultivo hidropônico.

Os sistemas hidropônicos, podem ser classificados com base diversos critérios. Savvas (2013) divide os sistemas em abertos e fechados (figura 4), enquanto Resh (2013) categoriza-os de acordo com o método de suporte e Jones Jr. (2016) os classifica com base no tipo de substrato. Putra e Yuliando (2015) destacam a transição dos sistemas de ciclo aberto para ciclo fechado devido à sua eficiência no uso da água. Sharma et al. (2018) categorizam os sistemas conforme a reciclagem da solução nutritiva e dos meios de suporte.

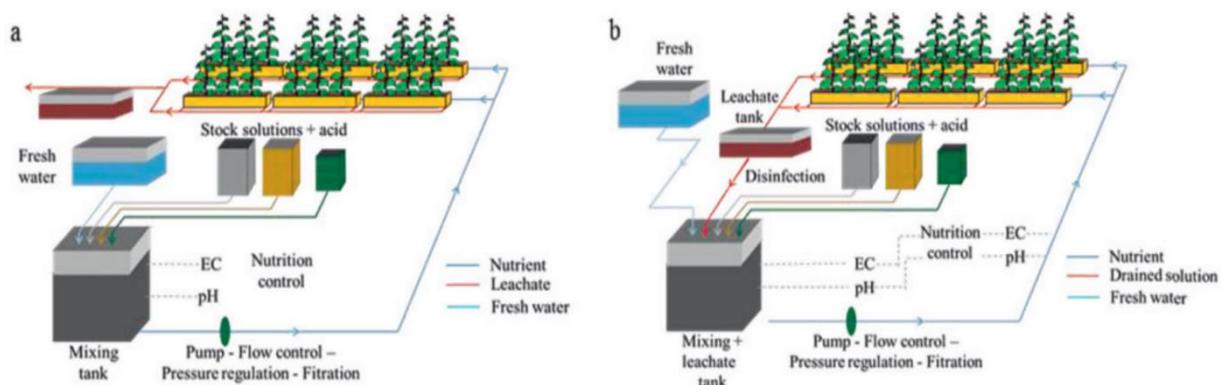


Figura 4 - (a) Sistema hidropônico aberto e (b) sistema hidropônico fechado. Fonte: Savvas (2013)

Os sistemas mais comuns incluem o Nutrient Film Technique (NFT), o de fluxo e refluxo e o Deep Film Technique (DFT). Há ainda outros tipos de sistemas hidropônicos, cada um com suas características específicas e aplicações, em síntese:

- **Sistema Nutrient Film Technique (NFT):** O NFT (*Nutrient Film Technique*) é um dos principais tipos de cultivo hidropônico existentes, representando, de acordo com Albuquerque Neto (2023), 90% dos sistemas hidropônicos presentes no país. Foi desenvolvido em meados dos anos 60 na Inglaterra pelo Dr. Alen Cooper para ultrapassar as deficiências do sistema de fluxo e refluxo. A parte superior dos perfis entra a solução nutritiva e após percorrer toda a extensão do perfil hidropônico, ela é recolhida por gravidade e pode ser de perfis móveis ou fixos (Albuquerque Neto, 2023).

No NFT a bancada é ligeiramente inclinada para que a solução nutritiva passe pelas raízes e desce de volta para um reservatório (figura 5). Silva et al (2024), por exemplo, utilizaram inclinação de $2,7^\circ$ no sistema Esther 4.0. As plantas são colocadas em um canal ou tubo com as raízes penduradas numa solução hidropônica em que muitas folhas verdes podem ser facilmente cultivadas e comercialmente mais utilizado para a produção de alface.

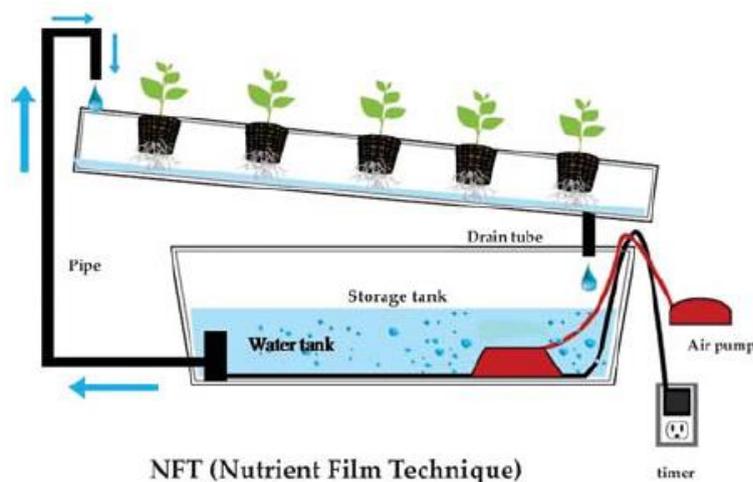
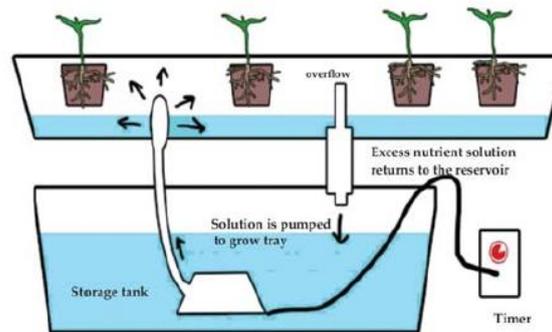


Figura 5 - Desenho esquemático de um sistema NFT. Fonte: Sharma et al (2018)

- **Sistema de Fluxo e Refluxo (Ebb & Flow System):** Também conhecido como sistema de sub-irrigação, este método baseia-se na inundação e drenagem do leito de cultivo. A solução nutritiva é bombeada para o leito de cultivo periodicamente, fornecendo nutrientes e umidade às plantas. Souza (2019) descreve esse sistema como estático, dispensando o uso de energia para acionar válvulas ou bombas, mas exigindo um mecanismo para oxigenar a água. A figura 6 apresenta o desenho esquemático do sistema, composto pelas mudas no substrato e um reservatório posicionado abaixo. A bandeja com as mudas recebe a solução nutritiva, que é bombeada através de um cano e retorna ao

reservatório.



Ebb & Flow System

Figura 6 - Sistema de Fluxo e Refluxo ou Sub-irrigação. Fonte: Sharma et al (2018)

- **Sistema Deep Film Technique (DFT):** método de cultivo hidropônico em que a solução nutritiva é mantida em um reservatório e circulada continuamente sobre as raízes suspensas das plantas através de uma película de água. Este sistema permite que as raízes recebam nutrientes e oxigênio de maneira eficiente enquanto estão suspensas no ar.

Segundo Amalia et al. (2023), no sistema DFT (figura 7), as raízes das plantas são suspensas em uma câmara ou plataforma acima do reservatório contendo a solução nutritiva. Uma bomba submersa é utilizada para circular a solução nutritiva por um sistema de tubos ou canais, garantindo que as raízes sejam constantemente banhadas pela película de água. É necessário manter a profundidade da película de água entre 1 a 2 centímetros para garantir que as raízes recebam oxigênio suficiente para um crescimento saudável (Domingues et al., 2012).

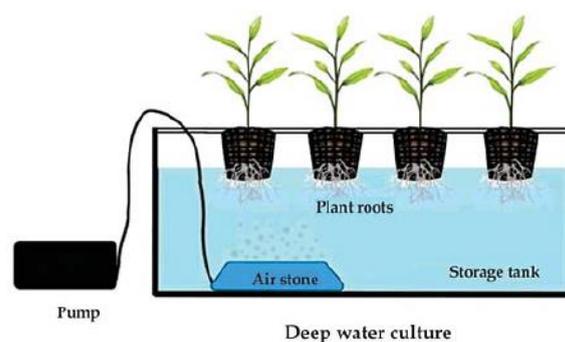


Figura 7 - Desenho Esquemático do Sistema DFT. Fonte: Sharma et al (2018)

- **Sistema de Flutuação (Floating):** Este é um método estático onde as raízes das plantas ficam suspensas na solução nutritiva, sem movimentação da mesma. Souza (2019) destaca que, apesar de dispensar o uso de energia para movimentação da solução, requer um mecanismo para oxigenar a água, como uma pedra de ar, por exemplo (figura 8).

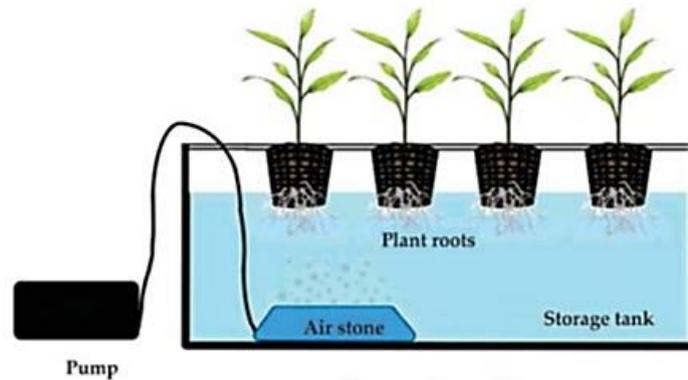


Figura 8 - Desenho esquemático do Sistema Floating. Fonte: Sharma et al (2018)

- **Sistema de Gotejamento:** a água ou a solução nutritiva é distribuída diretamente às raízes das plantas por meio de mangueiras ou tubos ligados a gotejadores ou emissores. Esses dispositivos liberam gotas de forma controlada e gradual, garantindo que as plantas recebam a quantidade adequada de líquido. Roupael et al. (2018) destacam sua eficiência na conservação da água e na possibilidade de cultivar várias culturas sistematicamente (ver figura 9).

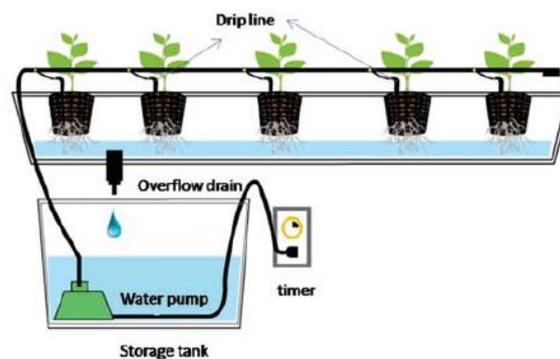


Figura 9 - Desenho Esquemático do Sistema Hidropônico de gotejamento. Fonte: SHARMA (2018).

- **Aeroponia:** A aeroponia consiste em pulverizar a solução nutritiva sobre as raízes, empurrando a solução nutritiva através de vaporizadores, quer continuamente, quer muitas vezes por hora, dentro da zona das raízes. Foi comercializada pela General Hydroponics uma empresa de grande porte instalada nos Estados Unidos e Europa, e controlada, maioritariamente, por cultivadores urbanos (Raviv, 2019).

Vidi (2019) defende que a aeroponia é uma das tecnologias mais avançadas da hidroponia, em que exige um alto investimento dos produtores. De acordo com a autora, o objetivo desse tipo de cultivo é a redução de espaço pois as plantas ficam suspensas no ar, tendo sustentação de canos PVC (Policloreto de polivinila), que podem ser instalados tanto

na horizontal com na vertical, assim tendo um maior aproveitando da área e consequentemente o aumento de produtividade (Ver figura 10).

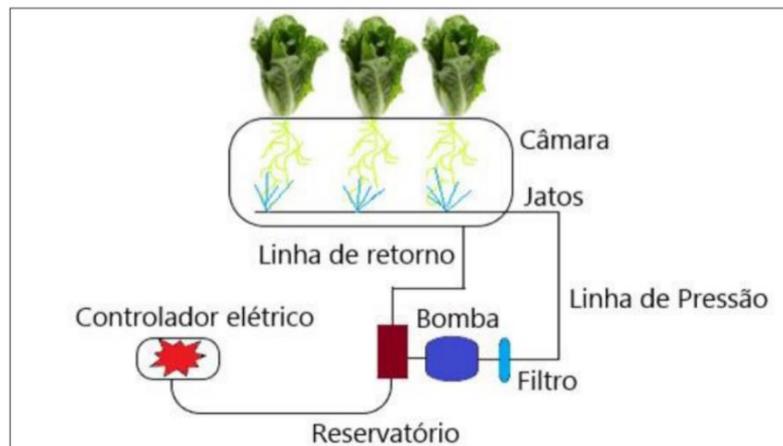


Figura 10 - Diagrama esquemático de um sistema aeropônico. Fonte: Carlet (2019), Adaptado de Buckseth et al. (2016)

3.5 Principais Parâmetros Monitorados Em Sistemas Hidropônicos

As características químicas mais importantes em soluções nutritivas incluem pH, condutividade elétrica (CE) e teor de nutrientes disponíveis. De acordo com Schafer et al. (2022), estas características são responsáveis por toda a dinâmica nutricional e de disponibilidade de água e ar no meio de cultivo, devendo, por tanto, ser conhecidas, testadas e manejadas durante o cultivo.

Desta forma, os autores concluem que é possível estabelecer parâmetros para o cultivo de plantas em recipientes e correlacionar sua influência no desenvolvimento das plantas na pesquisa científica. A Tabela 1 apresenta as faixas de tolerância e valores ideais de parâmetros da solução, propostos por Rakocy *et al.* (2019).

Tabela 1 - Faixas de tolerância e valores ideais de alguns parâmetros da solução nutritiva.

Parâmetros da solução	Faixa de tolerância	Valor ideal
pH	6,0 – 7,5	6,5 – 7,0
Oxigênio Dissolvido	Maior que 3 ppm	Maior que 5 ppm
Temperatura	18 - 30 °C	23 - 25 °C
Condutividade elétrica	Varia conforme a solução/cultura	Varia conforme o solução/cultura

Fonte: Traduzido de Rakocy *et al.* (2019).

3.5.1 Ph (Potencial Hidrogênico)

O potencial de hidrogênio (pH) é a propriedade química mais relevante, pois interfere diretamente na disponibilidade de nutrientes no meio de cultura, especialmente os micronutrientes (Savvas e Gruda, 2018). O termo pH significa potencial hidrogeniônico e

diz respeito a concentração de H^+ e conseqüentemente de OH^- em uma solução. A faixa de pH varia de 0 a 14, em que o pH 7,0 tem caráter neutro, abaixo de 7, ácida, e acima, alcalina.

De acordo com Furlani (1999), a faixa de pH ideal para a maioria das culturas hidropônicas varia entre 5,5 e 6,5. No entanto, é importante ressaltar que o pH ótimo pode variar dependendo das espécies vegetais cultivadas e das condições específicas do sistema hidropônico utilizado. Dentre os parâmetros básicos, o pH da solução nutritiva é um dos mais críticos pois, de acordo com Resh (2013) afeta a absorção de nutrientes pelas plantas, influenciando diretamente seu metabolismo e crescimento.

