



UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA – UNEB

DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO – DEDC – *CAMPUS VIII*

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA DE PESCA

**AQUAPONIA E ENGENHARIA DE PESCA: REVISÃO NARRATIVA SOBRE
PRODUÇÃO INTEGRADA E SUSTENTÁVEL**

MARIA LINDINÊS DOS SANTOS

Paulo Afonso-BA

2025

MARIA LINDINÊS DOS SANTOS

**AQUAPONIA E ENGENHARIA DE PESCA: UMA REVISÃO NARATIVA SOBRE
PRODUÇÃO INTEGRADA E SUSTENTÁVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC),
apresentado à banca examinadora
Departamento de Educação – DEDC /
Campus VIII – Paulo Afonso, como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Pesca pela
Universidade do Estado da Bahia – UNEB.

Orientadora: Profª. Drª. Fátima Lúcia de Brito
dos Santos

Paulo Afonso-BA

2025

MARIA LINDINÊS DOS SANTOS

**AQUAPONIA E ENGENHARIA DE PESCA: UMA REVISÃO NARRATIVA SOBRE
PRODUÇÃO INTEGRADA E SUSTENTÁVEL**

DATA DE APRESENTAÇÃO: 04 DE AGOSTO DE 2025.

Prof. Dra. Adriana Maria Cunha da Silva
Coordenadora do Curso de Engenharia de Pesca

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
FATIMA LUCIA DE BRITO DOS SANTOS
Data: 30/08/2025 00:17:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientadora: Profa. Dra. Fatima Lúcia de Brito dos Santos
Universidade do Estado da Bahia – UNEB
Departamento de Educação - *Campus VIII*

Examinador: Prof. Dr. Ticiano Rodrigo Almeida de Oliveira
Universidade do Estado da Bahia – UNEB
Departamento de Educação - *Campus VIII*

Examinador: Prof. Dra. Eliane Maria de Souza Nogueira
Universidade do Estado da Bahia – UNEB
Departamento de Educação - *Campus VIII*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me concedido força, sabedoria e perseverança para chegar até aqui. À minha família, por todo o amor, paciência e apoio nos momentos mais difíceis em especial a minha mãe, Erijane dos Santos Alexandre e ao meu, filho Isaac Costa dos Santos, razão maior de tudo isso. Foi por ele que eu nunca desisti, mesmo diante dos maiores desafios. Que ele possa se orgulhar de cada passo dessa conquista;

À Universidade do Estado da Bahia, *Campus VIII*;

À minha orientadora, Profa. Dra. Fátima Brito, pelo incentivo, dedicação e orientação em todas as fases deste trabalho;

A todos os professores e professoras do curso de Engenharia de Pesca da UNEB – *Campus VIII*, por compartilharem seus saberes com comprometimento e humanidade;

Aos professores Eliane Maria de Souza Nogueira e Ticiano Rodrigo Almeida de Oliveira por terem aceitado participar da banca e pelas contribuições valiosas;

Aos colegas de turma, por toda a parceria, troca de conhecimentos e apoio mútuo durante a caminhada acadêmica.

Meu sincero muito obrigada a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre a aquaponia, enfatizando sua integração com a Engenharia de Pesca e as implicações para a produção sustentável de alimentos. Por meio da análise de publicações dos últimos dez anos (2013-2023), abordam-se os conceitos, princípios, sistemas de cultivo, manejo de peixes e plantas, além das potencialidades, desafios técnicos e impactos socioeconômicos da tecnologia. A busca por alternativas sustentáveis na produção de alimentos tem se intensificado nas últimas décadas, especialmente diante dos desafios relacionados à escassez de recursos naturais, às mudanças climáticas e à necessidade de fortalecer a agricultura familiar. Nesse contexto, a aquaponia surge como uma tecnologia promissora, integrando a criação de organismos aquáticos ao cultivo de plantas em um sistema recirculante, que permite o reaproveitamento de nutrientes e a economia de água. A metodologia adotada consistiu em levantamento e análise de trabalhos acadêmicos, relatórios técnicos e livros que tratam do desenvolvimento, implementação e desempenho de sistemas aquapônicos em território nacional, com ênfase em sua utilização em contextos de agricultura familiar. A pesquisa buscou identificar os principais benefícios e limitações da tecnologia, bem como seu potencial de expansão em áreas com recursos hídricos limitados e baixa disponibilidade de insumos agrícolas. Os resultados obtidos revelam que a aquaponia pode contribuir de forma significativa para a segurança alimentar, a geração de renda e a diversificação produtiva, apresentando-se como uma alternativa acessível e adaptável às condições de pequenos produtores, especialmente em regiões semiáridas ou com restrições ambientais. Além dos aspectos ambientais, como a redução da emissão de efluentes e o uso eficiente da água, a aquaponia também oferece vantagens econômicas ao permitir a produção conjunta de peixes e hortaliças em pequena escala, otimizando o espaço e os recursos disponíveis. Contudo, o estudo identificou que ainda existem obstáculos importantes para a adoção generalizada da tecnologia, como o alto custo inicial de implantação, a carência de assistência técnica especializada e a escassez de políticas públicas específicas que incentivem a sua difusão entre produtores de base familiar. Também se destaca a necessidade de ampliar a oferta de capacitação técnica e o acesso a informações práticas e científicas sobre o funcionamento e manejo dos sistemas aquapônicos. Conclui-se que, embora ainda enfrente desafios estruturais e logísticos, a aquaponia representa uma alternativa viável para promover a sustentabilidade na agricultura familiar brasileira. Sua implementação pode fortalecer cadeias produtivas locais, reduzir a dependência de insumos externos e ampliar a oferta de alimentos saudáveis, alinhando-se aos princípios da conservação ambiental e do desenvolvimento rural sustentável.

Palavras-chave: Agricultura familiar. Sustentabilidade. Economia de água. Pequenos produtores.

ABSTRACT

This work presents a bibliographic review of aquaponics, emphasizing its integration with fisheries engineering and its implications for sustainable food production. Through the analysis of publications from the last ten years (2013-2023), the paper addresses the concepts, principles, cultivation systems, fish and plant management, as well as the technology's potential, technical challenges, and socio-economic impacts are addressed. The search for sustainable alternatives in food production has intensified in recent decades, especially in light of the challenges related to the scarcity of natural resources, climate change, and the need to strengthen family farming. Aquaponics stands out for its water savings, reduction in chemical inputs, production diversification, and contribution to food security and social inclusion. However, large-scale adoption faces barriers related to management complexity and the costs of automated systems. The methodology consisted of surveying and analyzing academic papers, technical reports, and books addressing the development, implementation, and performance of aquaponic systems in the Brazilian context, with emphasis on their use in family farming. The research aimed to identify the main benefits and limitations of this technology, as well as its potential for expansion in regions with limited water resources and low availability of agricultural inputs. The results show that aquaponics can significantly contribute to food security, income generation, and productive diversification, presenting itself as an accessible and adaptable alternative for small farmers, especially in semi-arid regions or those with environmental restrictions. In addition to environmental benefits such as reduced effluent discharge and efficient water use, aquaponics offers economic advantages by enabling the simultaneous production of fish and vegetables on a small scale, optimizing space and available resources. However, the study identified important obstacles to widespread adoption of the technology, including high initial implementation costs, lack of specialized technical assistance, and the absence of public policies that support its dissemination among family-based producers. It is also necessary to expand access to technical training and practical and scientific information on the functioning and management of aquaponic systems. It is concluded that, although it still faces structural and logistical challenges, aquaponics represents a viable alternative for promoting sustainability in Brazilian family farming. Its implementation can strengthen local production chains, reduce dependence on external inputs, and increase the supply of healthy food, aligning with principles of environmental conservation and sustainable rural development.

Keywords: Family farming. Sustainability. Water conservation. Small-scale producers.

Lista de figuras

Figura 1 Sistema NFT 16	19
Figura 2 Sistema Cama de Mídia	20
Figura 3 Sistema de Fluxo e Refluxo	21

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	11
2.1 Objetivo Geral.....	11
2.2 Objetivos específicos.....	11
3 DESENVOLVIMENTO	12
3.1 Conceitos e Princípios da Aquaponia.....	12
3.2 Potencialidades da Aquaponia	13
3.3 Desafios Técnicos e Tecnológicos na Implantação e Manejo	15
3.4 Sistemas de Cultivo em Aquaponia	17
3.5 Cultivo de Plantas	21
3.6 Cultivo de Peixes	24
3.7 Sustentabilidade e Eficiência dos Sistemas Aquapônicos.....	26
3.8 Impactos Socioeconômicos e Perspectivas para a Aquaponia	28
3.9 Aquaponia e Agricultura Familiar: Potencial de Aplicação entre Pequenos Produtores.....	31
4 METODOLOGIA	32
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
6 CONCLUSÕES	36
REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

A aquaponia tem se consolidado como uma abordagem inovadora e sustentável para a produção de alimentos, integrando a criação de organismos aquáticos, especialmente peixes, com o cultivo de plantas em sistemas hidropônicos. Nesse processo, os resíduos metabólicos dos peixes fornecem nutrientes essenciais para as plantas, que, por sua vez, filtram e purificam a água, promovendo um ciclo produtivo eficiente e reduzindo significativamente o consumo hídrico em comparação às práticas agrícolas e de piscicultura convencionais (Corrêa, 2018; De Andrade *et al.*, 2021).

Nos últimos anos, o interesse acadêmico e prático pela aquaponia tem crescido, especialmente diante de desafios globais como escassez de água, degradação ambiental e a necessidade de garantir segurança alimentar. Além dos benefícios ambientais, a aquaponia oferece oportunidades socioeconômicas, permitindo que comunidades rurais e urbanas diversifiquem suas fontes de renda e produzam alimentos mais saudáveis e livres de agrotóxicos (Lima *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2019; Da Costa *et al.*, 2020). Além dos benefícios ambientais e produtivos, a aquaponia possui um potencial socioeconômico considerável, especialmente para comunidades de baixa renda e áreas com dificuldades para a agricultura convencional (Machado, 2019; Moura, 2021). A instalação de sistemas aquapônicos domésticos e comunitários, incluindo módulos que utilizam energia solar fotovoltaica, tem sido explorada como estratégia para aumentar a autonomia alimentar, promover a geração de renda e melhorar a qualidade de vida nessas populações (Nakauth *et al.*, 2020; Moura, 2021).