A disponibilidade e absorção dos nutrientes minerais são bastante influenciadas pelo pH do meio de cultivo. Na faixa de pH entre 6,0 e 7,0 a disponibilidade é máxima para N, P, K, Ca, Mg, S e B, e não é mínima para Cl, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn. Desta forma, é importante monitorar o pH das soluções nutritivas o que normalmente é feito com uso de um peagâmetro (Bezerra Neto & Barreto, 2012).

3.5.2 Temperatura

A temperatura é uma medida da quantidade de calor presente em um sistema. No contexto dos cultivos hidropônicos, a temperatura do ar desempenha um papel significativo na temperatura da solução nutritiva (SN), pois o ar ambiente influencia diretamente a temperatura da solução. Mudanças na temperatura do ar afetam a temperatura da SN, pois há trocas térmicas entre a solução e o ambiente ao redor.

Vieira (2018) afirma que a temperatura da solução influencia tanto no crescimento das plantas, quanto na concentração de oxigênio dissolvido, que diminui conforme a temperatura aumenta. Por este motivo, cuidados devem ser tomados para garantir que a temperatura esteja sempre adequada. No verão, espera-se que a temperatura da solução nutritiva permaneça entre 18°C e 25°C. No inverno, o ideal seria entre 10°C e 16°C. A recirculação da solução nutritiva pode auxiliar na manutenção da temperatura.

A manutenção da temperatura da SN dentro de uma faixa adequada contribui para otimizar a disponibilidade de nutrientes e minimizar riscos de problemas fitossanitários (Jensen, 2010). Rouphael et al. (2018) explicam que, em condições de estufa, tanto a temperatura ambiente como a temperatura da zona das raízes possuem igual importância para o desenvolvimento das plantas, bem como para a manutenção da qualidade dos vegetais produzidos.

A temperatura da SN pode influenciar significativamente outros parâmetros da solução, como pH e condutividade elétrica (CE). Variações na temperatura da SN podem afetar a solubilidade dos sais e a atividade dos íons na solução, alterando assim o pH e a CE. Temperaturas mais altas tendem a aumentar a solubilidade dos sais e a atividade dos íons na solução, levando a um aumento no pH e na CE, enquanto temperaturas mais baixas podem ter o efeito oposto. Portanto, é crucial monitorar e controlar a temperatura da SN para garantir a estabilidade e a qualidade da solução ao longo do tempo.

Economakis e Said (2002), ao compararem a solução nutritiva utilizada no cultivo hidropônico de alface à temperatura ambiente de 10° C, com soluções aquecidas a 15° C e 20° C, observaram que o aquecimento da solução resultou no aumento do peso fresco da parte aérea, do conteúdo e absorção de água pelas plantas, do número de folhas por planta, apenas o peso seco da raiz foi menor na temperatura de 20° C.

3.5.3 Condutividade Elétrica (Ce)

O teor de sais solúveis de um meio de cultura pode ser estimado por sólidos solúveis totais (TSS) ou condutividade elétrica (CE). Através destas medições a quantidade de íons

dissolvidos (sais) presentes no meio é expressa. Atualmente, a CE é a forma mais utilizada para medir sais dissolvidos em todo o mundo (Schafer & Lerner, 2022).

A Condutividade Elétrica (CE) da Solução Nutritiva (SN) é uma medida da capacidade da solução de conduzir eletricidade e serve como indicador da concentração de sais dissolvidos na solução, que incluem nutrientes essenciais para o crescimento das plantas. Autores como Furlani (1999) explicam que a CE da SN é fundamental para garantir a disponibilidade adequada de nutrientes às plantas no cultivo hidropônico. A manutenção da CE dentro de faixas específicas é essencial para evitar deficiências ou toxicidades de nutrientes e para promover um crescimento saudável das plantas.

Vários fatores podem afetar a CE da SN, incluindo a composição inicial da solução, taxa de absorção de nutrientes pelas plantas, evaporação da água e a qualidade dos fertilizantes utilizados. Autores como Casarini e Folegatti (1999) destacam a importância de monitorar e ajustar regularmente a CE da SN para garantir um equilíbrio adequado de nutrientes, especialmente em sistemas hidropônicos onde não há buffer natural do solo para regular os níveis de nutrientes.

Para controlar a CE da SN, é necessário realizar medições regulares utilizando um medidor de condutividade elétrica. Autores como Bezerra Neto & Barreto (2012) indicam que ajustes na concentração dos nutrientes na solução podem ser feitos adicionando água ou fertilizantes para aumentar ou diminuir a CE conforme necessário. Além disso, é essencial monitorar o crescimento das plantas e observar sinais de deficiência ou toxicidade de nutrientes para realizar ajustes adequados na concentração da solução. Embora os valores de CE não apontem a composição nutricional, estes dão uma indicação da salinidade e, por conseguinte, fornecem alguma informação sobre a composição nutricional. Normalmente, a CE é monitorada não só para garantir uma fertilidade adequada, mas também para garantir que a salinidade está abaixo do nível em que afeta o crescimento da planta através da pressão osmótica (Raviv, 2019).

De acordo com Bezerra Neto & Barreto (2012), o ideal seria analisar diariamente a concentração de cada um dos nutrientes minerais na solução nutritiva em uso, e então repor apenas a quantidade absorvida de cada nutriente mineral. Contudo, segundo os autores isto é um tanto trabalhoso e muitas vezes se torna inviável financeiramente.

3.5.4 Oxigênio Dissolvido (Od)

O oxigênio é um elemento essencial para as plantas, juntamente com o carbono e o hidrogênio, que compõem a maior parte da matéria orgânica vegetal (Bezerra Neto & Barreto, 2012). A absorção de oxigênio pelas plantas pode atingir 0,2 mg/g (Bar-Yosef e Lieth, 2013), e a água a 20° C tem um teor máximo de oxigênio de 8 mg/L, destacando a importância do fornecimento de oxigênio da atmosfera para os cultivos hidropônicos.

A faixa ideal de oxigênio dissolvido (OD) para esses cultivos geralmente varia entre 5 e 10 mg/L. A difusão é o principal mecanismo de transporte de oxigênio para as raízes, embora em sistemas não estáticos como a hidroponia não-estática ou a aeroponia, o transporte de massa de oxigênio no ar ou na água possa ser maior do que a difusão, especialmente em condições de temperatura variável (Raviv et al., 2019).

A concentração de oxigênio dissolvido na água é afetada por vários fatores, incluindo temperatura, agitação, presença de matéria orgânica em decomposição e densidade de plantas (Raviv et al., 2019). A medição do teor de oxigênio em câmaras de ar pode ser realizada utilizando sensores adequados ou amostragem para análise por cromatografia gasosa, permitindo monitorar as variações na concentração de oxigênio ao longo do tempo.

3.5.5 Nutrientes

De acordo com Raviv (2019) o ideal seria ter um sensor para cada nutriente dissolvido na água (N, P, K, Fe, Ca, etc.), bem como os compostos indesejáveis (por exemplo, o sódio), de modo a poder identificar se um deles é insuficiente (ou seja, se provoca uma carência na planta) ou se está em excesso (se provoca uma toxicidade), de preferência como uma variável contínua com sistemas de sensores com resolução adequada para permitir a antecipação de condições indesejáveis.

Guimarães et al. (2020) categorizam as soluções hidropônicas no mercado como misturas de água e sais minerais. Essas soluções consistem em produtos compostos por macro e micronutrientes altamente solúveis em água, comercializados em duas embalagens distintas. Uma das embalagens contém uma solução que inclui Nitrato de Potássio, Sulfato de Potássio, Fosfato Monopotássico, Sulfato de Potássio, Quelato de Zinco, Sulfato de Magnésio Anidro, Sulfato de Zinco, Ácido Bórico, Molibdato de Sódio e Quelato de Ferro. A outra embalagem contém exclusivamente Nitrato de Cálcio.

Em função da quantidade que as plantas necessitam, os nutrientes essenciais são classificados como macronutrientes (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg e S) ou micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn). Monitorar a concentração de nutrientes específicos, como nitrogênio, fósforo e potássio, permite um ajuste precisa da formulação da solução nutritiva,

atendendo às necessidades específicas de cada fase de crescimento de cada cultura.

Ao adicionar nutrientes na solução nutritiva, a concentração de íons dissolvidos na mesma aumenta, acarretando aumento da CE (Condutividade Elétrica). E ao adicionar água, a concentração diminui, resultando na redução da CE da solução. Todavia, a CE só indica a quantidade de sais na solução, não indicando quais os nutrientes em específicos estão em falta (BARON et al., 2021).

Ao perceber que o erro nos processos de medição e dosagem muitas vezes acontece pela falha do manejo dos instrumentos, ou no cálculo errático da quantidade a ser administrada, a automação desses processos se mostra imprescindível, pois melhora a eficiência ao mesmo tempo que reduz os erros causados por intervenção humana Shimoda et al. (2023).

3.5.6 Ambiente e Variáveis Ambientais

Além dos parâmetros da solução nutritiva, monitorar parâmetros do ambiente de cultivo são cruciais. O sucesso do empreendimento hidropônico dependerá além do conhecimento da composição da solução nutritiva a ser usada, do conhecimento sobre variáveis ambientais (radiação, temperatura e umidade), estação do ano, estágio de desenvolvimento das plantas, espécie vegetal e cultivar (Backes et al., 2007).

A quantidade de água necessária em um sistema hidropônico está relacionada com condições climáticas tais como temperatura e umidade do ar, iluminação, ventilação, além das características das plantas, tais como idade, tamanho, composição e volume (SCHRÖDER; LIETH, 2002). Essas variáveis ambientais podem ser controladas em ambientes fechados, como estufas, por exemplo.

A utilização de sistemas de cultivos em ambiente protegido surgiu como uma ferramenta para driblar as variações climáticas que causavam grande dependência à produção de alimentos pela agricultura convencional, minimizando, as perdas de produção e possibilitando o maior cultivo de plantas com maior eficiência, maior produtividade e qualidade dos produtos (Viana, 2017).

Sistemas abertos também são mais suscetíveis as doenças e ataques de pragas nas vegetações. Em estufas, como mostra o exemplo da Figura 12, as ocorrências são esporádicas, pois as plantas são mais protegidas das adversidades do clima, dos patógenos e dos insetos, além de serem mais bem nutridas durante o ciclo (LABHIDRO, 2024).



Figura 11 -Visão interna e externa do Cultivo Hidropônico Esther 4.0 em Estufa no DEM (Departamento de Energia Nuclear - UFPE)

Em ambientes fechados, também é possível maior controle da iluminância, medida em lux, seja natural ou artificial. Este parâmetro descreve a quantidade de luz visível que incide sobre a superfície das plantas por unidade de área. A iluminação artificial fornece apenas os comprimentos de onda necessários no momento, intensidade e duração ótimas para melhor produtividade. Baseadas em estudos da NASA, empresas como a norte americana *Green Sense* e a brasileira *Pink Farm*, controlam as proporções entre vermelho e azul em luzes LED, sua intensidade e tempo (Pierce, 2021).

A radiação fotossinteticamente ativa (RFA), com comprimento de onda entre 390 a 750 nanômetros (nm) atua na taxa fotossintética e na transpiração das plantas (Embrapa, 2014). Para a maioria das plantas, a faixa ideal de iluminância varia de 700 a 1.000 lux, embora algumas espécies possam requerer valores mais elevados, chegando a partir de 10.000 lux (Embrapa, 2014). A eficiência da fotossíntese é influenciada pelos comprimentos de onda da luz, com picos de absorção ocorrendo em torno de 430 nm (faixa do azul) e 660 nm (faixa do vermelho), que correspondem às faixas do espectro que as clorofilas absorvem mais intensamente (Embrapa, 2014).

A temperatura do ambiente influencia diretamente o desenvolvimento vegetal, enquanto a umidade do ar impacta na evapotranspiração das plantas e possível evaporação da solução. Ambos os fatores afetam a eficiência do processo de fotossíntese, nutrição e saúde geral das plantas (Resh, 2013). Postolache (2012) já defende que o crescimento das plantas não depende diretamente da temperatura do ar, mas da temperatura das folhas, o qual este é influenciado.

Temperaturas elevadas podem acelerar processos metabólicos e aumentar a taxa de

transpiração, levando à perda excessiva de água e estresse hídrico nas plantas. Por outro lado, temperaturas muito baixas podem retardar o crescimento e reduzir a atividade metabólica, afetando negativamente o desenvolvimento das plantas e a absorção de nutrientes (Economakis e Said, 2002).

3.6 Monitoramento De Parâmetros Físico-Químicos Da Solução Nutritiva Para Automação Em Sistemas Hidropônicos

A falta de monitoramento adequado das variáveis ambientais em áreas agrícolas pode resultar em perdas de até 30% na produção de determinadas culturas em regiões afetadas por secas prolongadas (Monteiro, 2009). Em cultivos hidropônicos, o monitoramento desses aspectos, somados os parâmetros físico-químicos da solução nutritiva é fundamental para garantir condições ideais para o crescimento e desenvolvimento das plantas.

Com o objetivo de agilizar e tornar mais eficientes os sistemas de cultivos, a automação pode ser aplicada em partes ou processos inteiros dos sistemas. Em cultivos hidropônicos, sistemas automatizados podem controlar e regular automaticamente os parâmetros de interesse, com base nas informações obtidas pelo monitoramento.

Neste contexto, a automação é a ferramenta utilizada para compor sistemas capazes de tomar decisões isentos da interação humana, sendo baseada no emprego de sensores e apoiada em processadores programados previamente e destinados a substituir o homem no processo de decisão em tarefas complexas (ALENCAR et al., 2007).

Torres (2012) observa que a automação consegue adquirir características sustentáveis de diversas formas, desde a redução do consumo de recursos naturais, como energia e água, a partir de um uso e reuso inteligente e autônomo. Além disso, um sistema automatizado pode ser programado para ser desligado sempre que seu uso for desnecessário, evitando paradas desnecessárias ou manutenções por mal-uso ou erro humano, otimizando o uso de energia e de recursos naturais.

Segundo Baron (2021), nos cultivos hidropônicos, a tecnologia embarcada desempenha um papel crucial ao permitir ajustes precisos na solução nutritiva e nos turnos de rega, levando em consideração fatores ambientais como iluminância, temperatura e umidade do ar. Automatizar esses processos não apenas contribui para a economia de insumos, mas também reduz o risco de erros humanos na dosagem de fertilizantes e na frequência de irrigação.

De acordo com Borges (2019), os sistemas embarcados vêm tomando cada dia mais espaço no ambiente produtivo devido ao seu custo-benefício e a alta variedade de sensores

disponíveis no mercado. A tecnologia embarcada compreende sistemas integrados de hardware e software destinados a supervisionar e controlar atividades específicas, como as relacionadas à gestão da produção, da comunicação e das informações geradas pelos sensores. (Silva, 2018; Souza et al., 2019; Borges, 2019).

3.7 Hardwares Em Sistemas Hidropônicos

A implementação bem-sucedida de sistemas hidropônicos muitas vezes depende da escolha adequada de hardwares, ou seja, dos componentes físicos e dispositivos eletroeletrônicos do sistema. Esses incluem itens como bombas de circulação de água, sistemas de irrigação, sensores físicos, controladores eletrônicos, atuadores, e outros equipamentos relacionados ao ambiente de cultivo.

Conforme ressaltado por Jones Jr. (2005), a seleção criteriosa dos componentes físicos é importante para garantir o funcionamento eficiente do sistema hidropônico. Da mesma forma, segundo Raviv et al. (2019), a escolha dos dispositivos eletroeletrônicos adequados desempenha um papel fundamental na otimização das condições ambientais para o cultivo de plantas.

A implementação bem sucedida de sistemas hidropônicos muitas vezes depende da escolha adequada de hardwares, ou seja, dos componentes físicos e dispositivos eletroeletrônicos do sistema. São exemplos as bombas de circulação de água, sistemas de irrigação, sensores físicos, controladores eletrônicos, atuadores, e outros equipamentos relacionados ao ambiente de cultivo.

3.7.1 Sensores

Sensores são elementos que recebem e respondem a um estímulo, convertendo um tipo de energia em outro, dando uma resposta digital. Esses dispositivos podem detectar e medir informações específicas de um sistema hidropônico (Raviv et al., 2019). Para o sucesso do cultivo, diversos autores mostraram que é essencial monitorar variáveis do ambiente como umidade e temperatura do ar, radiação; e parâmetros da solução nutritiva como o pH, condutividade elétrica, temperatura, oxigênio dissolvido (Resh, 2013; Jones Jr., 2016). Com sensores também pode-se monitorar o nível de solução no reservatório, a vazão da circulação em sistemas fechados, entre outros.

A coleta de dados por meio da implementação de sensores é fundamental para o monitoramento preciso das condições necessárias ao sucesso de cultivos hidropônicos.

Postolache (2012) destaca, por exemplo, que o crescimento das plantas não depende da temperatura do ar mas da temperatura das folhas. Assim, sensores de temperatura como termopares podem ser acoplados às folhas para esta medição. São alguns exemplos de sensores utilizados em sistemas hidropônicos:

- **Sensor de pH:** Monitora o nível de acidez ou alcalinidade da solução nutritiva, permitindo ajustes precisos para garantir um ambiente ideal para o desenvolvimento das plantas. Um exemplo desse sensor é apresentado na Figura 12.



Figura 12 - Sensor de pH modelo RK500-12 do fabricante Rika Sensors. Fonte: Trevisan (2020).

Sensor de Condutividade Elétrica (CE): Mede a capacidade da solução nutritiva conduzir eletricidade, fornecendo informações sobre a concentração de nutrientes disponíveis para as plantas. Um exemplo desse sensor é apresentado na Figura 13.



Figura 13 - Sensor Para Medidor Condutividade Bancada C230. Fonte: RoboCore (2023)

- **Sensor de temperatura da solução:** registra a temperatura da solução, a qual influencia diretamente os outros parâmetros da solução, os processos metabólicos da planta, absorção de nutrientes e atividade microbológica no sistema. Um exemplo de sensor é apresentado na Figura 14.



Figura 14 - Sensor de temperatura DS18B20 a Prova D'água. Fonte: Eletrogate (2024).

- **Sensor de Temperatura e umidade do ar:** monitora esses parâmetros, fornecendo informações sobre a quantidade de vapor d'água presente no ambiente de cultivo. A informação da temperatura também é necessária para ajustar sistemas de resfriamento ou aquecimento, garantindo que as condições climáticas sejam ideais para o crescimento das plantas. Um exemplo desse sensor é apresentado na Figura 15.

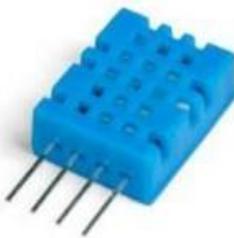


Figura 15 - Sensor DHT11. Fonte: RoboCore (2023).

- **Sensor de eletrodos seletivos de íons (ISE):** utilizados para medir a concentração de íons importantes na solução nutritiva, como íons de nitrogênio (nitrato, amônio), íons de fósforo (fosfato) e íons de potássio. Um exemplo desse sensor é apresentado na Figura 16.

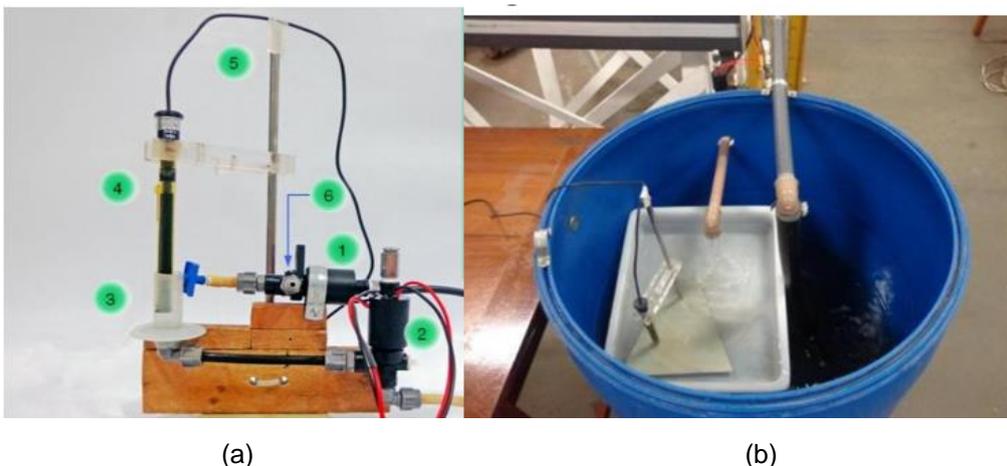


Figura 16 - Sensor ISE de nitrato em: (a) unidade de leitura (b) bancada de hidroponia.

- **Sensor de Luminosidade:** Sensores de luminosidade permitem avaliar a quantidade de luz disponível para as plantas, sendo essencial para ajustes na iluminação artificial e

natural em sistemas hidropônicos internos e externos, evitando a queima das folhas, por exemplo. É capaz de mensurar os níveis de luz no ambiente de cultivo, permitindo ajustes na iluminação artificial para otimizar a fotossíntese. São exemplos os fotoresistores (LDR), fotodiodo, fototransistor, célula solar. Um exemplo desse tipo de sensor é apresentado na Figura 17.



Figura 17 - Módulo sensor de luminosidade luz LDR. Fonte: RoboCore (2023).

3.7.2 Controladores

Controladores são dispositivos eletrônicos responsáveis por receber informações dos sensores e tomar decisões ou acionar atuadores para ajustar as condições do ambiente de acordo com um conjunto de instruções predefinido. Os dados coletados pelos sensores são transmitidos para o controlador por meio de fios físicos, protocolos de comunicação sem fio (como Bluetooth, Wi-Fi), ou outros meios de transmissão de dados.

Muitos controladores em sistemas hidropônicos são programáveis. Isso significa que os cultivadores podem configurar parâmetros específicos, como valores de pH desejados, níveis de umidade ideais, e outros critérios personalizados. A programação inclui a definição de limites ou faixas aceitáveis para cada sensor, para que o controlador saiba quando tomar ações corretivas. São exemplos de controladores:

- **Microcontrolador:** Responsável pelo processamento dos dados e pela tomada de decisões. São exemplos o Arduino (Figura 18), ESP8266 e NodeMCU.



Figura 18 - Arduíno UNO. Fonte: Google (2023).

O Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto baseada em hardware e software. As placas Arduino são capazes de ler entradas de luz em um sensor, um dedo em um botão ou uma mensagem no Twitter e transformá-las em uma saída, ativando um motor, ligando um LED, publicando algo online (ARDUINO, 2023).

Garcia et al. (2019) ressaltam a importância dos controladores inteligentes na hidroponia. Estes dispositivos integram dados dos sensores e ajustam automaticamente parâmetros como a quantidade de nutrientes fornecidos e a frequência da irrigação. Controladores programáveis oferecem flexibilidade operacional, adaptando-se às necessidades específicas de cada cultura.

3.7.3 Atuadores

Atuadores são dispositivos que realizam ações físicas ou mecânicas no ambiente do sistema, com base nas decisões tomadas por controladores (Gupta, 2020). Em sistemas hidropônicos, atuadores podem incluir bombas e válvulas de circulação de água, sistemas de ventilação, aquecimento, entre outros. Eles agem para ajustar as condições do ambiente conforme as instruções do controlador. A eficácia dos atuadores é importante na implementação das decisões tomadas pelos controladores.

Autores como Chang (2021) abordam o uso de atuadores elétricos para controlar sistemas de ventilação e sombreamento, contribuindo para a regulação da temperatura e umidade do ambiente. Torres e Silva (2018) destacam a relevância de atuadores hidráulicos na automação da distribuição de nutrientes. A pesquisa de Tane Wong (2021) destaca o uso de válvulas solenoides como atuadores para controlar o fluxo da solução nutritiva. Alguns exemplos de atuadores em um sistema hidropônico, incluem:

- **Bomba peristáltica:** utilizado para transferir fluidos de um ponto a outro por meio de um mecanismo de ação peristáltica. Essa bomba é composta por um tubo flexível ou mangueira que é apertado e geram uma onda peristáltica que empurra o fluido ao longo do tubo, sendo usado na dosagem da solução nutritiva. Um exemplo é apresentado na Figura 19.



Figura 19 - Bomba peristáltica Fonte: Google (2023)

Figura 22 - Válvula solenoide. Fonte: Robocore (2023)

- **Bomba submersível:** dispositivo que fica totalmente imerso em líquidos, possui um motor e uma bomba integrados, e é usada principalmente em aplicações de drenagem e é alimentada por energia elétrica através de um cabo de alimentação. Um exemplo é apresentado na Figura 20.



Figura 20 - Bomba submersível. Fonte: Shimoda et al. (2023)

- **Minibomba de água:** ideal para bombear água e possui pequenos pistões internos que funcionam como um compressor de ar automotivo. Ela pode bombear água com uma vazão de até 2 litros por minuto. Um exemplo é apresentado na Figura 21.



Figura 21 - Minibomba de água. Fonte: Shimoda et al. (2023)

- **Válvula Solenóide:** Atua no controle do fluxo de água ou solução nutritiva, abrindo e fechando conforme as instruções do sistema de controle. Um exemplo é apresentado na Figura 22.



Figura 23 - Válvula solenoide. Fonte: Robocore (2023)

- **Atuador Elétrico para Controle de Luminosidade:** Ajusta automaticamente a posição de cortinas ou persianas para regular a quantidade de luz solar no ambiente de cultivo.
- **Bomba de Ar para Oxigenação:** Atua na oxigenação da solução nutritiva, garantindo que as raízes das plantas recebam oxigênio suficiente para o processo de respiração.
- **Lâmpadas dicróicas:** Podem atuar no sistema hidropônico para controle da temperatura ambiente, sendo acionadas em casos de queda da temperatura ambiente para manter o cultivo aquecido. (Vidi, 2019)
- **Umidificador e cooler:** Podem atuar no sistema hidropônico no controle da umidade e temperatura do ambiente, em que o umidificador será acionado quando a umidade for menor e/ou temperatura for maior que a faixa configurada no sistema. Caso contrário pode ser acionado *coolers* para diminuição da umidade e da temperatura.
- **Módulo Relé Serial:** converte um sinal de controle elétrico em um movimento físico, como ligar ou desligar um dispositivo mecânico, eletromecânico ou elétrico. Um exemplo é apresentado na Figura 23.



Figura 24 - Módulo Relé Serial. Fonte: Shimoda et al. (2023)

Lâmpadas LED: são controladas eletronicamente para fornecer a quantidade certa de luz e o espectro adequado para as necessidades das plantas em diferentes estágios de crescimento. Elas são ligadas e desligadas de acordo com um cronograma específico, simulando o ciclo

natural de luz do dia e da noite, ou de acordo com as necessidades específicas da planta em questão. Um exemplo é apresentado na Figura 24.



Figura 25 - Lâmpadas LED Red / Blue (específica para crescimento de plantas) 220v.

Os LEDs azuis e vermelhos são escolhidos porque correspondem aos comprimentos de onda que são mais absorvidos pela clorofila durante a fotossíntese (Pink Farm, 2012).

3.7.4 Outros Componentes

- **Liquid Cristal Display (LCD):** dispositivos com tela, permitindo a visualização de informações e resultados de aplicações. Em sistemas hidropônicos, servem para visualizar os valores medidos dos parâmetros monitorados, como mostram as imagens (a) e (b) apresentadas na Figura 25.



Figura 26 - (a) Display LCD display 16x2 (b) Display em funcionamento no Sistema Hidropônico Esther 4.0.

Em síntese do funcionamento dos principais hardwares utilizados em sistemas hidropônicos supervisionados, os sensores monitoram constantemente as variáveis ambientais e fornecem dados ao microcontrolador, o qual processa essas informações e decide as ações necessárias para manter as condições ideais para o cultivo. Em seguida, em sistemas automatizados, os atuadores são acionados para realizar as ações físicas necessárias, como ajustar o fornecimento de nutrientes, regular a umidade ou controlar a

temperatura.

3.8 Softwares, IoT, Inteligência Artificial, Big Data, Armazenamentos De Dados Em Sistemas Hidropônicos

Em sistemas hidropônicos monitorados e automatizados, softwares são essenciais para gerenciar e analisar dados coletados por dispositivos IoT, como sensores de umidade e temperatura. A inteligência artificial (IA) pode ser empregada para otimizar o controle do ambiente de crescimento, ajustando automaticamente variáveis como irrigação e iluminação com base em padrões identificados em conjuntos de dados (*Big Data*) (D'Anna et al., 2017).

O armazenamento eficiente dos dados, seja na nuvem ou em sistemas locais, proporcionam acesso rápido para tomada de decisões em tempo real. Aplicativos podem ser criados para oferecer interfaces amigáveis para usuários monitorarem e controlarem remotamente o sistema (Sihombing et al., 2018).

3.8.1 Softwares

Pode-se entender o termo software como um conjunto de instruções lógicas desenvolvidos para realizar tarefas a serem executadas por um controlador para automatizar o controle de variáveis ambientais, gerenciar dados e otimizar o processo de cultivo. Smith et al. (2019) destacam a importância do software na automação do controle ambiental, gerenciamento de nutrientes e monitoramento em tempo real. A implementação de algoritmos avançados permite ajustes precisos, resultando em aumento da produtividade e redução de desperdícios.

Um exemplo de software usado em sistemas hidropônicos automatizados é o Ambiente Integrado de Desenvolvimento Arduino - ou software do Arduino (IDE), o qual contém um editor de texto para escrever código, uma área de mensagem, um console de texto, uma barra de ferramentas com botões para funções comuns e uma série de menus.