A sustentabilidade da aquaponia está fortemente ligada à correta manutenção dos parâmetros físico-químicos do sistema, especialmente o pH, a temperatura e os níveis de oxigênio dissolvido, que influenciam diretamente na saúde dos peixes e no crescimento das plantas (Wang; Yang; KimI, 2023). A adoção de tecnologias para monitoramento contínuo e controle automático, como sistemas que inserem nutrientes automaticamente em hortas hidropônicas, tem sido um avanço importante para aumentar a eficiência produtiva e reduzir o trabalho manual (Shishido *et al.*, 2021).

Apesar dos inúmeros benefícios, a aquaponia ainda enfrenta desafios que limitam sua ampla adoção. O custo inicial para instalação dos sistemas pode ser elevado, especialmente para pequenos produtores, além da necessidade de conhecimentos técnicos específicos para manejar adequadamente os aspectos biológicos e ambientais do sistema (Machado, 2019). A

complexidade do manejo integrado requer capacitação e suporte técnico contínuo, que muitas vezes não estão acessíveis para comunidades rurais ou periurbanas (Tavares Júnior, 2020).

Outro desafio é a adaptação do sistema a diferentes contextos climáticos e ambientais, uma vez que variações de temperatura e luminosidade podem afetar o equilíbrio entre peixes, plantas e microrganismos (Lima *et al.*, 2015). Pesquisas têm buscado identificar espécies nativas e adaptações técnicas que possibilitem a implantação de aquaponia em diversas regiões do Brasil, respeitando suas características ambientais e culturais (Oliveira *et al.*, 2019).

Ainda, há uma necessidade crescente de estudos científicos que aprofundem o conhecimento sobre a dinâmica dos nutrientes, as interações biológicas e os impactos socioeconômicos da aquaponia (De Andrade *et al.*, 2021). A integração de tecnologias digitais e o desenvolvimento de modelos econômicos para viabilizar a comercialização dos produtos aquapônicos também são áreas promissoras para futuros investimentos (Shishido *et al.*, 2021).

Do ponto de vista técnico, o sucesso de sistemas aquapônicos depende do equilíbrio biológico entre peixes, plantas e microrganismos, bem como do manejo adequado da qualidade da água e das condições ambientais, áreas nas quais a Engenharia de Pesca desempenha papel central (Sátiro; Neto; Delprete, 2018; Peixe BR, 2020). Espécies como a tilápia (*Oreochromis niloticus*) são frequentemente escolhidas devido à sua robustez e capacidade de adaptação, constituindo o foco da maioria dos sistemas aquapônicos brasileiros (De Assis *et al.*, 2023).

Apesar dos avanços, existem desafios que limitam a ampla adoção da aquaponia, incluindo altos custos iniciais, necessidade de conhecimento técnico especializado, adaptação a diferentes condições climáticas e monitoramento contínuo dos parâmetros físico-químicos do sistema (Machado, 2019; Tavares Júnior, 2020; Wang; Yang; Kim, 2023). Além disso, lacunas na literatura persistem sobre a dinâmica de nutrientes, interações biológicas e impactos socioeconômicos do sistema (De Andrade *et al.*, 2021; Shishido *et al.*, 2021).

Diante desse cenário, esta revisão narrativa busca sintetizar e analisar estudos sobre aquaponia, abordando aspectos técnicos, produtivos, ambientais e socioeconômicos, com ênfase em identificar tendências, desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável desse sistema integrado. A intenção é fornecer uma visão abrangente que apoie pesquisadores, técnicos e produtores na compreensão do potencial da aquaponia e das estratégias necessárias para sua implementação eficaz, a aquaponia representa uma alternativa inovadora e sustentável para a produção de alimentos, especialmente em um cenário de crescente demanda mundial e desafios ambientais. A sua associação com a Engenharia de Pesca é essencial para otimizar o

cultivo integrado, garantir a qualidade dos produtos e promover o uso racional dos recursos naturais (Peixe BR, 2020; Satiro Neto; Delprete, 2018). A disseminação dessa técnica exige esforços coordenados entre pesquisadores, técnicos, produtores e políticas públicas, que incentivem o desenvolvimento tecnológico e a capacitação necessária para sua adoção efetiva.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Realizar uma revisão bibliográfica sobre a aquaponia, baseada na literatura científica dos últimos dez anos (2013-2023), enfatizando as contribuições e desafios da Engenharia de Pesca no desenvolvimento sustentável desse sistema integrado de produção.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar as potencialidades da aquaponia na produção integrada de peixes e plantas;
- Analisar os desafios técnicos, econômicos e ambientais enfrentados na implantação e manejo dos sistemas aquapônicos;
- Destacar o papel da Engenharia de Pesca na seleção, manejo e monitoramento das espécies aquáticas em sistemas aquapônicos;
- Investigar como os pequenos produtores podem se beneficiar da adoção de sistemas aquapônicos, considerando as condições socioeconômicas.

3 DESENVOLVIMENTO

Antes de adentrarmos nos aspectos específicos e técnicos da aquaponia, é importante destacar o contexto em que essa tecnologia tem ganhado relevância nas últimas décadas. A crescente demanda por sistemas produtivos sustentáveis, aliados à escassez de recursos naturais, especialmente água e solo fértil, tem impulsionado a busca por métodos inovadores que conciliem produtividade, preservação ambiental e viabilidade econômica (Corrêa, 2018; De Andrade et al., 2021).

Para tanto, foram abordados os fundamentos do sistema aquapônico, as técnicas de cultivo de plantas e peixes e a importância da Engenharia de Pesca na gestão dos recursos aquáticos.

3.1 Conceitos e Princípios da Aquaponia

A aquaponia é uma tecnologia inovadora que integra a criação de peixes (aquicultura) com o cultivo de plantas em ambiente hidropônico, formando um sistema produtivo sustentável e fechado, que permite o reaproveitamento eficiente dos recursos hídricos e nutrientes (Correa, 2018; De Andrade *et al.*, 2021). Este sistema baseia-se na simbiose entre organismos aquáticos e vegetais, onde os resíduos excretados pelos peixes, ricos em amônia e outros compostos nitrogenados, são transformados por bactérias nitrificantes em nutrientes assimiláveis pelas plantas, que, por sua vez, purificam a água devolvida aos tanques (Sátiro; Neto; Adelprete, 2018).

Inicialmente, por volta do Século XI e XII os Astecas já adotavam a **Chinampas** que consistia em plantas cultivadas em ilhas fixas ou móveis em lagos rasos, sendo que os dejetos eram dragados dos canais das **Chinampas** e cidades ao redor, e utilizados para regar as plantas. Esse é um sistema considerado por muitos como sendo a primeira forma de aquaponia. No Sul da China, Tailândia, Indonésia e Egito, já cultivavam arroz integrados com peixes em áreas alagadas, estes também são citados como exemplos de sistemas aquapônicos.

Estes sistemas de policultivo existiram em muitos países do extremo oriente, cultivando peixes como o “oriental loach” (parecido com a tuvira), enguia do pântano, carpa comum e cruciana, assim como caracóis aquáticos, em campos de arroz inundado.

A análise da literatura evidenciou que a aquaponia se apresenta como uma alternativa sustentável para a produção de alimentos, reunindo benefícios ambientais, econômicos e sociais. Os estudos revisados destacam que o sistema proporciona redução significativa no consumo de água, reaproveitamento de nutrientes e diminuição do uso de agrotóxicos, consolidando-se como um modelo de produção mais limpo e eficiente (Lima *et al.*, 2015; Da Costa *et al.*, 2020; De Andrade *et al.*, 2021).

Em síntese, a revisão da literatura confirma que a aquaponia representa uma alternativa inovadora e promissora para a produção integrada de peixes e hortaliças. Entretanto, para sua consolidação em larga escala, são necessários investimentos em pesquisa, capacitação de produtores e políticas públicas que incentivem o acesso às tecnologias de manejo e monitoramento.

3.2 Potencialidades da Aquaponia

A aquaponia apresenta diversas potencialidades que a consolidam como uma tecnologia promissora para a produção sustentável de alimentos, especialmente em um contexto global marcado pela escassez hídrica, degradação ambiental e crescente demanda por segurança alimentar. Essa técnica integra o cultivo de organismos aquáticos, geralmente peixes, com a produção de plantas em ambiente hidropônico, promovendo um ciclo fechado em que os resíduos dos peixes são utilizados como nutrientes para as plantas, que por sua vez purificam a água (Corrêa, 2018; De Andrade *et al.*, 2021). Essa simbiose oferece benefícios ambientais, econômicos e sociais que diferenciam a aquaponia de outras formas convencionais de produção.

Uma das principais potencialidades da aquaponia é a sua eficiência no uso da água, um recurso cada vez mais escasso e valioso. Diferentemente dos sistemas convencionais de agricultura e piscicultura, a aquaponia reutiliza a água em circuito fechado, o que pode representar uma economia de até 90% no consumo hídrico (Lima *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2019). Em regiões semiáridas ou com restrições de acesso à água, essa característica torna a aquaponia uma alternativa viável e estratégica para garantir a produção de alimentos de forma sustentável.

Além disso, a aquaponia contribui para a redução do uso de fertilizantes químicos e agrotóxicos, tornando a produção agrícola menos impactante ambientalmente e mais saudável para o consumidor (Da Costa *et al.*, 2020; Brainer, 2021). Os nutrientes disponíveis para as plantas são provenientes da reciclagem biológica dos resíduos produzidos pelos peixes,

evitando a contaminação do solo e dos corpos d'água por substâncias químicas e contribuindo para a conservação dos ecossistemas locais (Sátiro; Neto; Delprete, 2018).

Outra potencialidade importante é a diversificação produtiva proporcionada pela aquaponia. A possibilidade de cultivar simultaneamente peixes e hortaliças permite uma produção integrada que atende a diferentes demandas do mercado e do consumidor, além de oferecer uma dieta balanceada que combina proteínas e vegetais frescos (De Assis *et al.*, 2023). Essa diversificação também pode gerar maior resiliência econômica para os produtores, ao ampliar as fontes de renda e reduzir a dependência de um único produto.

Em termos de produtividade, estudos indicam que a aquaponia pode oferecer rendimentos superiores aos obtidos em sistemas tradicionais, especialmente quando associada a técnicas avançadas de manejo e monitoramento (De Carvalho Mendes *et al.*, 2021; Souza *et al.*, 2021).

Do ponto de vista ambiental, a aquaponia reduz significativamente a geração de resíduos sólidos e líquidos, que em sistemas convencionais podem causar poluição e eutrofização dos corpos d'água (Corrêa, 2018). Ao promover o tratamento biológico da água, o sistema contribui para a conservação dos recursos naturais e a mitigação dos impactos ambientais da agricultura e da piscicultura.

Projetos de aquaponia doméstica e comunitária têm promovido a geração de renda, segurança alimentar e melhoria da qualidade de vida, especialmente em regiões vulneráveis (Nakauth *et al.*, 2020; Oliveira *et al.*, 2019). A técnica é adaptável a pequenos espaços, o que favorece sua implantação em áreas urbanas e periurbanas, ampliando o acesso à produção de alimentos frescos e saudáveis para populações diversas (Machado, 2019; Tavares Junior, 2020).

A automatização e o monitoramento digital da aquaponia também ampliam seu potencial, permitindo o controle preciso dos parâmetros ambientais, a inserção automática de nutrientes e a gestão eficiente do sistema (Shishido *et al.*, 2021). Essas inovações tecnológicas contribuem para a viabilidade comercial da aquaponia, possibilitando maior escala e eficiência produtiva.

A aquaponia representa uma alternativa estratégica para enfrentar desafios globais relacionados à segurança alimentar, mudanças climáticas e sustentabilidade ambiental. Ao proporcionar uma produção integrada, eficiente e de baixo impacto, a aquaponia pode contribuir significativamente para a redução da fome, a conservação dos recursos naturais e a promoção do desenvolvimento econômico local e regional (De Andrade *et al.*, 2021).

Dessa forma, as potencialidades da aquaponia abrangem múltiplas dimensões: ambiental, econômica, social e tecnológica, consolidando-a como uma prática inovadora e sustentável com grande relevância para o futuro da agricultura e da piscicultura mundial.

3.3 Desafios Técnicos e Tecnológicos na Implantação e Manejo

Apesar das múltiplas potencialidades da aquaponia destacadas na literatura, a implantação e o manejo desses sistemas ainda enfrentam diversos desafios técnicos e tecnológicos que limitam sua adoção ampla, especialmente em pequenos produtores e sistemas familiares. Esses desafios abrangem desde a complexidade do controle ambiental até os custos envolvidos, passando pela necessidade de capacitação técnica e pela adaptação dos sistemas a diferentes contextos produtivos.

Um dos principais entraves está relacionado ao manejo integrado dos parâmetros físico-químicos da água, que exigem monitoramento constante para garantir a saúde dos organismos e o equilíbrio do sistema. Wang, Yang e Kim (2023) destacam que a dinâmica do pH é particularmente crítica em sistemas aquapônicos, pois afeta diretamente a disponibilidade de nutrientes para as plantas e a atividade bacteriana responsável pela nitrificação. A manutenção do pH ideal, geralmente entre 6,5 e 7,0, é fundamental para evitar estresses nos peixes e nas plantas, mas a oscilação natural do sistema requer atenção contínua e intervenções técnicas precisas.

Além do pH, a concentração de amônia, nitrito, nitrato, oxigênio dissolvido e temperatura também deve ser rigorosamente controlada (Martins *et al.*, 2019; De Assis *et al.*, 2023). Esses parâmetros, quando fora da faixa ideal, podem comprometer o crescimento dos peixes e das plantas, prejudicar o desempenho produtivo e até causar mortalidade. Isso implica na necessidade de sistemas de monitoramento confiáveis e, idealmente, automatizados para detectar variações rapidamente e possibilitar ajustes eficazes (Shishido *et al.*, 2021).

A automação surge, portanto, como uma solução promissora para esses desafios, mas o custo inicial elevado e a necessidade de conhecimento técnico para operação e manutenção são obstáculos significativos, sobretudo para pequenos produtores e comunidades rurais (Moura, 2021; Nakauth *et al.*, 2020). O investimento em sensores, sistemas de controle automático e equipamentos especializados pode representar um gargalo financeiro, limitando a expansão da tecnologia para além dos centros urbanos ou produtores com maior poder aquisitivo.

A adaptação das espécies cultivadas também apresenta desafios. A tilápia nilótica é a espécie mais comum por sua rusticidade, mas sua tolerância a variações ambientais tem limites que, quando ultrapassados, reduzem seu desempenho e afetam o equilíbrio do sistema (Peixe BR, 2020; De Assis *et al.*, 2023). O manejo da alimentação, a densidade de estocagem e o controle sanitário são determinantes para evitar estresse, doenças e mortalidade, o que demanda monitoramento frequente e protocolos específicos, reforçando a importância da engenharia de pesca no manejo desses sistemas (Moro *et al.*, 2020; Martins *et al.*, 2019).

No que tange à produção vegetal, o manejo da nutrição das plantas em sistemas aquapônicos é igualmente complexo. Embora o sistema permita a reciclagem eficiente de nutrientes, algumas deficiências podem ocorrer, principalmente em elementos como ferro, potássio e cálcio, que nem sempre estão presentes em concentrações ideais nos efluentes aquáticos (De Carvalho Mendes *et al.*, 2021). Isso pode exigir suplementação externa, o que deve ser feito com cuidado para não desequilibrar o sistema. A adoção de sistemas automatizados para inserção e monitoramento de nutrientes tem sido testada com resultados positivos, porém novamente o custo e a necessidade de capacitação técnica são limitadores (Shishido *et al.*, 2021).

Outro desafio significativo está relacionado à escala e ao custo de implantação do sistema. Estudos mostram que, embora a aquaponia seja viável economicamente em pequena escala, os investimentos iniciais em infraestrutura, bombas, tanques, sistemas de filtragem e monitoramento ainda são elevados (Machado, 2019; Moura, 2021). A viabilidade econômica para pequenos produtores depende do acesso a financiamento, capacitação e assistência técnica, aspectos que nem sempre são garantidos, especialmente em comunidades rurais (Oliveira *et al.*, 2019; Nakauth *et al.*, 2020).

Além disso, a implantação da aquaponia em contextos urbanos e periurbanos traz suas próprias particularidades. Tavares Junior (2020) aponta que a limitação de espaço, a necessidade de maior controle ambiental e a infraestrutura adequada são desafios que exigem adaptações no sistema, como a adoção de cultivos verticais ou modularização dos sistemas para otimizar o uso do espaço. Essas adaptações, embora viáveis, também demandam conhecimentos técnicos e investimentos.

Finalmente, a capacitação dos produtores é um fator determinante para o sucesso e expansão da aquaponia. Da Costa *et al.* (2020) alertam para o baixo nível de conscientização e conhecimento técnico sobre manejo adequado entre produtores de hortaliças em geral, o que

pode ser agravado na transição para sistemas aquapônicos, que são tecnologicamente mais complexos. Programas de formação técnica, assistência técnica continuada e troca de experiências são indispensáveis para garantir que os sistemas sejam manejados corretamente, evitando falhas que comprometam a produtividade e a sustentabilidade.

Os desafios técnicos e tecnológicos da aquaponia são numerosos e exigem esforços coordenados entre pesquisadores, técnicos, produtores e políticas públicas para que sejam superados. O avanço tecnológico em automação, o desenvolvimento de sistemas adaptados às condições locais e a capacitação técnica são as chaves para que a aquaponia possa cumprir seu potencial de produzir alimentos de forma sustentável e economicamente viável, contribuindo para a segurança alimentar e conservação ambiental.

3.4 Sistemas de Cultivo em Aquaponia

A aquaponia integra dois sistemas produtivos distintos: a aquicultura e a hidroponia formando uma cadeia biológica interdependente que otimiza a utilização dos recursos naturais e maximiza a produção alimentar (Corrêa, 2018; De Andrade *et al.*, 2021). O sucesso desse sistema está intrinsecamente ligado à escolha e à implementação adequada dos métodos de cultivo tanto para os peixes quanto para as plantas, o que demanda conhecimento técnico específico e manejo preciso dos parâmetros ambientais.

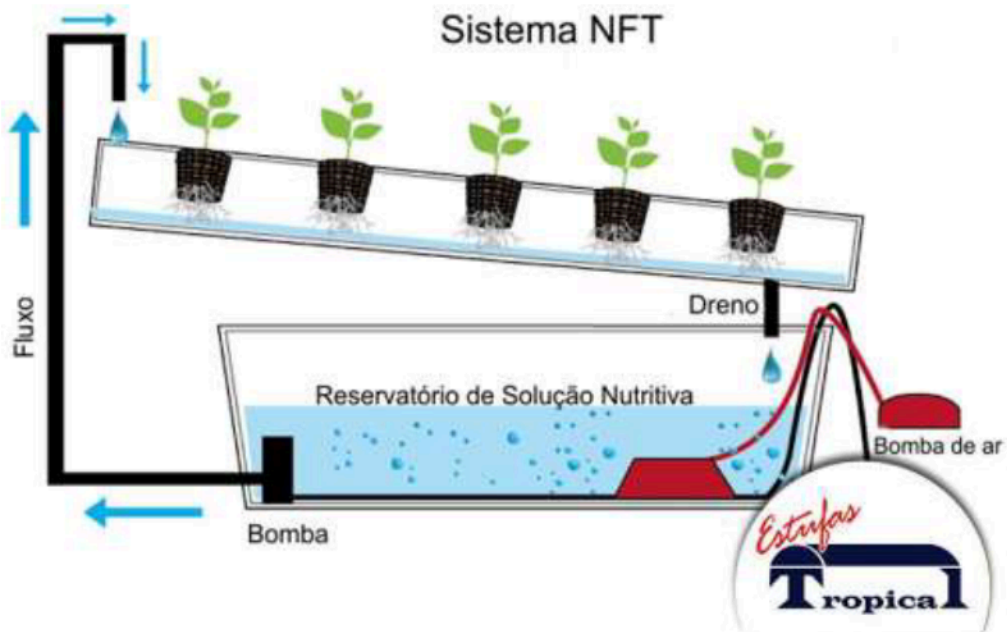
Os sistemas de cultivo em aquaponia podem variar conforme o tipo de planta cultivada, o espaço disponível, o custo de implantação e a escala da produção, sendo os mais comuns os sistemas de cultivo em NFT (Nutrient Film Technique), em cama de mídia e sistemas de fluxo e refluxo.