O Arduino (IDE) se conecta ao hardware Arduino/Genuino para fazer o *upload* dos programas desenvolvidos e também para se comunicar com esses programas (*Hardware Livre USP*, 2016). São alguns tipos de *Softwares*:

- *Firmware*: Software incorporado em dispositivos como sensores, controladores e atuadores para controlar seu funcionamento e comunicação.
- Interface de Usuário: Aplicativos ou programas que permitem aos usuários monitorar e controlar o sistema, geralmente através de uma interface gráfica.
- Algoritmos de Controle: Software para implementar algoritmos de controle, como

controle PID (*Proporcional-Integral-Derivativo*), para ajustar automaticamente os parâmetros do sistema com base nos dados dos sensores.

- *Software* de Análise: Aplicativos ou programas para análise de dados coletados, permitindo *insights* sobre o desempenho do sistema e a otimização dos parâmetros de cultivo.

3.8.2 IoT (Internet Of Things)

A internet das coisas (*Internet of Things*) refere-se as tecnologias que permitem a comunicação entre dispositivos. Através da Internet, possibilita que objetos físicos dos mais variados tipos possam se comunicar, compartilhar dados e informações, dessa forma tornando os sistemas ainda mais conectados (SAP Brasil, 2016).

Nos últimos anos, a IoT se tornou uma das tecnologias mais importantes do século XXI. Por meio da computação de baixo custo, armazenamento na nuvem, *Big data*, análise avançada e tecnologias móveis, coisas físicas podem compartilhar e coletar dados com o mínimo de intervenção humana. Sistemas digitais podem gravar, monitorar e ajustar cada interação entre itens conectados.

Esta tecnologia está em crescente procura e aprimoramento, tanto como objeto de estudo e pesquisa como ferramenta de apoio e suporte em diversas áreas. No campo agrícola a IoT oferece diversas possibilidades de uso, desde coleta de dados ambientais através de sensores instalados remotamente ao uso com atuadores para suporte e apoio a tomada de decisão (Borges, 2019).

A integração da Internet das Coisas e das redes de sensores sem fios (RSSF) tem contribuído para melhorar a produção alimentar em vários domínios agrícolas, abrangendo a irrigação, o monitoramento da umidade do solo, otimização e controle de fertilizantes, gestão precoce de pragas e doenças das culturas e conservação de energia (Chowdhury et al., 2020).

Em um sistema hidropônico automatizado, a comunicação entre dispositivos IoT permite uma resposta imediata das variáveis ambientais e da solução, otimizando a eficiência hídrica e nutricional, que garante as condições ideais para o crescimento das plantas. Segundo Qazi et al. (2022), os ativos conectados, por meio de sensores e dispositivos, coletam dados operacionais em tempo real. A conectividade permite o monitoramento remoto dos ativos, possibilitando acesso a dados e condições de operação a qualquer momento e de qualquer lugar (monitoramento remoto).

A necessidade de se conectar dispositivos diretamente a Internet criando a IoT

exige a utilização de protocolos de comunicação que permitam que os dispositivos sensores e atuadores trabalhem entre si e com serviços back-end. Este, em boa parte dos casos, faz a ponte entre os dados que vem dos sensores rumo ao banco de dados ou deste para os atuadores, onde o usuário final não tenha acesso e não possa manipular algo.

Um exemplo de IoT é o MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*), protocolo utilizado por Werner & Estevam (2020) em sistema hidropônico automatizado. Foram usadas transmissões dos dados medidos na nuvem e o processamento destas telecomunicações em um servidor remoto para controle e automação da estufa hidropônica.

Visando promover o desenvolvimento sustentável e competitivo da economia brasileira, foi instituído o Plano Nacional de Internet das Coisas (IoT), pelo decreto nº9.854, de 25 de junho de 2019. Essa iniciativa do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), do Ministério da Economia e do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), em conjunto com a sociedade civil, para garantir que o Brasil se beneficie da tecnologia de IoT (Massruhá, 2020).

3.8.3 Ia (Inteligência Artificial)

Entre os métodos modernos, a Inteligência Artificial (IA) entrou em muitos sectores, incluindo a agricultura. Muitos métodos foram desenvolvidos para a resolução de problemas, a fim de simplificar as tarefas ou trabalho. Os métodos de IA incluem a Lógica Difusa, as Redes Neurais Artificiais, Lógica *Neuro-Fuzzy* e sistemas especializados (Jha et al., 2019).

De acordo com Sharma et al. (2019) a lógica difusa ou "*fuzzy*" se refere a uma lógica ou conjunto de técnicas que lidam com a incerteza e a imprecisão de forma mais flexível do que a lógica tradicional. Enquanto a lógica convencional opera com valores binários - verdadeiro ou falso (1 ou 0) - a lógica *fuzzy* permite representar e manipular variáveis linguísticas ou conceitos que não são absolutamente verdadeiros ou falsos, mas podem ser parcialmente verdadeiros em diferentes graus.

Amalia et al. (2023) calcularam o desempenho de uma máquina misturadora de nutrientes automatizada para utilização em hidroponia, utilizando o método da lógica difusa e, também avaliou os aspectos económicos para verificar se pode ser utilizada com sucesso por pequenas e médias agroindústrias.

Hati e Singh (2023) utilizaram DNN (*Deep Neural Network*) para analisar tarefas-chave como o reconhecimento de espécies de plantas, a análise do crescimento, a análise da saúde e a identificação da fase de produção em várias espécies vegetais. As plantas de calêndula foram corretamente reconhecidas com uma precisão de detecção superior a 95%

em todos os casos de teste. O resultado assim obtido indica que as imagens de vista lateral são mais eficazes na identificação de espécies e no acompanhamento do crescimento.

Os avanços nas Redes Neurais Artificiais trouxeram o NLP (*Natural-Language Processing*, processamento de linguagem natural) aos dispositivos de IoT (como assistentes pessoais digitais Alexa, Cortana e Siri) e os tornaram atraentes, acessíveis e viáveis para uso no empreendimento. Pensando numa produção hidropônica em larga escala, a aplicação de IA em sistemas hidropônicos é discutida por Chen et al. (2021), que enfatizam a capacidade de aprendizado da máquina em otimizar estratégias de cultivo.

Especialmente no que diz respeito à instrumentação e controle de sensores e dispositivos que envolvem tecnologias de nuvem, algoritmos de IA analisam grandes conjuntos de dados, adaptando-se dinamicamente às condições do ambiente e às necessidades das plantas. A IA proporciona uma abordagem proativa na prevenção de doenças, melhorando a eficiência da produção.

Amalia et al. (2023) os países desenvolvidos, onde a maioria das explorações agrícolas estão à escala comercial, o controle automático, como a IA, já é amplamente utilizado. Em contrapartida, o sector da horticultura, especialmente a hidroponia, opera a níveis pequenos e médios nos países em desenvolvimento. A IA não tem sido geralmente utilizada a esses devido ao elevado custo da maquinaria.

4 METODOLOGIA

Este trabalho foi elaborado no formato de uma revisão sistemática, seguindo protocolo de busca detalhado neste item, desenvolvido a partir de resultados de artigos publicados em bases eletrônicas acadêmicas, trabalhos acadêmicos e plataformas de patentes. Para o referencial teórico foram consultados artigos publicados em periódicos especializados, trabalhos de conclusão de curso de graduação e de pós-graduação, além de livros consultados da biblioteca da Universidade Federal Rural de Pernambuco. A revisão de literatura e análise dos dados foi realizada por meio da categorização em cinco (5) etapas e síntese das informações, permitindo uma compreensão abrangente do estado da arte do tema.

Para obter os resultados, a pesquisa utilizou uma abordagem quantitativa e qualitativa, apresentada por meio de gráficos, tabelas e textos explicativos acerca do levantamento dos artigos em bases de dados científicos e bancos de patentes que abordassem tecnologias de monitoramento para automação dos parâmetros ideais em sistemas hidropônicos. O protocolo pré-definido para garantir a objetividade e a abrangência na busca de informações

relevantes para esta pesquisa foi composta pelas as etapas descritas a seguir.

A. Escolha Das Principais Plataformas Da Pesquisa De Artigos Científicos e Patentes

As plataformas nacionais escolhidas para pesquisa foram a Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e o Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). As plataformas internacionais foram: *Google Scholar*, *Scopus*, *Web of Science*, *PubMed*, *Scientific Electronic Library Online (Scielo)* e *IEEEExplore*. Para buscar tecnologias patenteadas foram consultadas as ferramentas de busca nacional de patentes do Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) e internacional de patentes “*World Intellectual Property Organization*” (WIPO).

Na plataforma INPI, foram realizadas buscas de tecnologias patenteadas para monitoramento e automação de sistemas hidropônicos nas categorias “cultivo sem uso de solo, ex. Hidroponia”, “Aparelhos especiais para esse fim (dispositivos automáticos de irrigação)”, “Cultura hidropônica em transportadores”, “Cultura hidropônica prateleiras ou em receptáculos empilhados”, conforme mostra a Figura 26.

—	A01G 31/00	Cultivo sem uso de solo, p. ex. hidroponia (substratos de crescimento para esse fim A01G 24/00)
—	A01G 31/02	• Aparelhos especiais para esse fim (dispositivos automáticos de irrigação A01G 27/00) [2006.01]
	A01G 31/04	•• Cultura hidropônica em transportadores [2006.01]
	A01G 31/06	•• Cultura hidropônica prateleiras ou em receptáculos empilhados [2006.01]

Figura 27 - Códigos das categorias pesquisadas. Fonte: INPI (2024)

Dos trabalhos obtidos em periódicos científicos foram incluídos apenas artigos publicados que tratassem do tema e estivessem disponíveis na forma online. Foram excluídos artigos fora do período proposto, que não tratassem sobre o tema, não disponíveis de forma online e artigos repetidos encontrados em diferentes bases de dados.

B. Estratégia De Busca Nas Plataformas De Pesquisa

Com o propósito de realizar uma seleção mais precisa dos artigos que abordem o tema específico, as principais palavras-chave utilizadas para encontrar artigos e trabalhos que atendam aos critérios estabelecidos foram: automação; hidroponia; monitoramento em hidroponia; agricultura sem solo; sensores agrícolas; agricultura digital; tecnologias para hidroponia; sistemas inteligentes de monitoramento; controle automatizado de culturas; e inteligência artificial para monitoramento". Essas palavras-chave foram inseridas nos campos de busca por assunto das plataformas mencionadas no **item A**, tanto na língua portuguesa, quanto inglesa e filtrados trabalhos publicados a partir do ano de 2010.

C. Seleção e Padronização Dos Trabalhos

Os artigos científicos e trabalhos de pós-graduação encontrados nas buscas foram armazenados utilizando o Gestor de Referências *Mendeley*, analisados e divididos em categorias denominadas T1 e T2 conforme indicado no esquema apresentado na Figura 27. Os trabalhos T1 foram utilizados na Revisão de literatura apresentada no capítulo 3. Os trabalhos T2 foram utilizados na Revisão bibliográfica apresentada no capítulo 4. Foram selecionados para elaboração dos resultados, os trabalhos e projetos que abordaram tema do uso de sistemas de monitoramento em cultivos hidropônicos, adicionadas ou não de uso da automação e métodos de inteligência artificial, com ênfase nos Hardwares e Softwares utilizados pelos autores.



Figura 28 - Fluxograma da categorização adotada para os trabalhos revisados.

D. Consolidação dos Dados

Após a seleção dos trabalhos, os dados foram analisados qualitativa e quantitativamente por meio de planilha dinâmica construída no Excel e os resultados foram apresentados no capítulo 5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES. O capítulo foi dividido em três subtópicos para atender aos três objetivos específicos propostos e mais um subtópico para considerações adicionais acerca dos trabalhos revisados.

E. Elaboração da conclusão e considerações finais

Foram destacadas as principais tecnologias para cada parâmetro observado, com base nos resultados e conclusões dos trabalhos analisados. Foram delineadas recomendações e direções para pesquisas futuras, consolidando o impacto do estudo no contexto do monitoramento de parâmetros da solução nutritiva e variáveis ambientais em sistemas hidropônicos. Uma síntese das 5 etapas da metodologia pode ser vista na Figura 28.



Figura 29 - Síntese das etapas da metodologia

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análise Quantitativa E Qualitativa Dos Trabalhos Que Utilizaram Tecnologias De Monitoramento Para Automação Das Variáveis Ambientais E Da Solução Nutritiva Em Cultivos Hidropônicos, Entre Os Anos De 2010 E 2023

Foram consultadas 82 fontes, em que 66 delas, categorizadas como “T1”, se trataram de livros, artigos e trabalhos acadêmicos para construção da revisão de literatura quanto aos temas referentes a hidroponia, automação e parâmetros para monitoramento na solução hidropônica e das variáveis ambientais. Também foram consultadas informações estatísticas e adicionais sobre os assuntos em sites eletrônicos como os da FAO, ONU e matérias noticiadas em jornais eletrônicos.

A revisão bibliográfica sistemática seguiu o protocolo de busca detalhado elaborado pela autora e apresentado na metodologia, na qual identificou 16 trabalhos que utilizaram tecnologias de hardwares e softwares de monitoramento para automação em sistemas hidropônicos, categorizados como “T2”.

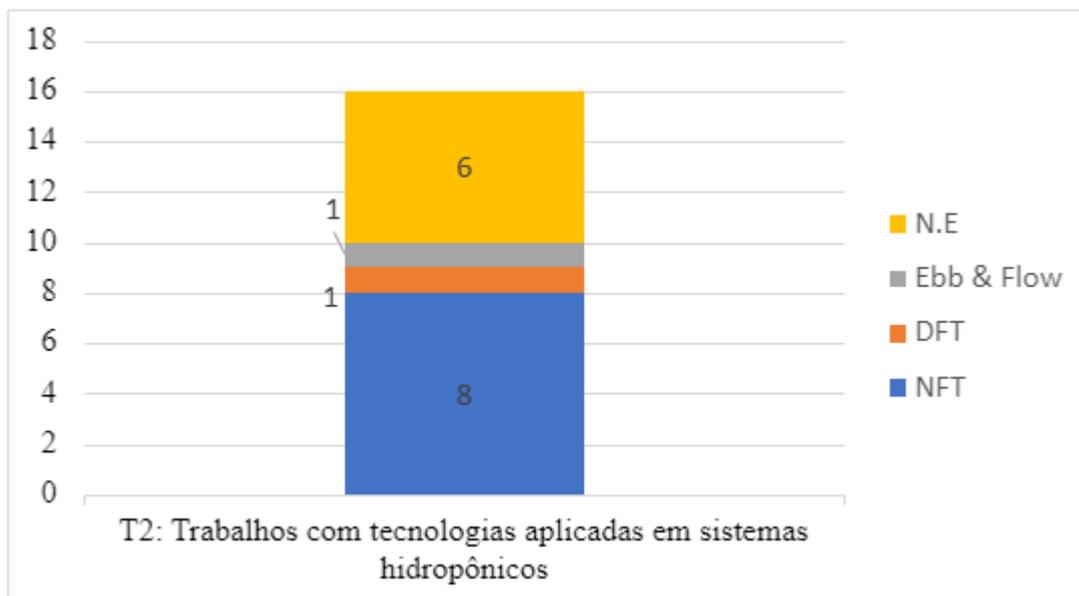


Figura 30 - Quantidades de Trabalhos analisados nesta revisão bibliográfica sistemática.