O sistema NFT é amplamente utilizado no cultivo hidropônico por sua eficiência na circulação de nutrientes e oxigênio, facilitando o crescimento radicular das plantas (Figura 1). Esse método consiste em um fluxo constante e fino de solução nutritiva que passa sobre as raízes das plantas, permitindo que elas absorvam os nutrientes necessários enquanto recebem oxigenação adequada (Agroshow, 2018). Em sistemas aquapônicos, a água recircula a partir do tanque dos peixes, carregada de nutrientes provenientes dos resíduos nitrogenados, e passa pelos canais NFT onde as plantas crescem apoiadas em estruturas específicas.

Segundo Shishido *et al.* (2021), a aplicação de sistemas automatizados de monitoramento e inserção de nutrientes em hortas hidropônicas NFT aumenta a eficiência do

cultivo, reduzindo desperdícios e promovendo um ambiente mais estável para o desenvolvimento vegetal.

Figura 1: Sistema Nutrient Film Technique (NFT)



Fonte: <https://tropicallestufas.com.br>

Já o sistema de Cama de Mídia utiliza substratos inertes, como argila expandida, brita ou outros materiais porosos, para sustentar as raízes das plantas e, simultaneamente, atuar como filtro físico para a água que retorna ao tanque dos peixes (AQP, Brasil, 2017) (Figura 2). Este tipo de sistema é especialmente indicado para pequenos produtores e projetos comunitários, devido à sua simplicidade de instalação e manejo. Conforme Brainer (2021), a Cama de Mídia proporciona maior estabilidade biológica, permitindo a colonização de bactérias benéficas responsáveis pela nitrificação dos resíduos dos peixes, essencial para manter a qualidade da água e o equilíbrio do sistema.

Figura 2: Sistema Cama de Mídia

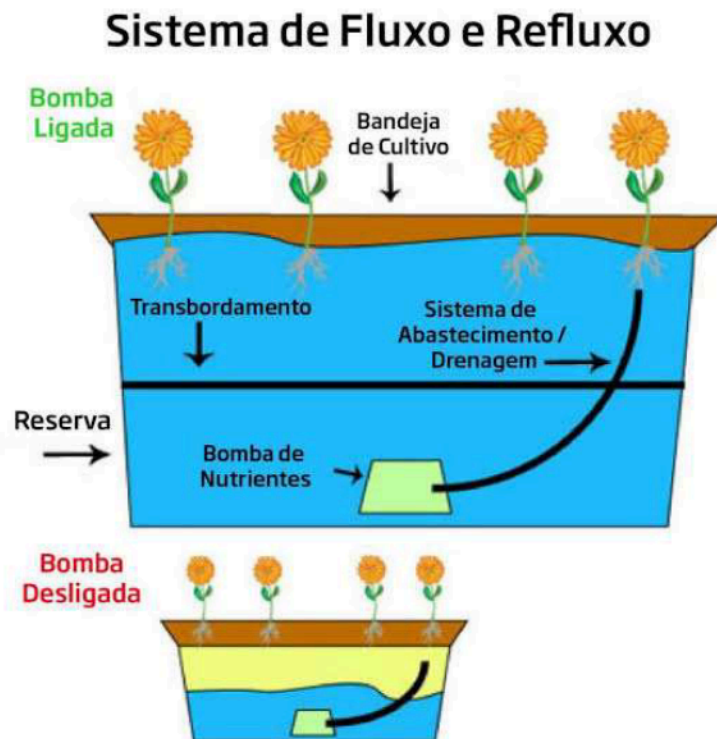


Fonte: <http://aqpbrasil.com>

Em relação ao cultivo vegetal, a escolha das espécies é influenciada pela adaptação das plantas ao sistema aquapônico e ao método de cultivo adotado. Hortaliças folhosas como alface, rúcula e espinafre são as mais comuns devido ao seu ciclo rápido e demanda por nutrientes compatível com os níveis disponíveis nos sistemas aquapônicos (De Carvalho Mendes *et al.*, 2021; Souza *et al.*, 2021). A produção de alface em sistemas NFT ou cama de mídia tem apresentado resultados promissores, com rendimentos superiores aos observados em cultivos convencionais, devido à maior disponibilidade de nutrientes e controle ambiental proporcionados pelo sistema (Lenz *et al.*, 2017).

Outra alternativa de cultivo em aquaponia é o Sistema de Fluxo e Refluxo (Ebb and Flow) (Figura 3), que consiste em inundar periodicamente o leito onde as plantas estão assentadas, permitindo que as raízes absorvam nutrientes durante o contato com a água e recebam oxigênio quando o leito drena, o que evita o excesso de umidade e promove o desenvolvimento radicular (Corrêa, 2018). Esse sistema é mais versátil e pode ser adaptado tanto para camas de mídia quanto para substratos diversos, sendo utilizado para cultivar uma variedade maior de espécies, incluindo plantas frutíferas e hortaliças com raízes mais robustas.

Figura 3: Sistema de Fluxo e Refluxo



Fonte: <https://hannainst.com.br>

A manutenção da qualidade da água é um dos aspectos mais críticos nos sistemas de cultivo aquapônico. Parâmetros como pH, temperatura, concentração de oxigênio dissolvido, amônia, nitrito e nitrato devem ser monitorados rigorosamente para garantir o equilíbrio entre os componentes do sistema e o sucesso produtivo (WangYang Kim; 2023).

A automação e o uso de tecnologias digitais têm sido incorporados para melhorar o controle desses parâmetros, especialmente em sistemas comerciais e urbanos de médio e grande porte. Shishido *et al.* (2021) destacam o desenvolvimento de sistemas inteligentes que regulam a inserção automática de nutrientes, monitoram a qualidade da água e controlam o fluxo de irrigação, promovendo maior estabilidade do ambiente e produtividade superior.

Além dos sistemas tradicionais, a aquaponia urbana tem ganhado destaque por possibilitar a produção de alimentos em pequenos espaços, promovendo a sustentabilidade e a autonomia alimentar em áreas urbanas (Machado, 2019; Tavares Junior, 2020). Nestes contextos, a escolha do sistema de cultivo deve considerar limitações espaciais e a facilidade de manejo, com predomínio de sistemas em cama de mídia e NFT devido à sua flexibilidade e eficiência.

A aquaponia também pode ser integrada com tecnologias renováveis, como energia solar fotovoltaica, para reduzir custos operacionais e promover maior sustentabilidade energética (Moura,2021). Sistemas autossuficientes em energia, combinados com técnicas de cultivo eficientes, têm sido testados em comunidades rurais para fortalecer a produção local e fomentar a economia circular.

Os sistemas de cultivo em aquaponia são diversos e podem ser adaptados conforme as condições ambientais, econômicas e sociais do produtor. O sucesso do sistema depende do equilíbrio entre o cultivo vegetal e aquático, do manejo adequado dos parâmetros ambientais e da incorporação de tecnologias que aumentem a eficiência e reduzam os custos operacionais. Estudos experimentais e relatos práticos demonstram que a aquaponia pode ser aplicada com sucesso em diferentes escalas, desde pequenos sistemas domésticos até instalações comerciais, tornando-se uma alternativa sustentável e inovadora para a produção integrada de alimentos (Filho, 2016; Oliveira *et al.*, 2019).

3.5 Cultivos de Plantas

O cultivo de plantas em sistemas aquapônicos representa um componente essencial para o funcionamento sustentável e eficiente desse sistema integrado. Nessa relação simbiótica entre a aquicultura e a hidroponia, as plantas desempenham um papel fundamental ao absorver os nutrientes gerados pelos resíduos dos peixes, contribuindo para a purificação da água e, simultaneamente, produzindo alimentos frescos e nutritivos. A escolha das espécies vegetais, os métodos de cultivo adotados e o manejo dos parâmetros ambientais são determinantes para o sucesso produtivo e a viabilidade econômica dos sistemas aquapônicos (Corrêa, 2018; De Andrade *et al.*, 2021).

Na aquaponia, algumas plantas são especialmente adequadas devido à sua capacidade de se desenvolver bem em sistemas de água rica em nutrientes. Aqui estão algumas das melhores opções:

1. Alface: Cresce rapidamente e é altamente valorizada em aquaponia.
2. Espinafre: Também se desenvolve bem e tem um ciclo de crescimento curto.
3. Manjeriço: Além de ser uma erva aromática popular, tolera bem as condições da aquaponia.
4. Cebolinha: Fácil de cultivar e se adapta bem ao ambiente aquapônico.

5. Pimentão: Pode ser cultivado com sucesso, embora necessite de mais espaço.

6. Tomate: Popular entre aquaponistas, requer cuidados adicionais quanto à estrutura de suporte.

Essas plantas não só se adaptam bem às condições de aquaponia, mas também oferecem uma colheita nutritiva e saborosa. É importante monitorar os níveis de nutrientes e o pH da água para garantir o melhor crescimento possível.

As hortaliças folhosas, como a alface (*Lactuca sativa*), destacam-se como as culturas mais utilizadas em sistemas aquapônicos, devido ao seu rápido ciclo de crescimento, baixa exigência nutricional e boa adaptação aos sistemas hidropônicos (Brainer, 2021; De Carvalho Mendes *et al.*, 2021). Alface cultivada em sistemas aquapônicos tem demonstrado desempenho agrônomico superior quando comparada ao cultivo tradicional em solo, com maior crescimento vegetativo, produção e qualidade nutricional (Lenz *et al.*, 2017; Souza *et al.*, 2021). Estes resultados são atribuídos à disponibilidade constante de nutrientes provenientes da recirculação da água do tanque de peixes, além do controle mais eficiente dos fatores ambientais, como temperatura, luminosidade e umidade.

A seleção das espécies vegetais deve considerar ainda a adequação ao ambiente aquapônico, a exigência nutricional e o ciclo produtivo. Culturas de ciclo curto e baixa exigência, principalmente hortaliças folhosas, são indicadas para sistemas de menor complexidade e menor aporte tecnológico (Lima *et al.*, 2015). Já espécies com maior demanda de nutrientes e raízes profundas demandam sistemas mais elaborados e cuidados específicos com a qualidade da água e manejo do substrato (De Carvalho Mendes *et al.*, 2021).

Outro aspecto relevante no cultivo de plantas em aquaponia é o controle do pH da solução nutritiva, que influencia diretamente a disponibilidade dos nutrientes para as plantas e a atividade das bactérias nitrificantes essenciais para o sistema (Wang; Yang; Kim, 2023). O pH ideal para a maioria das hortaliças varia entre 5,5 e 6,5, enquanto os microrganismos nitrificantes preferem um pH ligeiramente alcalino, criando a necessidade de um manejo cuidadoso para manter o equilíbrio ótimo para ambas as partes. Wang; Yang; Kim (2023) destacam que o monitoramento constante do pH e ajustes adequados são indispensáveis para garantir a produtividade e a saúde do sistema aquapônico.

Além disso, o manejo da qualidade da água, incluindo parâmetros como oxigênio dissolvido, temperatura e concentração de nutrientes, é crucial para evitar o estresse hídrico e nutricional nas plantas (De Andrade *et al.*, 2021). Sistemas de monitoramento automático têm

sido desenvolvidos para controlar esses parâmetros em tempo real, reduzindo falhas no manejo e otimizando o crescimento das plantas (Shishido *et al.*, 2021).

Outro fator que deve ser considerado é a sustentabilidade do cultivo aquapônico, especialmente no que tange à redução do uso de agrotóxicos e fertilizantes químicos. Da Costa *et al.* (2020) apontam que a produção em aquaponia é uma alternativa eficaz para a obtenção de hortaliças mais saudáveis e com menor impacto ambiental, o que é particularmente valorizado em regiões onde há grande preocupação com a contaminação por agrotóxicos e poluentes. Assim, a aquaponia contribui para a agricultura sustentável e para a oferta de alimentos mais seguros para o consumidor final.

Os estudos de De Carvalho Mendes *et al.* (2021) e Souza *et al.* (2021) apresentam evidências científicas robustas sobre o desempenho agrônômico e as características fisiológicas de diferentes cultivares de alface em sistemas aquapônicos, destacando ganhos em produtividade e qualidade em relação a sistemas convencionais. Estes estudos reforçam o potencial da aquaponia como técnica alternativa e sustentável para a produção de hortaliças em diferentes contextos sociais e ambientais.

Adicionalmente, a aquaponia tem sido adotada em ambientes urbanos e periurbanos, onde a disponibilidade de espaço e recursos é limitada. Nivaldo Tavares Junior (2020) analisa a viabilidade da aquaponia como sistema de agricultura urbana em Osório-RS, destacando a contribuição dessa técnica para a diversificação da produção, geração de renda e promoção da segurança alimentar em áreas urbanas.

Em termos de aplicação prática, a implantação de módulos domésticos e comunitários de aquaponia tem mostrado resultados promissores em termos de produção vegetal, geração de renda e desenvolvimento social. Oliveira *et al.* (2019) descrevem a experiência da comunidade Bom Fim, no Rio Grande do Norte, onde a aquaponia tem contribuído significativamente para a melhoria da qualidade de vida dos moradores, através da produção integrada de peixes e hortaliças, com uso eficiente da água e redução dos custos produtivos.

Assim, a inovação tecnológica aplicada ao cultivo de plantas em sistemas aquapônicos continua avançando, com o desenvolvimento de sistemas automatizados de irrigação, sensores de monitoramento ambiental e controle preciso dos nutrientes (Shishido *et al.*, 2021). Estes avanços são essenciais para a consolidação da aquaponia como alternativa viável em larga escala, possibilitando maior eficiência produtiva e sustentabilidade ambiental.

Diante disso, o cultivo de plantas em sistemas aquapônicos representa uma área promissora para a diversificação agrícola, produção sustentável e segurança alimentar, integrando tecnologias tradicionais e modernas para o aproveitamento otimizado dos recursos naturais e a produção de alimentos saudáveis e de qualidade.

3.6 Cultivo de Peixes

O cultivo de peixes representa uma das bases fundamentais para o funcionamento dos sistemas aquapônicos, uma vez que os resíduos produzidos pelos organismos aquáticos são a principal fonte de nutrientes para o desenvolvimento das plantas. Nesse contexto, a Engenharia de Pesca desempenha um papel essencial na seleção, manejo e monitoramento dos peixes, garantindo a sustentabilidade e produtividade do sistema como um todo (Sátiro; Neto; Delprete, 2018).

A escolha das espécies é uma decisão técnica que envolve o conhecimento detalhado das necessidades biológicas e ecológicas dos organismos cultivados, um campo de atuação fundamental da Engenharia de Pesca. O manejo adequado inclui o monitoramento constante da qualidade da água, alimentação balanceada, controle sanitário e prevenção de doenças, elementos cruciais para o sucesso do cultivo e para evitar desequilíbrios que possam comprometer toda a cadeia produtiva integrada (Martins *et al.*, 2019; Moro *et al.*, 2020).

No Brasil, a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) é a espécie predominante nos sistemas aquapônicos, devido a sua alta resistência, crescimento rápido, facilidade de manejo e tolerância a variações ambientais. Essa espécie se adapta bem aos ambientes confinados, o que favorece o estabelecimento de ciclos produtivos eficientes (Peixe br, 2020; De Assis *et al.*, 2023). Além da tilápia nilótica, o policultivo com tilápias vermelhas tem sido estudado como estratégia para aumentar a diversidade produtiva e melhorar a utilização dos recursos dentro do sistema, potencializando a produção de biomassa aquática e, conseqüentemente, a quantidade de nutrientes disponíveis para as plantas (De Assis *et al.*, 2023).

Outras espécies também já foram registradas na literatura. O jundiá (*Rhamdia quelen*), comumente utilizada é um peixe nativo do Brasil que se adapta bem a temperaturas mais baixas e apresenta bom desempenho em sistemas de recirculação (Reis *et al.*, 2020). Essa espécie é considerada promissora, especialmente para regiões Sul e Sudeste do país, onde as temperaturas são mais amenas.

Além disso, o lambari amarelo (*Astyanax lacustris*) tem ganhado destaque pela sua alta taxa de reprodução, rápido crescimento e potencial para ser criado em pequenos sistemas. Por ser uma espécie nativa e de menor porte, o lambari pode representar uma alternativa econômica e ecológica, especialmente para pequenos produtores (Pinho *et al.*, 2021).

O pacu (*Piaractus mesopotamicus*) e o tambaqui (*Colossoma macropomum*) também são apontados como espécies viáveis para aquaponia, devido à sua capacidade de digestão de alimentos vegetais e sua popularidade regional, embora requeiram sistemas com maior capacidade de filtragem, devido à maior carga orgânica gerada (Pinho *et al.*, 2021).

Dessa forma, a escolha da espécie ideal depende de diversos fatores, como o clima da região, o porte do sistema, os objetivos produtivos e o perfil do consumidor. Conforme afirmam Pinho *et al.* (2021), a inclusão de espécies nativas brasileiras em sistemas de aquaponia pode representar um avanço na sustentabilidade e na diversificação da produção aquícola do país.

A qualidade da água é um dos principais desafios para os sistemas de cultivo de peixes integrados à aquaponia. Parâmetros como pH, temperatura, concentração de oxigênio dissolvido, amônia, nitrito e nitrato devem ser mantidos dentro de faixas ideais para assegurar a saúde dos peixes e o desempenho produtivo.

Outro aspecto importante é a alimentação dos peixes. A formulação de dietas específicas, que atendam às necessidades nutricionais dos juvenis e adultos, é fundamental para garantir o crescimento adequado e a produção eficiente de resíduos que serão utilizados na fertilização das plantas (Moro *et al.*, 2020). A suplementação com aminoácidos, como a fenilalanina, tem sido estudada para otimizar o desenvolvimento dos peixes em sistemas de cultivo intensivo, promovendo a saúde e o bem-estar dos animais, fatores diretamente relacionados à produtividade do sistema aquapônico.

Além disso, o manejo do estoque de peixes, como densidade de cultivo e taxas de reposição, deve ser planejado para evitar a sobrecarga do sistema, que pode levar ao acúmulo de resíduos tóxicos e deterioração da qualidade da água, afetando negativamente o desenvolvimento das plantas e dos peixes (Correa, 2018). Técnicas de recirculação e bioflocos têm sido integradas aos sistemas aquapônicos para melhorar o manejo dos resíduos e aumentar a eficiência da produção (Lenz *et al.*, 2017).

A Engenharia de Pesca também está envolvida no desenvolvimento e implantação de tecnologias que aprimoram o monitoramento ambiental e o manejo produtivo. Sistemas

automatizados de controle da qualidade da água, alimentação inteligente e sensores para parâmetros físico-químicos são exemplos de inovações que contribuem para a otimização dos sistemas aquapônicos, reduzindo o esforço manual e aumentando a confiabilidade dos dados coletados (Shishido *et al.*, 2021).

No aspecto econômico e social, o cultivo de peixes em aquaponia proporciona geração de renda e segurança alimentar, especialmente para comunidades rurais e periurbanas. A implementação de sistemas modulares domésticos, como os descritos por Nakauth *et al.* (2020), tem sido uma alternativa viável para pequenos produtores e famílias, possibilitando a produção sustentável de proteínas animais associada à horticultura.