Conforme indicado no gráfico apresentado na Figura 29, foram consultadas 82 fontes, em que 66 delas, categorizadas como “T1”, se trataram de livros, artigos e trabalhos acadêmicos para construção da revisão de literatura quanto aos temas referentes a hidroponia, sistemas hidropônicos, tecnologias na agricultura, agricultura digital, parâmetros para monitoramento na solução hidropônica e das variáveis ambientais. Também foram consultadas informações estatísticas e adicionais sobre os assuntos em sites eletrônicos como os da FAO, ONU e matérias noticiadas em jornais eletrônicos.

Dos trabalhos que utilizaram tecnologias de monitoramento e automação em sistemas hidropônicos (T2), 8 utilizaram sistemas hidropônicos do tipo NFT, o que demonstra a confirmação deste ser o sistema hidropônico mais utilizado. Apenas um dos autores utilizou sistema do tipo NFT e do tipo *Ebb and Float*. Seis trabalhos não especificaram (N.E) o sistema hidropônico utilizado. Especula-se que, isso se deve devido aos hardwares e softwares usados para o monitoramento das variáveis ambientais e parâmetros da solução nutritiva não sejam afetados pelo tipo de estrutura dos sistemas.

Outra análise qualitativa demonstrou que a maioria dos trabalhos analisados foram realizados no Brasil, sendo dois no Nordeste, três no Sudeste e cinco no Sul do país. Não foram encontrados trabalhos realizados nas regiões Norte e Centro- Oeste, conforme mostra o gráfico e mapa apresentados na Figura 30.

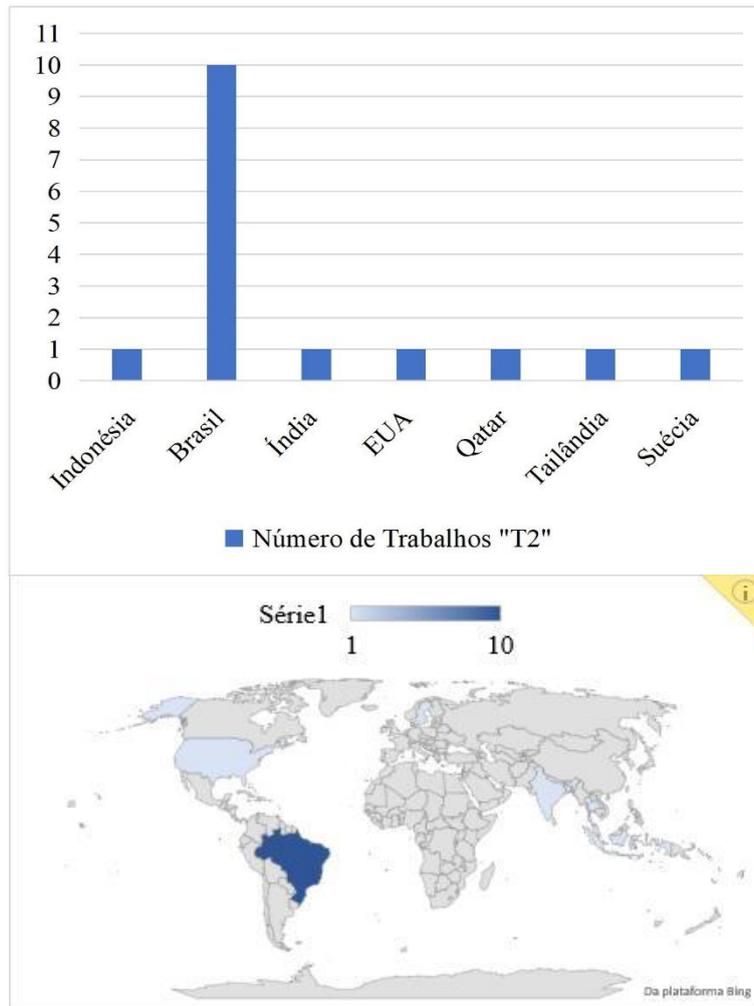


Figura 31 - - Quantidades de Trabalhos "T2" analisados de acordo com os países.

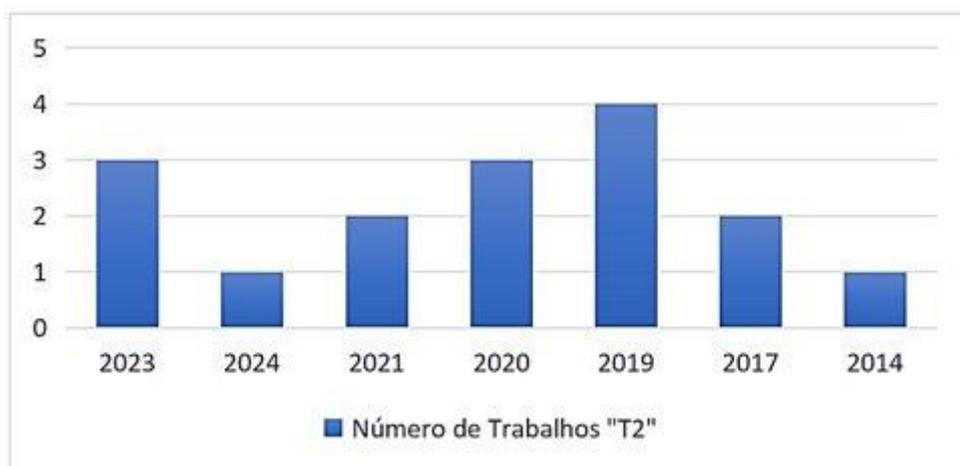


Figura 32 - Anos de publicações dos Trabalhos analisados.

Conforme indicado na Figura 31, dos 16 trabalhos analisados, a maioria foi publicada a partir de 2019, o que, neste tema, confirma a pesquisa realizada sobre um crescimento de publicações acadêmicas, após período de desaceleração causada pela pandemia do COVID-19 (Scholarly Kitchen, 2020). Outra hipótese sugere que houve evidência da

importância da produção auto sustentáveis de alimentos nesta época, em que houve maior busca por produção residenciais de hortas, devido a impossibilidade de sair nas ruas, bem como da necessidade de buscar novas fontes de renda devido ao desemprego.

A maioria dos trabalhos revisados não especificaram a cultura hidropônica, pois tiveram como objetivo avaliar o funcionamento dos sistemas embarcados, dos hardwares e softwares empregados no monitoramento do sistema hidropônico. Esses autores não realizaram testes práticos em termos de verificação da melhoria na produtividade vegetal. Em relação aos cultivos especificados a maioria utilizou a cultura do Alface (*Lactuca sativa L.*) conforme mostra Figura 32.

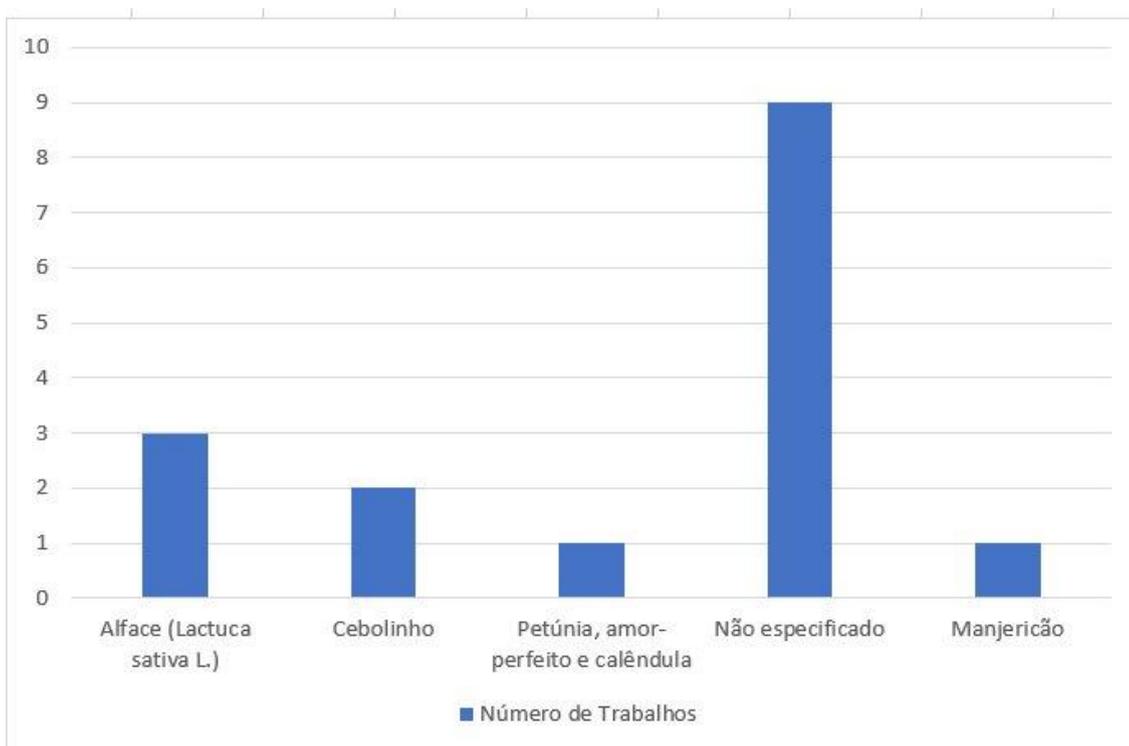


Figura 33 - Culturas hidropônicas dos trabalhos analisados.

Quanto às pesquisas nas plataformas de patentes INPI e WIPO, respectivamente, foram encontradas apenas uma tecnologia a nível nacional que atendeu ao objetivo deste trabalho, enquanto a nível internacional, foram identificadas 28.786 registros de bens e serviços, contendo palavras que se assemelham a “hidroponia”, “automação” e “monitoramento” na descrição. Na liderança em quantidades de patentes depositadas, estão Indonésia, EUA e Reino Unido, conforme mostram mapa e quadro apresentados na Figura 33 e Figura 34. O Brasil aparece em 6º lugar com 1680 depósitos. Devido à alta quantidade de registros, não foi possível analisar detalhamentos quanto aos hardwares e softwares para monitoramento utilizados em cada caso.

PAÍS DO PROPRIETÁRIO	VALOR ↓
ID - Indonésia	4835
US - EUA	2704
GB - Reino Unido	2266
JP - Japão	1882
RU - Federação Russa	1750
BR - Brasil	1680
CN - China	1436
DE - Alemanha	1402
IT - Itália	1343
FR - França	974

Figura 34 - Quadro com ranking dos 10 países com mais tecnologias de monitoramento e automação para hidroponia patenteadas no mundo. Fonte: Global Brand Database (wipo.int) (2024)

Bens e serviços : contém palavra que se assemelha 'HIDROPONIA AUTOMAÇÃO MONITORAMENTO'

Re



Figura 35 - Mapa dos países com depósitos de patentes contendo tecnologias de monitoramento e automação para hidroponia no mundo. Fonte: Global Brand Database (wipo.int) (2024)

Dos registros encontrados, foi identificado como aprovado pelo INPI, apenas um: o “Sistema de automação para produção de forragem hidropônica para nutrição animal a partir de germinação de grãos”, pela empresa Inovaproagro Tecnologia para Agronegócio LTDA ME (BR/PR). A presente patente encontrada refere-se à produção de forragens hidropônicas, desenvolvida a partir da germinação de grãos o qual é instalado num local. O sistema é caracterizado por funcionar em circuito fechado de produção onde são inseridas quantidades medidas de grãos que por seu tratamento e cultivo controlados produzem quantidades uniformes de forragem, sendo este Sistema de Automação realizado em três estágios: preparo, brotação e cultivo dos grãos (INPI, 2024). Não há, porém, detalhes

dos componentes de hardware e software usados para a automação proposta.

5.2 Tecnologias De Monitoramento Para Automação Das Variáveis Ambientais E Da Solução Nutritiva Em Cultivos Hidropônicos, Entre Os Anos De 2010 E 2023

Ao analisar os resultados dos trabalhos selecionados, identificou-se uma variedade de ferramentas de hardware e software utilizadas pelos autores para monitoramento dos parâmetros da solução nutritiva e ambiente de sistemas hidropônicos. A Figura 35 apresenta as marcas e modelos utilizados pelos autores estudados dos Sensores para monitoramento dos parâmetros da solução nutritiva. Alguns autores não especificaram o sensor, sendo indicado pela abreviação (N.E).

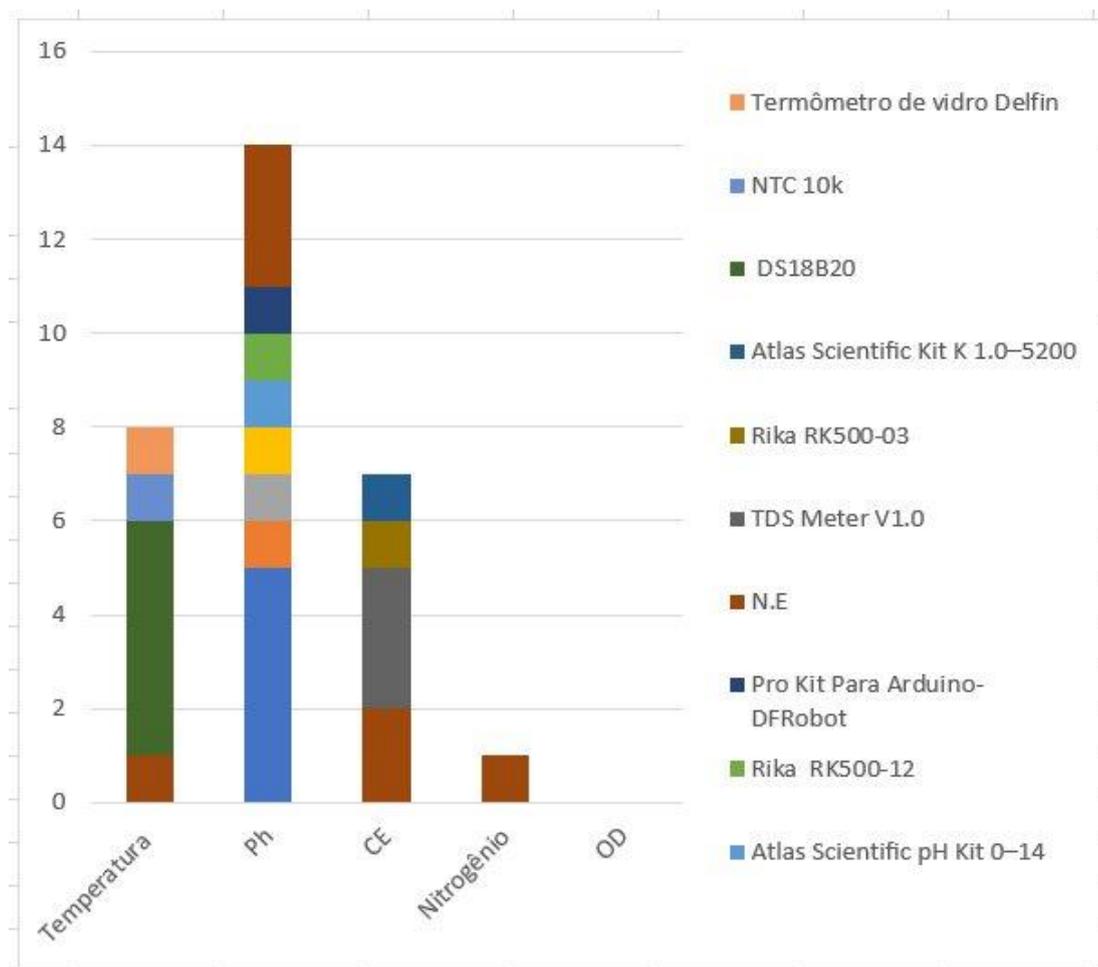


Figura 36 - Sensores e parâmetros da solução nutritiva monitorados.

No que diz respeito à medição de temperatura, observa-se que, para o parâmetro de temperatura da solução nutritiva, o sensor "DS18B20" foi o mais utilizado, mencionado por cinco autores, sugerindo maior preferência entre cultivadores hidropônicos. Quanto à medição de pH, parâmetro mais monitorado, o sensor mais frequentemente citado é o Rika Sensors RK500-12, presente em seis trabalhos. Outros sensores como o "pHmetro Delfin", o Eletrodo

Sonda Bnc e o Atlas Scientific pH Kit 0–14 também foram usados, mas em menor frequência.

Em relação à condutividade elétrica (CE), o sensor mais comum foi o Atlas Scientific Kit K 1.0–5200, citado em três ocasiões. O sensor Rika RK500-03 também é mencionado em dois trabalhos. Um trabalho monitorou o nitrogênio na solução, porém não houve menção específica da marca e modelo do sensor utilizado. Em relação ao parâmetro do oxigênio dissolvido (OD), apesar de autores abordados na revisão literária ressaltar sua importância, não houve monitoramento deste parâmetros por meio de sensores nos trabalhos pesquisados. Isto pode indicar uma lacuna na utilização desses dispositivos para esse parâmetro em soluções nutritivas em hidroponia.

A Figura 36 apresenta as marcas e modelos utilizados pelos autores para monitoramento dos parâmetros ambientais. Alguns autores não especificaram o sensor, sendo indicado pela abreviação (N.E).

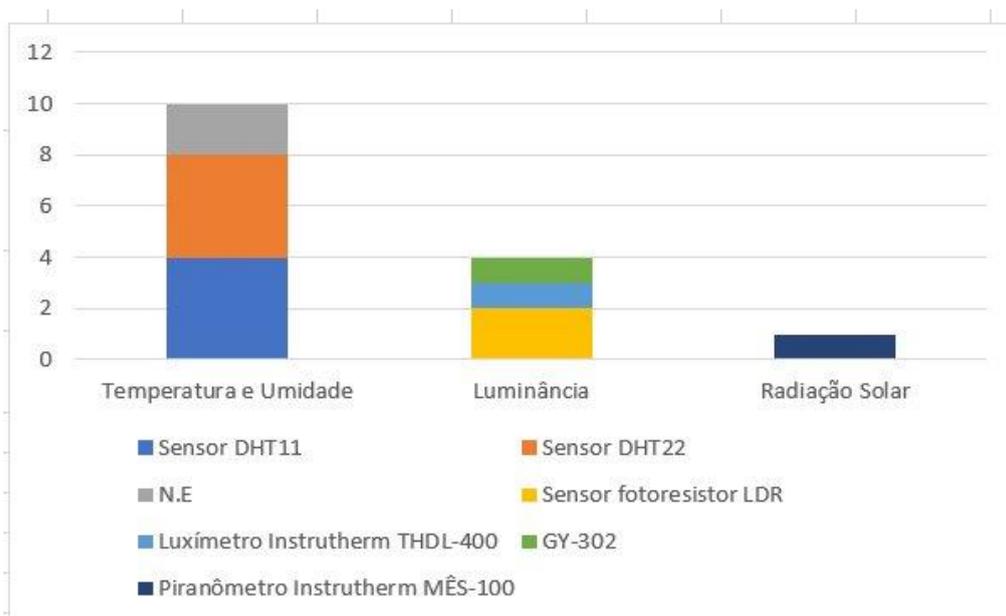


Figura 37 - Sensores e parâmetros ambientais monitorados.

Ao analisar os dados relativos aos parâmetros ambientais, no monitoramento de temperatura e umidade, os sensores "DHT11" e "DHT22" foram os mais utilizados, cada um mencionado em quatro trabalhos. Isso sugere uma preferência equilibrada entre esses dois modelos para monitoramento desses parâmetros ambientais em sistemas hidropônicos.

No que diz respeito à iluminância, dois sensores foram empregados: o "Sensor fotoresistor LDR" e o "Luxímetro Instrutherm THDL-400", citados em dois e um trabalho, respectivamente. Esses sensores são importantes para avaliar a intensidade luminosa no ambiente de cultivo, o que pode afetar diretamente o desenvolvimento das plantas. Quanto à radiação solar, apenas um trabalho mencionou o uso de um sensor específico para esse parâmetro, o "Piranômetro Instrutherm MÊS-100". Isso indica uma menor frequência de

monitoramento desse parâmetro em comparação com os demais.

Os dados revelam uma variedade de sensores utilizados para medição de parâmetros da solução nutritiva e ambientais em sistemas hidropônicos, com destaque para os sensores de Ph da solução nutritiva e temperatura e umidade do ar.

No que se refere aos controladores, destacam-se dispositivos como o microcontrolador ESP32 e Arduino Nano, utilizados por Albuquerque Neto, Alberto Grangeiro (2023), e o Arduino Mega, empregado por Baron, Luiz Carlos (2021). Esses controladores são responsáveis pela execução de tarefas de monitoramento e controle dos sistemas hidropônicos, permitindo a integração de sensores e atuadores para o gerenciamento eficiente dos processos. Além disso, o microprocessador *Raspberry Pi* foi utilizado por Palande et al. (2017) para executar um software de automação de código aberto chamado Domoticz, demonstrando a versatilidade dos dispositivos empregados na automação desses sistemas.

Quanto à utilização de atuadores, observou-se a importância de diferentes dispositivos para o funcionamento eficiente dos sistemas hidropônicos. A Bomba Peristáltica foi utilizada por Shimoda et al. (2023) e Baron (2021) para a dosagem precisa da solução nutritiva. Além disso, a utilização de válvulas solenoides foi identificada como outra prática comum entre os pesquisadores. Lundi & Olli (2017) e Albuquerque Neto (2023) empregaram-nas para um controle preciso do fluxo de água nos sistemas hidropônicos. Esses dispositivos permitem a regulação do suprimento hídrico de forma automatizada, possibilitando ajustes conforme as necessidades específicas das plantas ao longo do ciclo de crescimento.

Uso de softwares foram adotadas para programação, integração de dados e desenvolvimento de aplicativos pelos autores, como Vidi (2019) e Guerreiro (2021) optaram por linguagens como C++ e Dart, enquanto Trevisan (2020), o *Matlab* e Albuquerque Neto (2023), o Arduino IDE para programação dos dispositivos. Carlet (2019) empregou o software de desenvolvimento de sistemas e programação gráfica LabView 2013 para o desenvolvimento de algoritmos e interfaces de controle. Além disso, plataformas online como *Blynk* e *ThingSpeak* foram adotadas por autores como Baron (2021) e Chowdhury (2020) para o gerenciamento e visualização de dados em tempo real.

Albuquerque Neto (2023) utilizou também o *Firebase* da Google como plataforma de armazenamento de dados em tempo real e o framework *Flutter*, desenvolvido pela própria Google, foi utilizado para o desenvolvimento de aplicativos móveis. Werner e Esteves (2020) optaram pelo *Blynk*, uma plataforma online de IoT, para integração e controle dos dispositivos.

Chowdhury (2020), por sua vez, utilizou a plataforma online ThingSpeak para armazenamento e visualização dos dados coletados. Além disso, Kularbphetong et al. (2019) empregaram o MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) para comunicação M2M, juntamente com o *Firebase Real-time Database* e *Edge Computing* para armazenamento de dados em tempo real. Enquanto isso, Palandeet al. (2017) utilizaram o Arduino IDE e a plataforma Domoticz para controle e automação de sistemas. Essas ferramentas proporcionaram aos pesquisadores uma ampla gama de recursos para o desenvolvimento e implementação de soluções eficazes em monitoramento e automação dos sistemas hidropônicos.

5.3 Vantagens E Desafios No Uso De Tecnologias De Monitoramento Em Cultivos Hidropônicos, Conforme Os Resultados Obtidos Pelos Autores Revisados

Um dos principais desafios futuros para a horticultura mundial é produzir quantidades adequadas de alimentos a preços acessíveis nos países menos desenvolvidos. Os sistemas de produção sem solo simples e de baixo custo podem ser parte da solução para os problemas criados pela falta de solos férteis e de *know-how* (Raviv, 2019).

De acordo com Sharma (2018), muitos benefícios podem ser atribuídos a hidroponia em comparação aos cultivos tradicionais, tais como: menor tempo de crescimento das culturas do que o cultivo convencional, produção ao longo de todo o ano, incidência mínima de doenças, pragas e a eliminação de ervas daninhas, redução de tratamentos agrícolas como a munda, a pulverização, a rega e a lavoura.

Em consonância, Manzocco et al. (2011) afirmam que as culturas em sistema hidropônico não são influenciadas pelas alterações climáticas, pelo que podem ser cultivadas durante todo o ano e consideradas como época baixa. Os sistemas hidropônicos comerciais em atuação atualmente, como o "*Pink Farm*", em São Paulo são operados automaticamente, reduzindo a mão de obra e provando que várias práticas agrícolas tradicionais podem ser eliminadas.

Marinez (2002) destaca que hortaliças hidropônicas vem ganhando destaque, por apresentar maior produtividade por área, melhor programação da produção, ciclo mais curto em decorrência de maior controle ambiental, menor incidência de pragas e doenças, maior facilidade de execução dos tratamentos culturais, eliminação de perdas de nutrientes por lixiviação, escoamento, volatilização, fixação e retrogradação, resultando, inclusive, no uso mais racional dos fertilizantes.

A inclusão de tecnologias de monitoramento e automação nesses cultivos não apenas otimizam a eficiência produtiva, mas também podem contribuir ampliar em quantidade e qualidade as produções agrícolas por meio de hidroponia e para atingir 8 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), promovidos pela Organização das Nações Unidas (ONU). São eles: 1. Erradicação da pobreza; 2. Fome zero e agricultura sustentável; 3. Saúde e bem-estar; 5. Igualdade de gênero; 7. Energia acessível e limpa; 8. Trabalho decente e crescimento econômico; 10. Redução das desigualdades; 11. Cidades e comunidades sustentáveis; 12. Consumo e produção responsáveis (Silva et al., 2024). A Tabela 2 apresenta algumas vantagens do uso de tecnologias de monitoramento em hidroponia, destacadas pelos autores.

Tabela 2 - Resumo das Vantagens do cultivo em hidroponia de acordo com os Autores

Vantagens	Autores
Melhor controle sobre a composição da solução nutritiva fornecidas às plantas	(Bezerra Neto; Barreto, 2012). (Mascarenhas, 2003);
Menor consumo de água	(Bezerra Neto; Barreto, 2012); (Faquin, 1996); Van Ginkel <i>et al.</i> (2017); Silva et al. (2024)
Menor consumo de fertilizantes	(Bezerra Neto; Barreto, 2012).
Eliminação de ervas daninhas	(Sharma, 2018)
Economia de energia elétrica, com emprego de automação e uso de energia fotovoltaica.	(Silva et al., 2024; Guerreiro, 2021)
Rápido retorno do capital	(Bezerra Neto & Barreto, 2012).
Maior produtividade e conseqüente redução de custos de produção.	(Bezerra Neto & Barreto, 2012).
Redução no tempo da colheita devido ao encurtamento do ciclo da planta	(Faquin, 1996);
Redução de riscos climáticos, por ser ambiente normalmente protegido, permitindo o cultivo durante todo o ano	(Faquin, 1996);
Redução de mão de obra, tais como capina e preparo do solo, além das atividades na hidroponia serem mais suaves ao agricultor, evitando problemas de saúde ergonômicos.	(Castellane & Araujo, 1995)
Processo pode ser todo automatizado.	(Mascarenhas, 2003);
Contribui para atingir 8 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), promovidos pela Organização das Nações Unidas (ONU)	(Silva et al., 2024)

Quanto aos desafios, embora o uso de hardwares e softwares para monitoramento

do cultivo sem solo seja uma técnica vantajosa, há algumas limitações significativas. O conhecimento técnico e o custo inicial mais elevado custoinicial mais elevado são requisitos fundamentais para o escala comercial (Resh, 2013).

Segundo Van Ginkel *et al.* (2017), cultivos em sistemas hidropônicos podem chegar a consumir 30 vezes mais energia do que os vegetais cultivados no método tradicional. O uso de energias renováveis como a solar e eólica pode ser uma saída para atingir economia e sustentabilidade.

De acordo com Trevisan (2020) a configuração e operação de sistemas de monitoramento baseados em hardware e software podem ser complexas, exigindo conhecimentos técnicos especializados para instalação, calibração e manutenção.

Risco de perda por falta de energia elétrica. Em regiões distantes das grandes metrópoles, costuma faltar energia elétrica com frequência e por muito tempo. Neste caso, recomenda-se uso de energias renováveis como a fotovoltaica para suprir o bombeamento das soluções nutritivas, em situação de emergência.

Como qualquer sistema eletrônico, os sistemas de monitoramento baseados em hardware e software também estão sujeitos a falhas técnicas, como mau funcionamento de sensores, falhas de conectividade ou problemas de software, o que pode afetar a precisão e confiabilidade dos dados coletados. Alguns sistemas de monitoramento dependem de conexões de rede estáveis, como Wi-Fi ou celular, para transmitir dados em tempo real ou acessar informações remotamente. Interrupções na conectividade podem prejudicar a capacidade do sistema de monitorar com eficácia o cultivo (Qazi et al., 2022). A Tabela 3 apresenta um resumodos desafios do cultivo em hidroponia de acordo com os autores consultados.