É importante destacar que o sucesso do cultivo de peixes em aquaponia depende do conhecimento aprofundado da biologia das espécies cultivadas, bem como da interação dinâmica entre os diferentes componentes do sistema. A Engenharia de Pesca, com seu enfoque multidisciplinar que abrange fisiologia, ecologia, nutrição e tecnologia, é indispensável para o desenvolvimento e aprimoramento desses sistemas integrados, contribuindo para a inovação e sustentabilidade na produção de alimentos (Sátiro, Neto; Delprete, 2018).

Os desafios para a consolidação do cultivo de peixes em sistemas aquapônicos incluem a capacitação técnica dos produtores, o acesso a tecnologias adequadas e a elaboração de políticas públicas que incentivem a pesquisa, desenvolvimento e difusão dessa prática. Estudos científicos, realizados por De Assis *et al.* (2023) e Martins *et al.* (2019), apontam para a necessidade de protocolos de manejos específicos e personalizados para diferentes regiões e condições ambientais, visando otimizar os resultados produtivos e minimizar impactos ambientais.

Assim, o cultivo de peixes e a Engenharia de Pesca estão no cerne da aquaponia, possibilitando a produção integrada, eficiente e sustentável de proteínas e hortaliças, com potencial para contribuir significativamente para a segurança alimentar, conservação dos recursos naturais e desenvolvimento socioeconômico.

3.7 Sustentabilidade e Eficiência dos Sistemas Aquapônicos

A aquaponia tem se consolidado como uma alternativa produtiva que alia sustentabilidade ambiental e eficiência na utilização dos recursos naturais, apresentando-se como uma tecnologia promissora para o desenvolvimento da agricultura e aquicultura integradas. A principal característica que diferencia a aquaponia de sistemas tradicionais é o

seu funcionamento em ciclo fechado, no qual a água e os nutrientes circulam continuamente entre os sistemas de criação de peixes e cultivo de plantas, promovendo a reciclagem e minimização de perdas. De acordo com Corrêa (2018), esse modelo permite a economia substancial de água e insumos químicos, tornando o sistema adequado para regiões com restrições hídricas e preocupação ambiental.

O uso eficiente da água é um dos maiores benefícios da aquaponia, com relatórios científicos apontando economias que podem ultrapassar 90% em comparação com métodos convencionais de agricultura e piscicultura (Lima *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2019). Essa economia é fundamental especialmente para regiões semiáridas ou que enfrentam escassez hídrica, onde a aquaponia surge como alternativa para produção sustentável de alimentos. Moura (2021), em sua tese, destaca que a integração com energia solar fotovoltaica aumenta ainda mais a sustentabilidade do sistema, proporcionando autonomia energética e redução dos custos operacionais.

Outra vantagem importante é a redução do uso de fertilizantes e agrotóxicos químicos, pois a aquaponia utiliza os resíduos metabólicos gerados pelos peixes, especialmente a amônia, que é convertida por bactérias nitrificantes em nitratos absorvíveis pelas plantas (De Andrade *et al.*, 2021; Sátiro; Neto; Delprete, 2018). Essa transformação biológica permite uma produção mais limpa e ambientalmente correta, evitando a contaminação do solo e das águas superficiais, além de proporcionar alimentos livres de resíduos tóxicos, fator cada vez mais valorizado pelo mercado consumidor (Da Costa *et al.*, 2020; Brainer, 2021).

A manutenção da qualidade da água é um aspecto crítico para a eficiência e sustentabilidade do sistema. Parâmetros como pH, temperatura, oxigênio dissolvido, concentração de amônia, nitrito e nitrato devem ser monitorados rigorosamente para garantir o equilíbrio biológico (Wang; Yang; Kim, 2023; Martins *et al.*, 2019).

Avanços tecnológicos, como sistemas automatizados de monitoramento e inserção de nutrientes, têm sido incorporados para otimizar esse manejo, reduzindo o esforço manual e aumentando a estabilidade e a produtividade dos sistemas (Shishido *et al.*, 2021). A automação contribui para a minimização de erros no controle ambiental, essencial para a sustentabilidade operacional a longo prazo.

Além do ponto de vista ambiental e técnico, a aquaponia apresenta alta eficiência produtiva, com estudos indicando produtividade superior ou comparável a sistemas convencionais, porém com menor impacto ambiental (De Carvalho Mendes *et al.*, 2021; Souza

et al., 2021). A integração sinérgica dos sistemas aquáticos e vegetais possibilita um aproveitamento otimizado dos recursos, evidenciado especialmente na produção de hortaliças folhosas como a alface, que apresenta características agronômicas e nutricionais superiores quando cultivada em efluentes da piscicultura em sistemas aquapônicos (Lenz *et al.*, 2017).

Em síntese, a aquaponia constitui um sistema eficiente e sustentável que alia economia de recursos, produção integrada e minimização dos impactos ambientais. Sua capacidade de produzir alimentos de qualidade, utilizando menos água e insumos químicos, coloca-a em destaque frente aos desafios atuais da agricultura convencional. No entanto, para que essa eficiência seja plenamente aproveitada, é necessário um manejo técnico especializado e o uso de tecnologias adequadas, além de políticas de incentivo à difusão da tecnologia, conforme reforçam autores como Corrêa (2018), Moura (2021) e Oliveira *et al.* (2019).

3.8 Impactos Socioeconômicos e Perspectivas para a Aquaponia

A aquaponia tem se destacado não apenas como uma tecnologia ambientalmente sustentável, mas também como uma importante ferramenta de transformação socioeconômica, especialmente para comunidades rurais, periurbanas e pequenos produtores familiares. Nesse sentido, ao integrar a produção de peixes com o cultivo de hortaliças em um sistema fechado e eficiente, a aquaponia promove a diversificação da produção, aumenta a geração de renda e contribui significativamente para a segurança alimentar, fatores que se tornam ainda mais relevantes em contextos de vulnerabilidade social e econômica (Oliveira *et al.*, 2019; Lima *et al.*, 2015).

É necessário enfatizar que a aquaponia permite a otimização do uso de recursos escassos, como a água e o espaço físico, o que abre possibilidades para sua adoção em locais onde as condições tradicionais de agricultura e piscicultura seriam inviáveis. Por exemplo, a produção em pequenos espaços urbanos e periurbanos tem ganhado destaque, considerando o aumento da população urbana e a consequente demanda por alimentos frescos e de qualidade. Machado (2019) destaca que a viabilidade da aquaponia urbana está ligada à capacidade do sistema de funcionar em espaços reduzidos, promovendo a produção sustentável e atendendo às necessidades locais.

De forma correlata, essa característica de baixa demanda espacial e hídrica permite que famílias e comunidades em áreas rurais com limitações de recursos também possam implantar sistemas aquapônicos, favorecendo a inclusão produtiva e a geração de renda. Assim, a

aquaponia se apresenta como uma alternativa viável para mitigar os efeitos da pobreza e fortalecer a agricultura familiar.

Além disso, a produção diversificada oferecida pela aquaponia, com o cultivo simultâneo de peixes e hortaliças, amplia o potencial de comercialização dos produtos, gerando múltiplas fontes de renda para os produtores. De Assis *et al.* (2023) mostram que o policultivo de tilápias nilóticas e vermelhas em sistemas de recirculação e aquaponia pode incrementar o volume e a variedade da produção, ampliando o mercado consumidor. Essa diversificação contribui para a redução dos riscos econômicos associados à dependência de uma única cultura ou atividade, tornando os sistemas mais resilientes frente a oscilações de mercado ou problemas ambientais.

No aspecto alimentar, a aquaponia oferece produtos com características de maior qualidade nutricional e sanitária, o que tem se tornado um diferencial competitivo e social. Da Costa *et al.* (2020) ressaltam que o uso reduzido ou inexistente de agrotóxicos na produção vegetal aquapônica contribui para a oferta de alimentos mais saudáveis, beneficiando a saúde pública, especialmente em populações com acesso restrito a alimentos frescos e seguros. Essa qualidade alimentar também é relevante para o atendimento de demandas específicas, como de consumidores urbanos e mercados institucionais que buscam alimentos orgânicos ou produzidos de forma sustentável.

Entretanto, para que esses impactos positivos sejam efetivados, é fundamental que haja capacitação técnica e suporte adequado aos produtores. A falta de conhecimento sobre manejo integrado, controle da qualidade da água e nutrição dos organismos é apontada como uma das principais barreiras para a expansão da aquaponia, conforme evidenciam Da Costa *et al.* (2020) e Machado (2019). Dessa forma, políticas públicas e programas de extensão rural desempenham papel crucial para promover a difusão da técnica, fortalecer as redes de apoio e garantir o sucesso dos sistemas implantados.

Outro ponto que merece destaque é a necessidade de investimentos em pesquisa e desenvolvimento tecnológico, especialmente para adaptar os sistemas às condições locais e diminuir os custos de implantação e operação. Moura (2021) apresenta a integração de sistemas fotovoltaicos como uma estratégia eficaz para aumentar a autonomia energética e reduzir despesas, o que pode ampliar a sustentabilidade econômica da aquaponia, sobretudo em comunidades rurais isoladas. A inovação tecnológica, portanto, representa um caminho fundamental para superar os desafios econômicos e ampliar o acesso à tecnologia.

No que concerne à viabilidade econômica, estudos indicam que, embora a aquaponia possa demandar um investimento inicial relativamente alto, os benefícios a médio e longo prazo, como a redução de custos com água e insumos, maior produtividade e diversidade de produtos, compensam esse investimento (Machado, 2019; Moura, 2021). Além disso, o desenvolvimento de sistemas modulares e escaláveis permite que produtores com diferentes níveis de recursos possam adotar a tecnologia de acordo com suas necessidades e capacidades, contribuindo para sua democratização.

De modo geral, a aquaponia também contribui para a promoção da sustentabilidade social, ambiental e econômica, alinhando-se aos princípios do desenvolvimento sustentável. Corrêa (2018) e De Andrade *et al.* (2021) destacam que a tecnologia pode integrar e potencializar os esforços para conservação ambiental, inclusão social e crescimento econômico, contribuindo para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, sobretudo aqueles relacionados à fome zero (ODS2), água potável (ODS6), trabalho decente e desenvolvimento econômico (ODS8).

As perspectivas para o futuro da aquaponia são amplas e promissoras, principalmente se forem combinadas estratégias de capacitação, inovação tecnológica e políticas públicas de apoio. Tavares Junior (2020) ressalta que a crescente urbanização e as mudanças climáticas tornam a aquaponia uma alternativa estratégica para garantir a segurança alimentar nas cidades, ao passo que Lima *et al.* (2015) enfatizam seu potencial para fortalecer a agricultura familiar e promover o desenvolvimento rural sustentável. Assim, a expansão da aquaponia pode representar um avanço significativo para sistemas agroalimentares mais resilientes e inclusivos.

Em suma, a aquaponia emerge como uma tecnologia capaz de promover impactos socioeconômicos positivos substanciais, desde a geração de renda até a melhoria da qualidade alimentar e inclusão social, além de oferecer um caminho sustentável para o futuro da produção agrícola e aquícola. Contudo, a concretização desse potencial dependerá de ações integradas envolvendo pesquisa, formação técnica, políticas públicas e desenvolvimento tecnológico, visando ampliar o acesso, reduzir custos e fortalecer as capacidades produtivas e gerenciais dos envolvidos.

3.9 Aquaponia e Agricultura Familiar: Potencial de Aplicação entre Pequenos Produtores

A agricultura familiar desempenha um papel fundamental na produção de alimentos e na segurança alimentar em diversas regiões do Brasil, especialmente em comunidades rurais e periurbanas.

A principal vantagem da aquaponia para esse público é a capacidade de produzir alimentos de forma integrada, em pequena escala e com alta eficiência no uso dos recursos naturais. Por operar em sistema fechado de recirculação, a tecnologia possibilita significativa economia de água, o que a torna especialmente atrativa em regiões semiáridas ou com restrições hídricas, onde a agricultura tradicional pode ser inviável (Lima *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2019).

Além disso, os sistemas aquapônicos podem ser implantados de maneira modular e escalável, permitindo que pequenos agricultores iniciem com estruturas simples, como camas de mídia ou sistemas NFT adaptados, e evoluam conforme a disponibilidade de recursos e capacitação técnica. Tais sistemas podem ser instalados em quintais, pequenas propriedades ou áreas comunitárias, o que amplia seu alcance social e econômico (Mach ,2019; Nakauth *et al.*, 2020).

Do ponto de vista produtivo, a possibilidade de cultivar simultaneamente peixes e hortaliças, com destaque para a tilápia e hortaliças folhosas como a alface, oferece diversificação da produção e maior resiliência econômica. Essa diversidade de produtos facilita o acesso a diferentes mercados, como feiras locais, programas de alimentação escolar e consumo próprio, contribuindo tanto para a geração de renda quanto para a autonomia alimentar das famílias (Oliveira *et al.*, 2019; De Assis *et al.*, 2023).

No entanto, a adoção da aquaponia por pequenos produtores ainda enfrenta desafios relevantes, como o alto custo inicial de implantação, a necessidade de conhecimento técnico específico para o manejo integrado e o acesso limitado à assistência técnica (Da Costa *et al.*, 2020). Nesse sentido, o papel da Engenharia de Pesca é essencial para adaptar os sistemas às realidades locais, capacitar os produtores e propor soluções de baixo custo e fácil operação, garantindo a sustentabilidade e eficiência dos sistemas.

Experiências de sucesso, como as descritas por Oliveira et al. (2019) na comunidade Bom Fim (RN), demonstram que, com apoio técnico e políticas públicas adequadas, a aquaponia pode ser uma estratégia transformadora para a agricultura familiar, promovendo

inclusão produtiva, valorização do trabalho no campo e melhoria da qualidade de vida das populações rurais.

As Ilhas Caribenhas de Barbados criaram uma iniciativa para começar sistemas aquapônicos em casa, gerando receita com a venda dos produtos para turistas, em um esforço para reduzir a dependência por comida importada. Em Bangladesh, o país mais populoso do mundo, muitos fazendeiros usam agrotóxicos para aumentar a produção de alimentos e o tempo de estocagem, muito embora o país careça de supervisão a respeito dos níveis seguros de produtos químicos em alimentos destinados ao consumo humano. Para combater este problema, um time liderado pelo Prof. Dr. M. A. Salam, do Departamento de Aquicultura da Universidade de Agricultura de Bangladesh, em Mymensingh, criou planos para um sistema de aquaponia de baixo custo para fornecer produtos livres de agroquímicos e peixes para pessoas que vivem em condições de adversidade climática, como a área sulistas propensa à salinidade e as áreas propensas à inundação da região oriental. Esse trabalho cria uma forma de cultivo de subsistência para produção em microescala na comunidade e residências.

4 METODOLOGIA

A metodologia adotada para a elaboração deste trabalho foi a revisão narrativa de literatura que permite uma visão ampla do tema e não exige uma sistematização rigorosa dos dados, privilegiando a interpretação crítica e a organização conceitual baseada em temas centrais, trazendo discussões e contribuições teóricas sobre a aquaponia, com ênfase na interface com a Engenharia de Pesca.

Foram analisadas fontes como artigos científicos, dissertações, relatórios técnicos, livros e documentos institucionais publicados entre os anos de 2013 e 2023, selecionados em bases como Scielo, Google Acadêmico e Web of Science. Os critérios de seleção incluíram a relevância para o tema, a atualidade das publicações e a relação direta com os objetivos propostos.

O levantamento permitiu a identificação de quatro eixos temáticos principais: (1) potencialidades da aquaponia; (2) desafios técnicos e tecnológicos; (3) papel da Engenharia de Pesca; e (4) aplicação da aquaponia por pequenos produtores. Estes eixos estruturaram a organização do trabalho e guiaram a discussão dos resultados encontrados na literatura.

Para o desenvolvimento do estudo foram utilizadas publicações, distribuídos entre artigos científicos em periódicos; Trabalhos de Conclusão de Curso (TCCs), Dissertações e

Teses, Capítulos de livros técnicos, Livros completos, Revistas técnicas e científicas, Relatórios técnicos e anuários setoriais, Documentos institucionais (EMBRAPA), Sites especializados, Publicações em congressos e eventos vídeos, palestras e webinars, incluindo muitos que estavam de acordo com os objetivos previsto.

Adicionalmente, o trabalho contemplou a organização dos conteúdos em tópicos que refletem os objetivos específicos do estudo, facilitando a compreensão e o direcionamento do leitor. A metodologia também contemplou a utilização de normas técnicas para a correta referência e citação dos materiais, seguindo as orientações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2025)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A revisão bibliográfica permitiu identificar diferentes perspectivas e aplicações da aquaponia no contexto da Engenharia de Pesca, ressaltando seu potencial como alternativa sustentável de produção integrada. Os trabalhos analisados abordaram principalmente três dimensões: espécies de peixes utilizadas, cultivos vegetais mais comuns e benefícios socioeconômicos e ambientais, especialmente para a agricultura familiar.

A partir da análise da literatura científica selecionada, este trabalho apresenta os principais resultados encontrados acerca da aquaponia, destacando sua aplicação prática, avanços tecnológicos e os desafios que permeiam sua implementação. A discussão aborda as potencialidades do sistema integrado, especialmente no que tange à sustentabilidade ambiental, eficiência produtiva e aspectos econômicos e sociais, fundamentais para a consolidação da aquaponia como uma alternativa viável na produção alimentar contemporânea.

A estrutura adotada permite a compreensão dos temas centrais, iniciando pela avaliação da sustentabilidade e eficiência, seguida pelos desafios técnicos e tecnológicos, e finalizando com a análise dos impactos socioeconômicos e perspectivas futuras. A análise dos trabalhos evidencia que a tilápia é a espécie mais recorrente em sistemas aquapônicos, devido à sua rusticidade, rápido crescimento e ampla aceitação no mercado consumidor. Isso reforça sua relevância no contexto da Engenharia de Pesca, que busca espécies adaptáveis e economicamente viáveis. Além dela, a carpa e o tambaqui aparecem como alternativas promissoras, mas ainda com menor representatividade nos estudos.

No cultivo vegetal, a alface se consolidou como principal cultura, especialmente em sistemas de cama de mídia, pela fácil adaptação e alta produtividade. No entanto, alguns estudos

apontam avanços com o cultivo de hortaliças como tomate e rúcula, demonstrando o potencial de diversificação e inovação tecnológica no setor. Do ponto de vista ambiental, todos os autores convergem ao destacar que a aquaponia reduz significativamente o uso de fertilizantes químicos e o desperdício de água, apresentando-se como alternativa sustentável frente à agricultura convencional. Contudo, alguns trabalhos ressaltam desafios relacionados à complexidade de manejo e à necessidade de capacitação técnica para os produtores, o que pode limitar a expansão do sistema em larga escala.

Em termos sociais e econômicos, os estudos apontam a aquaponia como ferramenta de fortalecimento da agricultura familiar, promovendo geração de renda, segurança alimentar e integração comunitária. Entretanto, nota-se uma lacuna de pesquisas sobre a viabilidade econômica em longo prazo e políticas públicas de incentivo para consolidar esses sistemas no Brasil.

Dessa forma, a revisão demonstra que a aquaponia integra a Engenharia de Pesca, a hidroponia e a agricultura sustentável, configurando-se como estratégia inovadora para conciliar produção de alimentos, preservação ambiental e inclusão social. Apresentamos os autores mais citados no trabalho e seus respectivos estudos (Quadro 1).