Tabela 3 - Resumo dos desafios do cultivo em hidroponia de acordo com os Autores

Desafios	Autores
Custo inicial relativamente elevado	(Faquin, 1996); (Resh, 2013).
Exige assistência e conhecimento técnico mais efetivo	(Bezerra Neto & Barreto, 2012).
Exige mão de obra especializada	(Medeiros et al., 2022)
Necessidade de energia elétrica constante	(Guerreiro, 2021)
Risco de falhas técnicas.	(Resh, 2013).
Dependência de conectividade.	Qazi et al. (2022)
Necessidade de manutenção e calibração regular dos equipamentos	Trevisan (2020)

5.4 Considerações Sobre Os Resultados Dos Trabalhos Revisados

Dos 16 trabalhos analisados, a maioria objetivou a implantação e o funcionamento dos sistemas de monitoramento e/ou automação empregados no sistema hidropônico e apenas dois realizaram testes e analisaram melhoria na produtividade da cultura: Kularbphetong et al. (2019) e Guerreiro (2021).

Palande (2017) objetivou automatizar o sistema “*Titan Smartponics*” utilizando microcontroladores e sensores para reduzir ao mínimo a intervenção humana. Foi criada uma rede de Internet das Coisas (IoT) para melhorar a fiabilidade e permitir a monitorização e o controlo remotos quando necessário e fosse de baixo custo e bastante fácil de operar para o utilizador médio. Através da utilização de Arduínos, um Raspberry Pi, software de código aberto, IoT e alguns sensores de monitoramento dos principais parâmetros, este objetivo foi alcançado.

Kularbphetong (2019) objetivou projetar, desenvolver e avaliar um sistema automatizado de hidroponia para controle e monitoramento do crescimento de plantas. O sistema desenvolvido foi capaz de controlar fatores ambientais significativos que afetam o crescimento das plantas, como temperatura, umidade e água. Ele também conseguiu automatizar a mistura da solução nutritiva e coletar informações sobre o processo. O estudo demonstrou a aplicação bem-sucedida de plantas cultivadas em hidroponia, melhorando a estabilidade do sensor de pH e operando de maneira eficaz no modo automatizado.

Lundi & Olli (2017) montaram uma estufa automatizada com hidroponia com sistema hidropônico automático para regular o pH e níveis nutricionais. Os resultados indicaram que o sistema foi capaz de manter valores estáveis para o pH e a condutividade elétrica (CE) dentro dos intervalos predefinidos, embora tenha sido necessário ajustar o intervalo para cima para evitar grandes variações. Não foi possível demonstrar que o sistema mantém os valores dentro de um intervalo menor, como inicialmente suposto. Devido ao consumo relativamente lento de nutrientes pelas plantas, o controle da CE foi considerado fácil. No entanto, o pH mostrou ser um pouco mais sensível, embora uma concentração de pH melhorada tenha sido observada como resultado do sistema automatizado.

Chowdhury (2020) projetou e construiu um sistema hidropônico vertical automático para cultivo indoor, que não dependa do clima externo. A funcionalidade do sistema foi confirmada através da avaliação das respostas dos componentes individuais do sistema e monitoramento deles na plataforma IoT.

Trevisan (2020) O sistema controla a condutividade elétrica em malha fechada e o fluxo da solução nutritiva em malha aberta, ajustando o tempo de acionamento da

motobomba conforme a iluminância, temperatura e umidade do ar. Ele também verifica falhas na bomba, encharcamento de perfis e queda de energia, garantindo alimentação de emergência por bateria em caso de falta de energia. O controle da condutividade elétrica é viável, mas o sensor apresenta descalibração que pode ser corrigida por programação. Por outro lado, o controle do pH mostrou-se impraticável devido à variação significativa quando o medidor está submerso continuamente na solução nutritiva.

Baron (2021) elaboração e análise da viabilidade técnica e operacional da automação modular de baixo custo relativo para um sistema hidropônico NFT de pequena escala. O sistema de automação modular de baixo custo relativo para cultivo hidropônico NFT mostrou-se capaz de controlar a condutividade elétrica (CE) e ajustar o tempo de acionamento da motobomba para circulação da solução nutritiva. Isso resultou em uma suavização na troca dos períodos de rega, reduzindo as variações abruptas no sistema convencional. No entanto, o controle do pH revelou-se inviável com o sensor PH-4502C continuamente submerso, devido às consideráveis variações de medição. Embora o sensor de CE tenha sido aplicável, foi necessário realizar calibrações periódicas devido ao acúmulo de sais em seus eletrodos, destacando a importância da manutenção adequada. Por outro lado, a medição da temperatura com o NTC 10k acoplado ao condutivímetro mostrou boa representação dos dados coletados ao longo do teste.

Amalia et al. (2023) objetivou automatizar a máquina automática de mistura de nutrientes do sistema hidropônico utilizando Inteligência Artificial. Obteve como resultados a poupança de mão de obra necessária para a mistura de nutrientes em até 78% e permitiu uma poupança de até 42,86% nos nutrientes utilizados.

O objetivo do estudo realizado por Silva et al. (2024) foi implantar sistemas hidropônicos e avaliar os benefícios econômicos e ambientais em comparação aos sistemas de irrigação convencionais. Os resultados demonstraram uma economia significativa no consumo de água, atingindo até 90% e possibilitou uma economia de até 75% no consumo de energia, operando por seis horas diárias durante os períodos de maior incidência solar (5h30 às 18h). Foi utilizada programação para definir os intervalos de desligamento de 30 minutos, contribuiu para uma gestão eficaz do consumo energético.

O objetivo proposto por Shimoda et al. (2023) foi de automatizar os processos de medição e dosagem da solução nutritiva para hidroponia por meio de um Arduino. Todavia, não foi possível a confirmação do funcionamento em termos de produtividade de culturas devido ao fato de não ter encontrado usuários para testar o sistema hidropônico.

Quanto aos resultados referentes a produtividade das culturas, além de objetivar o

funcionamento de monitoramento do sistema hidropônico apresentado anteriormente, Kularbphetong et al. (2019) também analisou a produtividade do cultivo de vegetais (não informadas as espécies) em sistema automatizado e avaliar a satisfação do usuário com o protótipo. Os testes mostraram que os vegetais cultivados no sistema com luz laranja controlada tiveram um crescimento superior aos vegetais cultivados de forma tradicional. O sistema apresentou uma taxa de crescimento satisfatória de plantas e germinação de sementes e foi avaliado pelos usuários como “muito bom” nos Requisitos Funcionais do sistema.

Guerreiro (2021) objetivou o uso de automação do sistema de iluminação. Os resultados indicam que o uso de luz vermelha complementar de LED resultou em uma eficiência superior de produção no cultivo hidropônico de alface em comparação com o cultivo sob luz natural. Este estudo sugeriu que a iluminação vermelha pode ser uma estratégia eficaz para melhorar o crescimento e a produção de alface em sistemas hidropônicos, mesmo sob condições climáticas pouco controladas.

6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise quantitativa e qualitativa dos trabalhos que utilizaram tecnologias de monitoramento para automação das variáveis ambientais e da solução nutritiva em cultivos hidropônicos entre os anos de 2010 e 2023 revelou diversas descobertas significativas. Inicialmente, a revisão bibliográfica sistemática identificou um total de 82 fontes, das quais 66 foram categorizadas como fontes primárias, incluindo livros, artigos acadêmicos e trabalhos relacionados à hidroponia e suas tecnologias associadas. Além disso, informações estatísticas e complementares foram obtidas de fontes confiáveis, como a FAO e a ONU, bem como de matérias em jornais eletrônicos.

Dos trabalhos revisados, 16 foram identificados como aqueles que utilizaram tecnologias de monitoramento e automação em sistemas hidropônicos, com destaque para o sistema de cultivo do tipo Nutrient Film Technique (NFT), amplamente adotado em 8 dos estudos analisados. Notavelmente, a maioria desses trabalhos foi realizada no Brasil, com concentração significativa de estudos no Nordeste, Sudeste e Sul do país. Entretanto, não foram encontrados trabalhos nessas áreas nas regiões Norte e Centro-Oeste.

Quanto às publicações, a maioria dos trabalhos analisados foi publicada a partir de 2019, indicando um aumento no interesse acadêmico após um período de desaceleração devido à pandemia de COVID-19. Esse aumento pode ser atribuído à crescente demanda por produção de alimentos sustentáveis, especialmente com a busca por hortas residenciais

durante os períodos de restrição de circulação e desemprego.

Em relação aos tipos de culturas hidropônicas analisadas, a alface (*Lactuca sativa* L.) foi a mais comumente mencionada, refletindo sua prevalência e viabilidade para cultivo hidropônico. No entanto, a maioria dos estudos não se concentrou na avaliação da produtividade das culturas, mas sim no desenvolvimento e funcionamento dos sistemas de monitoramento e automação.

Quanto às tecnologias utilizadas, uma variedade de ferramentas de hardware e software foi identificada. Para monitoramento da solução nutritiva, os sensores DS18B20 e Rika Sensors RK500-12 são os mais frequentemente utilizados para medição de temperatura e pH, respectivamente. Em relação aos parâmetros ambientais, no monitoramento de temperatura e umidade, os sensores "DHT11" e "DHT22" foram os mais utilizados, sugerindo sua confiabilidade e aceitação entre os pesquisadores.

Microcontroladores como ESP32, Arduino Nano e Arduino Mega, além de microprocessadores como Raspberry Pi foram os mais utilizados. Atuadores como bombas peristálticas e válvulas solenoides também apareceram como atuadores importantes no funcionamento eficiente dos sistemas hidropônicos automatizados.

Em relação às vantagens do uso de tecnologias de monitoramento em cultivos hidropônicos, os estudos revisados destacaram diversos benefícios, como melhor controle sobre a solução nutritiva, menor consumo de água e fertilizantes, eliminação de ervas daninhas, economia de energia elétrica e rápido retorno do capital investido. Além disso, essas tecnologias contribuem para atingir vários Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas, incluindo erradicação da pobreza, fome zero, saúde e bem-estar, entre outros.

No entanto, o uso dessas tecnologias também apresenta desafios significativos, como o custo inicial elevado, a necessidade de conhecimento técnico especializado, a dependência de energia elétrica constante e o risco de falhas técnicas. Além disso, alguns sistemas dependem de conectividade estável, o que pode ser problemático em áreas com acesso limitado à internet.

A análise dos trabalhos revelou também que 37,5% não especificaram o sistema hidropônico utilizado, enquanto 56,25% não detalharam o tipo de cultura. Essa falta de especificação pode ser atribuída à independência dos resultados dos hardwares e softwares de monitoramento em relação à estrutura do sistema e ao tipo de cultura.

A maioria dos estudos concentrou-se na implementação e operação de sistemas de monitoramento, com ênfase no sensoriamento e coleta de dados para controle ambiental e

nutricional. Apenas dois trabalhos abordaram diretamente os efeitos na produtividade das culturas hidropônicas, destacando uma preocupação prioritária com o funcionamento dos sistemas embarcados. Todos os trabalhos revisados demonstraram o funcionamento eficaz dos sistemas propostos, evidenciando a capacidade dos sistemas de monitoramento em proporcionar maior controle ambiental e nutricional para as plantas.

Em conclusão, os trabalhos analisados demonstram o potencial das tecnologias de monitoramento para automação de processos e visam melhorar a eficiência e a sustentabilidade dos cultivos hidropônicos. No entanto, é importante abordar os desafios associados a essas tecnologias para garantir sua aplicabilidade e viabilidade em diferentes contextos.

Visto que, a Agricultura 5.0 precisa englobar características que permitam a produção de mais alimentos em menos área e com menos insumos, abrem-se oportunidades para o crescimento de cultivos agrícolas por meio de sistemas hidropônicos. Sugere-se mais estudos e aprofundamento de revisões bibliográficas com foco nas soluções para problemas nos componentes utilizados para monitoramento e automação de processos, visando a melhor gestão do sistema hidropônico e aumento da produtividade vegetal.

Para o futuro, espera-se uma evolução contínua na integração de tecnologias de monitoramento e automação de processos de cultivos hidropônicos, em resposta a desafios como a crescente população mundial e na luta contra a fome.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA SENADO, 2023. Relatório de agência da ONU aponta que 61,3 milhões de brasileiros sofrem com insegurança alimentar. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/radio/1/noticia/2023/07/13/relatorio-de-agencia-da-onu-aponta-que-61-3-milhoes-de-brasileiros-sofrem-com-inseguranca-alimentar>>. Acesso em: 17 de outubro de 2023.

ALENCAR, C.A.B.; CUNHA, F.F.; RAMOS, M.M.; SOARES, A.A.; PIZZIOLLO, T. A.; OLIVEIRA, R.A. Análise da automação em um sistema de irrigação convencional fixo por miniaspersão. Engenharia na Agricultura, Viçosa, v.15, n.2, p.109-118, 2007.

AL-TAWAHA, A. R.; AL-KARAKI, G.; SIRAJUDDIN, S. N.; MAKHADMEH, I.; WAHAB, P. E. M.; YOUSSEF, R. A.; AL SULTAN, W.; MASSADEH, A. Effect of water flow rate on quantity and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in nutrient film technique (NFT) under hydroponics conditions. Bulgarian Journal of Agricultural Science, Sofia, v.24, n. 5, p. 793-800, 2018.

ANA, 2019. Especialistas apontam desperdício de água na irrigação agrícola. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/noticias-antigas/especialistas-apontam-desperdicio-de-a-gua-a.2019-03-15.9526508339>. Acesso em 10 de outubro de 2023.

ARDUINO. WHAT is Arduino? Disponível em: <<https://docs.arduino.cc/learn/starting-guide/whats-arduino>>. Acesso em: 08 jan. 2023.

ARRUDA, D. Cultivo hidropônico em telhados. In: Jornal Correio do Estado, Campo Grande, 20 out. 2014. Disponível em: <<http://www.correiodoestado.com.br>>. Acesso em: 02 fev.2024.

BAMBINI, M. D.; BONACELLI, M. B. M. Ecossistemas Agtech no Brasil: localização, caracterização e atores envolvidos. In: WORKSHOP ANPROTEC; INNOVATION

BBC News, 2009. Produção de alimentos precisa aumentar 70% até 2050, diz ONU. Disponível em: https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2009/10/091012_. Acesso em: 02 out. 2023.

BERNARDES, L. J. L. Hidroponia. Alface Uma História de Sucesso. Charqueada: Estação Experimental de Hidroponia “Alface e Cia”, 1997. 120p.

CARLOS, L. H. Arduino #7: Ambiente de Desenvolvimento. Hardware Livre USP, 21 de novembro de 2016. Disponível em: <https://hardwarelivreusp.org/tutoriais/2016/11/21/arduino-7environment/>. Acesso em: 18 fev.2024.

CAMPOS E NEGÓCIOS. Automação em hidroponia – a modernização do sistema. Disponível em: <<http://www.revistacampoenegocios.com.br/automacao-em-hidroponia-amodernizacao-do-sistema/>>. Acesso em: 12 fev.2024.