Quadro 1 – Estudos sobre aquaponia, ano de publicação e contribuições

Autor(es) / Ano	Publicação	Principais contribuições
Corrêa (2018)	Aquaponia rural	Apresenta experiências em sistemas aquapônicos no meio rural, com foco em sustentabilidade e diversificação da produção
De Andrade et al. (2021)	Aquaponia e sua relação com a sustentabilidade	Evidenciam a aquaponia como alternativa sustentável, integrando produção de peixes e vegetais com economia de recursos
De Assis et al. (2023)	Policultivo de juvenis de tilápias nilóticas e vermelhas em aquaponia	Demonstram viabilidade de diferentes linhagens de tilápia em sistemas de recirculação e aquaponia.
De Carvalho Mendes et al. (2021)	Desempenho agrônômico de cultivares de alface em aquaponia	Avaliam o crescimento de diferentes cultivares de alface, destacando potencial de produtividade.
Lenz et al. (2017)	Produção de alface em efluentes de cultivo de tilápia	Relatam a eficiência do reuso de efluentes aquícolas no cultivo hidropônico de hortaliças.
Oliveira et al. (2019)	Aquaponia como fonte de produção e renda em comunidades	Enfatizam o papel social da aquaponia como alternativa de renda em pequenas comunidades rurais.
Moura (2021)	Aquaponia integrada à energia solar fotovoltaica	Aponta a integração da aquaponia com energias renováveis como alternativa econômica e sustentável.
Nakauth et al. (2020)	Implantação de módulo doméstico de aquaponia	Discutem a viabilidade da aquaponia em pequena escala para uso doméstico.
Reis et al. (2020)	Aquaponia: alternativa sustentável	Reforçam o caráter sustentável da integração aquícultura–hidroponia.
Sátiro, Neto e Delprete (2018)	Aquaponia: sistema integrado de produção	Sistematizam conceitos básicos e a relevância do sistema aquapônico como alternativa produtiva.
Pinho et al. (2021)	Aquaponia: sistema integrado de produção	Revisão sobre espécies de peixes nativas da América do Sul com potencial para aquaponia.
Tavares Junior (2020)	Aquaponia urbana e periurbana	Destaca a aplicabilidade da aquaponia em espaços urbanos, com enfoque em agricultura urbana.
Wang, Yang e Kim (2023)	Dinâmica do pH em sistemas aquapônicos	Discutem a influência do pH sobre a qualidade da água, crescimento vegetal e desempenho dos peixes.

Fonte:autor

6 CONCLUSÕES

O estudo apresentou os fundamentos conceituais da aquaponia, elucidando seu funcionamento baseado na simbiose entre os sistemas de aquicultura e hidroponia, fechando um ciclo sustentável de produção.

A revisão dos sistemas de cultivo apresentados: Nutrient Film Technique (NFT), Cama de Mídia e Fluxo e Refluxo, demonstraram os métodos aplicáveis, cada um com suas particularidades e adequações, conforme o contexto produtivo e recursos disponíveis.

Uma análise sobre o sistema de aquaponia como alternativa sustentável de produção integrada, aliando os conhecimentos da Engenharia de Pesca às exigências da agricultura moderna foi possibilitada, como também a compreensão dos fundamentos, sua estrutura funcional, os principais modelos de cultivo, as espécies aquáticas e vegetais mais adequadas, bem como os desafios e potencialidades desse sistema no contexto socioeconômico e ambiental.

Um ponto de destaque foi focar no potencial da aquaponia para a agricultura familiar e pequenos produtores, especialmente em regiões com escassez de água ou solo. A adoção dessa tecnologia, embora ainda incipiente em muitas localidades, pode representar uma alternativa viável para a geração de renda, diversificação da produção e promoção da segurança alimentar.

Ficou evidenciado que a integração entre aquicultura e hidroponia representa um caminho promissor para o desenvolvimento de sistemas agrícolas mais sustentáveis, eficientes e acessíveis. Contudo, para ampliar sua aplicação, é necessário o fortalecimento de políticas públicas, incentivos técnicos e financeiros, bem como capacitação adequada dos produtores.

Quanto ao cultivo das plantas, ficou notabilizado o bom desempenho de hortaliças folhosas, em sistemas aquapônicos, que apresentam crescimento e qualidade superiores aos sistemas convencionais, pela disponibilidade contínua e balanceada de nutrientes e no aspecto da piscicultura, destacou-se a relevância da tilápia nilótica, dada sua rusticidade e produtividade, além do potencial do policultivo, estratégias que promovem sustentabilidade e diversificação produtiva.

Outrossim, proporcionou uma discussão sobre os desafios técnicos e tecnológicos da aquaponia, ressaltando a importância do controle rigoroso dos parâmetros físico-químicos da água para a saúde dos organismos e equilíbrio do sistema; as tecnologias de monitoramento e automação foram trazidas como alternativas essenciais para superar as dificuldades, apesar dos

custos e a necessidade de capacitação técnica serem limitantes importantes, especialmente para pequenos produtores.

Por fim, a análise dos impactos socioeconômicos revelou que a aquaponia contribui significativamente para a geração de renda, segurança alimentar e inclusão social, sobretudo em comunidades rurais e contextos urbanos com espaço limitado e que as perspectivas são promissoras, condicionadas ao fortalecimento da pesquisa, desenvolvimento tecnológico, capacitação técnica e políticas públicas que incentivem sua adoção e expansão.

Assim sendo, almeja-se que essa revisão sirva como base para futuros estudos e para o aprimoramento da aquaponia, especialmente no contexto brasileiro, onde a inovação tecnológica aliada à Engenharia de Pesca pode impulsionar a produção alimentar sustentável e inclusiva.

REFERÊNCIAS

- AGROSHOW. <https://Agroshow.info/Productos/Hidroponia/SistemasHidroponicos/Sistema-De-Riego-Nft-Para-Hidroponia/>." ResearchGate, 14 Mar. 2018, br.pinterest.com/pin/497014508890868297/. Accessed 3 Jun. 2025.
- AQP, Brasil. "Http://Aqpbrasil.com/Tecnica-De-Cama-De-Midia/." ResearchGate, 14 Mar. 2017, br.pinterest.com/pin/497014508890868297/. Accessed 5 July. 2025. [Aquaaponiabrasil.wordpress.com/breve-historia-da-aquaponia](http://Aqpbrasil.com/Tecnica-De-Cama-De-Midia/).
- BRAINER, Maria Simone de Castro Pereira. Produção de hortaliças na área de atuação do BNB. 2021.
- CORRÊA, Bernardo Ramos Simões. Aquaponia rural. 2018.
- DE ANDRADE, Luana Alves et al. AQUAPONIA E SUA RELAÇÃO COM A SUSTENTABILIDADE. *Ciência & Tecnologia*, v. 13, n. 1, p. 190-200, 2021.
- DE ASSIS, Cicero da Silva Rodrigues et al. Policultivo de juvenis de tilápias nilóticas e vermelhas em sistemas de recirculação e aquaponia. *RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218*, v. 4, n. 6, p. e463230- e463230, 2023.
- DE CARVALHO MENDES, Fábio Teixeira et al. Desempenho agrônomo de cultivares de alface em aquaponia. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, v. 10, n. 9, pág. e50610918176-e50610918176, 2021.
- DA COSTA, Patrícia Martins et al. Nível de conscientização de produtores de hortaliças quanto ao uso de agrotóxicos nos Municípios de Goiatuba e Morrinhos, Estado de Goiás, Brasil. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 10, p. e3369108470-e3369108470, 2020.
- FILHO, Mario Luis Biazeti. "Https://Www.researchgate.net/Figure/Figura-8-Experimento-De-Aquaponia-Realizado-Pela-Fepagro-Aquicultura-e-Pesca-No-Sistema_fig3_307575115." ResearchGate, 15 Aug. 2016, br.pinterest.com/pin/497014508890868297/. Accessed 5 July.
- LIMA, J. de F. et al. Aquaponia: uma alternativa de diversificação na aquicultura e horticultura familiar do Amapá. 2015.
- LENZ, Guilherme Luis et al. Produção de alface (*Lactuca sativa*) em efluentes de um cultivo de tilápias mantidas em sistema BFT em baixa salinidade. *Boletim do Instituto de Pesca*, v. 43, n. 4, p. 614-630, 2017.
- MACHADO, Eric. Viabilidade da aquaponia urbana: pequenos espaços e a produção animal sustentável. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Brasil.
- MORO, Evandro Bilha et al. Fenilalanina em dietas para juvenis de tilápia do Nilo. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 5, p. 29340-29353, 2020.

MARTINS, Gabriel Bernardes et al. Growth, water quality and oxidative stress of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) in biofloc technology system at different pH. *Aquaculture Research*, v. 50, n. 4, p. 1030-1039, 2019.

MOURA, Túlio Pinheiro. Sistema de aquaponia integrada com energia solar fotovoltaica: uma alternativa econômica para comunidades rurais. 2021. Tese de Doutorado.

NAKAUTH, Rogério Ferreira et al. Implantação de módulo doméstico de aquaponia. *Igapó*, v. 14, n. 1, 2020.

OLIVEIRA, Ítala Marine Silva de et al. Aquaponia como fonte de produção e renda na comunidade bom fim. *Angicos/RN*. 2019.

PEIXE BR, Associação brasileira de Piscicultura. *Anuário da Piscicultura*. São Paulo, 2020.

PINHO, S. M. et al. South American fish species suitable for aquaponics: a review. *Aquaculture International*, v. 29, p. 1–23, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00674-w>.

REIS, G. C. et al. Aquaponia: uma alternativa sustentável para a agricultura e piscicultura integrada. *Revista Interface Tecnológica*, v. 17, n. 1, p. 158–174, 2020. Disponível em: <<https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/1714>>. Acesso em: 25 jul. 2025.

SÁTIRO, Thaise Mota; NETO, Kélvia Xavier Costa Ramos; DELPRETE, Sâmila Esteves. Aquaponia: Sistema que integra produção de peixes com produção de vegetais de forma sustentável. *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*, v. 11, n. 1, p. 38-54, 2018.

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

SOUZA, Sulma Vanessa et al. Análise do crescimento de alface sob diferentes sistemas de cultivo. *Agricultura Familiar: Pesquisa, Formação e Desenvolvimento*, v. 14, n. 2, p. 107-120, 2021.

TAVARES JUNIOR, Nivaldo. A aquaponia como sistema de agricultura urbana e periurbana: um estudo de caso no município de Osório-RS. 2020.

WANG, Yi-Ju; YANG, Teng; KIM, Hye-Ji. Dinâmica do pH em sistemas aquapônicos: implicações para a produtividade e o rendimento das culturas vegetais e piscícolas. *Sustentabilidade*, v. 15, n. 9, pág. 7137, 2023.