CANELLAS, L. P., Olivares, F. L., Aguiar, N. O., Jones, D. L., Nebbioso, A., Mazzei, P., ... &

Piccolo, A. (2010). Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 126(4), 347-354.

CARVALHO, E. J. M., SILVA, D. K. A., BATISTA, R. O., & OLIVEIRA, A. P. (2014). Eficiência de fungos micorrízicos arbusculares no crescimento de mudas de maracujazeiro. *Revista Caatinga*, 27(1), 25-31.

CARLET, M. A.. Automação de horta hidropônica utilizando microcontrolador arduíno. 2020. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2020.

CASTELLANE, P. D.; ARAUJO, J. A. C. Cultivo sem solo – hidroponia. 2a ed. Jaboticabal: Funesp, 1995. 43p.

CHOWDHURY MEH, KHANDAKAR A, AHMED S, AL-KHUZAEI F, HAMDALLA J, HAQUE F, REAZ MBI, AL SHAFEI A, AL-EMADI N. Design, Construction and Testing of IoT Based Automated Indoor Vertical Hydroponics Farming Test-Bed in Qatar. *Sensors (Basel)*. 2020 Oct 2;20(19):5637. doi: 10.3390/s20195637. PMID: 33023097; PMCID: PMC7582991.

COSTA, P. C., DIDONE, E. B., SESSO, T. M., CAÑIZARES, K. A. L., & GOTO, R. (2001). Condutividade elétrica da solução nutritiva e produção de alface em hidroponia. *Scientia Agricola*, 58(3), 595–597. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162001000300023>.

COSTA, A. G. "Fazenda Vertical: Conheça a Ideia Inteligente, Mas Cara Para Nossa Agricultura." *Terra*, 11 mai. 2023. Disponível em: https://www.terra.com.br/byte/fazenda-vertical-conheca-ideia-inteligente-mas-cara-para-nossa-agricultura,8267ddb7c47bb3cae47443acebc3f9a4b9jno3x9.html?utm_source=clipboard. Acesso em: 02 de fevereiro de 2024.

D'Anna, M. (2017). Automated hydroponic greenhouse. University of Massachusetts Amherst, EUA.

DIAS, C. Estudo revela que 30% dos solos do mundo estão degradados. *Embrapa Solos*, 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/14343883/estudo-revela-que-30-dos-solos-do-mundo-estao-degradados>. Acesso em: 25 de outubro de 2023.

DOUGLAS, S.J. *Hidroponia: cultura sem terra*. São Paulo: Nobet, 1987. 141p.

ERENO, D. Isopor Vegetal. *Revista FAPESP*, ed. 132, 2007. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/2007/02/01/isopor-vegetal/>. Acesso em 25 de maio de 2017.

ECONOMAKIS, C.D.; SAID, M. Effect of solution temperature on growth and shoot nitrate content of lettuce grown in solution culture. *Acta Horticulture*, n.579, p.411-415,2002.

ELETROGATE. Componentes Eletrônicos. Sensores DHT11 e DHT22: Guia Básico dos Sensores de Umidade e Temperatura. 12 set. 2022. Disponível em:

<https://blog.eletrogate.com/sensores-dht11-dht22/#:~:text=Sensor%20DHT11,-O%20sensor%20DHT11&text=Dentro%20do%20sensor%20existe%20um,cabo%20de%20at%C3%A9%2020%20metros>. Acesso em 15 jan. 2024.

EUROPEAN AGRICULTURAL MACHINERY ASSOCIATION. Digital Farming: what does it really mean? And what is the vision of Europe's farm machinery industry for Digital Farming? 13 Feb 2017. Disponível em: https://www.cema-agri.org/images/publications/position-papers/CEMA_Digital_Farming_-_Agriculture_4.0__13_02_2017_0.pdf. Acesso em: 15 dez. 2023.

FAO, FIDA, OMS, PMA e UNICEF, 2023. O estado da segurança alimentar e nutrição no mundo 2023. Urbanização, transformação dos sistemas agroalimentares e dietas saudáveis ao longo do continuum rural-urbano. Roma, Disponível em: <https://doi.org/10.4060/cc3017es>.

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

FIREBASE. Firebase Realtime Database: Armazene e sincronize dados em tempo real. Disponível em: <https://firebase.google.com/products/realtime-database?hl=pt-br>. Acesso em: 15 fev.2024.

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, N. Cultivo hidropônico de plantas. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1999.

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. Cultivo hidropônico de plantas: Parte 2 - solução nutritiva. 2009.

GUERREIRO, D. T. Desenvolvimento da alface hidropônica com complemento de luz vermelha em sistema fotovoltaico. 2021. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel - PR.

HEINTZE, T. C. D.. Planejamento e controle para produção de alface hidropônica com auxílio de planilhas eletrônicas. 2018. 155 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2018.

HERMANN, Mario; PENTEK, Tobias; OTTO, Boris. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. 2015. Disponível em: http://www.iim.mb.tu-dortmund.de/cms/de/forschung/Arbeitsberichte/Design-Principles-for-Industrie-4_0_cenarios.pdf. Acesso em: 21 jan. 2023.

HOAGLAND, D. R., & ARNON, D. I. (1950). The water-culture method for growing plants without soil. Circular, California Agricultural Experiment Station, 347(2nd edit).

IBERDROLA. O que é Edge Computing. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/inovacao/o-que-e-edge-computing#:~:text=A%20Edge%20Computing%2C%20ou%20computa%C3%A7%C3%A3o,mais%20pr%C3%B3ximo%20poss%C3%ADvel%20da%20mesma>. Acesso em: 15 fev.2024.

IKEDA, H., KOOHAKAN, P. AND JAENAKSORN, T. 2002. Problems and counter measures in there use of the nutriente solution in soilless production. *Acta Horticulturae* 578:213-219.

Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI). Classificação Internacional de Patentes - IPC. Disponível em: <http://ipc.inpi.gov.br/classifications/ipc/ipcpub/?notion=scheme&version=20240101&symbol=A01G0024000000&menulang=pt&lang=pt&viewmode=f&fipcpc=no&showdeleted=yes&indexes=no&headings=yes¬es=yes&direction=o2n&initial=A&cwid=none&tree=no&searchmode=smart>. Acesso em: 05 fev. 2024.

JHA, K.; DOSHI, A.; PATEL, P.; SHAH, M. A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. *Artificial Intelligence in Agriculture*, v.2, p.1-12. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2019.05.004>.

JONES JR., J. B. *Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower*. 2nd ed. [S.I.]: Publisher, 2005. Disponível em: https://issuu.com/virgiulloac/docs/j._benton_jones_jr._hydroponics_/419.

JOVICICH, E., CANTLIFFE, D.J. AND STOFFELLA, P.J. 2003. Spanish pepper trellis system and high plant density can increase fruit yield, fruit quality and reduce labour in a hydroponic, passive-ventilated greenhouse. *Acta Horticulturae* **614**: 255- 262.

JOSHI, DIPESH & NAINABASTI, ANJAL & BHANDARI, RITA & AWASTHI, PRAKASH & BANJADE, DINANATH & MALLA, SANTOSHI & SUBEDI, BISHESH. (2022). A review on soilless cultivation: The hope of urban agriculture. *Archives of Agriculture and Environmental Science*. 7. 473-481. 10.26832/24566632.2022.0703022.

LABHIDRO. Laboratório de Hidroponia da Universidade Federal de Santa Catarina. A Hidroponia na 2ª Guerra Mundial. Disponível em: <https://labhidro.cca.ufsc.br/a-hidroponia-na-2-guerra-mundial>. Acesso em: 02 fev. 2024.

LABHIDRO. Laboratório de Hidroponia da Universidade Federal de Santa Catarina. A Hidroponia no Brasil. Disponível em: [Hidroponia no Brasil \(ufsc.br\)](https://labhidro.cca.ufsc.br/a-hidroponia-no-brasil). Acesso em: 02 fev. 2024.

LANNA, A. C. Mitigação dos estresses abióticos na agricultura mediada pela interação de microrganismos e plantas. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2021. 35 p.

(Documentos / Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9644; 319).

LUCHIARI JUNIOR, Ariovaldo; QUEIRÓS, Leonardo Ribeiro; NETO, João Camargo; CHAIM, Aldemir. *AgroTIC em agricultura de precisão e automação agrícola*. Brasília, DF: Embrapa, 2014. Cap. 10. p.191-213. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia>.

LUZ, J.M.Q.; ANDRADE, L.V.; DIAS, F.F.; SILVA, M.A.D.; HABER, L.L.; OLIVEIRA, R.C. Produção hidropônica de coentro e salsa crespa sob concentrações de solução nutritiva e posições das plantas nos perfis hidropônicos. *Bioscience Journal*, v.28, p. 589 - 597, 2012.

MAGWAZA ST, MAGWAZA LS, ODINDO AO, MDITSHWA A. Hydroponic technology as decentralised system for domestic wastewater treatment and vegetable production in urban agriculture: A review. *Sci Total Environ*. 2020 Jan 1;698:134154. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134154. Epub 2019 Aug 31. PMID:31505342.

MANZOCCO, L., FOSCHIA, M., TOMASI, N., MAIFRENI, M., COSTA, L.D., MARINO, M., CORTELLA, G. AND CESCO, S. 2011. Influence of hydroponic and soilcultivation on quality and shelf life of ready-to-eat lamb's lettuce (*Valerianella locusta* L. Laterr). *Journal*.

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

MASSRUHÁ, S. M. F. S. *Agricultura digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas*. Brasília, DF: Embrapa, 2020. 406 p. Il. color. (PDF).

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

MIZOKAMI, K. Pink Farms: conheça a maior fazenda vertical urbana da América Latina. *Digital Agro*, [S.I.], 24 fev. 2022. Disponível em: <https://digitalagro.com.br/2022/02/24/pink-farms-conheca-a-maior-fazenda-vertical-urbana-da-america-latina/>. Acesso em: 11 fev. 2024.

MOLIN, J. P. *Agricultura de precisão: situação atual e perspectivas*. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/agriculturaprecisaosituacao_000fkl0ctoe02wyiv80sq98yqpxloebw.pdf> Publicado em janeiro de 2004.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. *Agricultura de precisão*. São Paulo: Oficina de textos, 2015.

MONTGOMERY, D. R. (2007). Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(33), 13268-13272.

ONU DESA. *População mundial deverá atingir 9,7 bilhões até 2050 | DESA da ONU* Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas. 2015. Disponível online: <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/world-population-prospects-2017.html>. Acesso em 17 de outubro de 2023.

PALANDE, V. Fully Automated Hydroponic System for Indoor Plant Growth. Sciencedirect: 2017 International Conference on Identification, Information and Knowledge in the Internet of Things, United States, n. 129, p.482-488, 2018.

PENA, R. F. A. "Evolução da agricultura e suas técnicas"; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/evolucao-agricultura-suas-tecnicas.htm>. Acesso em 04 de março de 2024.

PIERCE, M. Pesquisa da NASA lança uma nova geração de agricultura interna. Spinoff da NASA. Publicada em 23 de novembro de 2021. Disponível em: <https://www.nasa.gov/technology/tech-transfer-spinoffs/nasa-research-launches-a-new-generation-of-indoor-farming/>. Acesso em: 08 jan. 2024.

PINK FARMS. Disponível em: <https://pinkfarms.com.br/>. Acesso em: 11 jan. 2024.

PINTO, M.F. Desenvolvimento de um sistema de controle do pH da água para a irrigação localizada. Piracicaba, 2010. 115p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

QAZI, S.; KHAWAJA, B. A.; FAROOQ, Q. U. IoT-equipped and AI-enabled next generation smart agriculture: A critical review, current challenges and future trends. *IEEE Access*, v. 10, p. 21219-21235, 2022.

RAVIV, M., LIETH, J. H., & TAL-BAR, A. (2019). *Soilless Culture: theory and practice*.

RESH, H.M. Hydroponic Food Production: a Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower. CRC Press, Boca Raton, FL. 2013.

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

ROBOCORE. Shield para Arduino - Ethernet W5500. Disponível em: <<https://www.robocore.net/shields-arduino/arduino-shield-ethernet-w5500>>. Acesso em: 13 dez.2023.

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

SANTOS, I. S. Cultivo de alface em sistema hidropônico com solução nutritiva enriquecida com silício. 2021. 129 p.: il. colorido. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Estadual da Paraíba.

SAVVAS, D.; GIANQUINTO, G.P.; TÜZEL, Y.; GRUDA, N. Soilless culture. In: FAO. Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops - principles for mediterranean climate areas. Plant Production and Protection Paper, v.217. Rome: FAO, 2013. p.303-354.

SHARMA, S.; TEOTIA, S; PAWAR, S. Fuzzy logic control system and its application area in daily life. *International Journal of Management, IT and Engineering*, v.25, p.286- 291, 2019.

SCHRÖDER, F.-G.; LIETH, J. H. *Irrigation control in hydroponics*. [S.l.]: Embryo Publications: Athens, Greece, 2002.

SHEPHERD, M.; TURNER, J. A.; SMALL, B.; WHEELER, D. Priorities for science to overcome hurdles thwarting the full promise of the 'digital agriculture' revolution. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 100, n. 14, Sept 2018. DOI: 10.1002/jsfa.9346.

SILVA, I. C.C., LIMA, C.B. V., JOSEPH, J. B., ACIOLY, N. T. B., TARSO, D., & SOUSA, S. (2024). *APLICAÇÃO DO SISTEMA ESTHER 4.0 EM HIDROPONIA PARA PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL*. <https://doi.org/10.56238/sevenIVmulti2023-104>.

SOLUTIS. Edge Computing: Acelerando a Transformação Digital. Disponível em: <https://solutis.com.br/2022/04/18/edge-computing-acelerando/>. Acesso em: 15 fev.2024.

SONNEVELD, C., VOOGT, W. Plant Nutrition in Future Greenhouse Production. In: *Plant Nutrition of Greenhouse Crops*. Springer, Dordrecht, 2009. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2532-6_17.

TEIXEIRA, N. T. *Hidroponia: uma alternativa para pequenas áreas*. Guaíba: Agropecuária, 1996.86p.

UFSC. A hidroponia na 2ª guerra mundial. Disponível em: <<http://www.labhidro.cca.ufsc.br/a-hidroponia-na-2-guerra-mundial>>. Acesso em: 15 jan. 2024.

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

VASCONCELOS, M. A era da Agricultura 4.0. In: *Revista Tecnologia da Informação na Gestão Pública*, ano 15, nº 20, dezembro de 2018, p. 85. ISSN 1808-0715. Distribuição gratuita.

WIPO - World Intellectual Property Organization. Disponível em: <https://www.wipo.int/about-wipo/en/index.html>. Acesso em: 14 dez. 2023.

WRIGHT, J. *Sustainable Agriculture and Food Security in an Era of Oil Scarcity: Lessons from Cuba*. Copyright, 2009.