



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CAMPUS LAGOA DO SINO
CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

THIAGO SOARES BAUMGARTNER

**USO DO VEGETAL *Azolla caroliniana* PARA
ADUBAÇÃO E FIXAÇÃO DE NUTRIENTES EM
MEIOS AQUAPÔNICOS – UMA REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA**

BURI

2023

THIAGO SOARES BAUMGARTNER

**USO DO VEGETAL *Azolla caroliniana* PARA
ADUBAÇÃO E FIXAÇÃO DE NUTRIENTES EM
MEIOS AQUAPÔNICOS – UMA REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a (Universidade Federal de São
Carlos), como requisito parcial para
obtenção do título de (Bacharelado em
Ciências Biológicas)

Orientador: Prof. Dr. Flávio Gabriel Bianchini

BURI

2023



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

COORDENAÇÃO DO CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - CCCBio-LS/CCN

Rod. Lauri Simões de Barros km 12 - SP-189, s/n - Bairro Aracaçu, Buri/SP, CEP 18290-000

Telefone: (15) 32569030 - <http://www.ufscar.br>

DP-TCC-FA nº 28/2023/CCCBio-LS/CCN

Graduação: Defesa Pública de Trabalho de Conclusão de Curso

Folha Aprovação (GDP-TCC-FA)

FOLHA DE APROVAÇÃO

THIAGO SOARES BAUMGARTNER

**USO DO VEGETAL *AZOLLA CAROLINIANA* PARA ADUBAÇÃO E FIXAÇÃO DE NUTRIENTES EM MEIOS
AQUAPÔNICOS – UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Trabalho de Conclusão de Curso

Universidade Federal de São Carlos – Campus Lagoa do Sino

Buri, 31 de março de 2023

ASSINATURAS E CIÊNCIAS

Cargo/Função	Nome Completo
Orientador	Flávio Gabriel Bianchini
Membro da Banca 1	Roberta Barros Lovaglio
Membro da Banca 2	Alexandre Peressin



Documento assinado eletronicamente por **Flavio Gabriel Bianchini, Docente**, em 03/04/2023, às 10:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alexandre Peressin, Professor(a) Substituto(a)**, em 03/04/2023, às 11:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Roberta Barros Lovaglio, Docente**, em 03/04/2023, às 19:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufscar.br/autenticacao>, informando o código verificador **0997435** e o código CRC **E627D18C**.

Referência: Caso responda a este documento, indicar expressamente o Processo nº 23112.009578/2023-64

SEI nº 0997435

Modelo de Documento: Grad: Defesa TCC: Folha Aprovação, versão de 02/Agosto/2019

Baumgartner, Thiago Soares

Uso do vegetal *Azolla caroliniana* para adubação e fixação de nutrientes em meios aquapônicos – uma revisão bibliográfica / Thiago Soares Baumgartner -- 2023.
86f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus Lagoa do Sino, Buri
Orientador (a): Flávio Gabriel Bianchini
Banca Examinadora: Flávio Gabriel Bianchini, Roberta Barros Lovaglio, Alexandre Peressin
Bibliografia

1. *Azolla caroliniana*. 2. Aquaponia. 3. Fixação de nutrientes. I. Baumgartner, Thiago Soares. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Lissandra Pinhatelli de Britto - CRB/8 7539

Dedicatória...

Dedico a todos que me ajudaram nesta oportunidade, e à todos que eventualmente poderão usar este trabalho como referencia, experiência... Dedico como um pequeno bloco de construção à ciência e uma sociedade pouco melhor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, depois à UFSCar, ao Campus: Lagoa do Sino mais especificamente, por terem me proporcionado esta oportunidade, e do mesmo modo o meu orientador, Flávio Gabriel Bianchini. Também um agradecimento especial ao seu Raduan, que doou boa parte de seu patrimônio, e suas propriedades, onde hoje se edifica a universidade e o Campus, para que pudessem ser usados em pesquisa e desenvolvimentos, não só científicos, mas o início de uma transformação social. Um ato de muita coragem e consideração à sociedade, à pátria, e à humanidade em última análise.

Sonhos enquanto sonhos são apenas sonhos. Sonhos no papel começaram a se materializar

Resumo

BAUMGARTNER, Thiago Soares. **USO DO VEGETAL *Azolla caroliniana* PARA ADUBAÇÃO E FIXAÇÃO DE NUTRIENTES EM MEIOS AQUAPÔNICOS – UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de São Carlos, *campus* Lagoa do Sino, Buri, 2023.

Muito se tem pensado a respeito da segurança alimentar global, gasto de água e nutrientes. A hidroponia é uma técnica que existe já há algum tempo sendo relativamente bem aceita tanto em países desenvolvidos como não desenvolvido de uma maneira geral. A aquaponia, sendo uma variante da hidroponia, no qual os nutrientes necessários para o cultivo vêm do tanque de criação de peixes, que excretam amônia diretamente na água. O presente trabalho tem como principal proposta apresentar uma alternativa à aquaponia tradicional, de forma que, ao invés de se usar peixes como criação e fonte de nutrientes, usar a samambaia aquática: *Azolla caroliniana*, devido à sua característica de assimilação do nitrogênio atmosférico na água, facilidade de propagação e manutenção. Além disso, o vegetal tem propriedades nutricionais tanto para consumo animal como mesmo humano, podendo ser de aproveitamento tanto ambiental como econômico.

Palavras-chave: Aquaponia, Hidroponia, *Azolla caroliniana*

Abstract

Much thought has been given to global food security, water and nutrient expenditure. Hydroponics is a technique that has been around for some time and is relatively well accepted in both developed and undeveloped countries in general. Aquaponics, being a variant of hydroponics, in which the nutrients needed for cultivation come from the fish breeding tank, which excrete ammonia directly into the water. The present work has as its main proposal to present an alternative to traditional aquaponics, so that, instead of using fish as a breeding and source of nutrients, use the aquatic fern: *Azolla caroliniana*, due to its characteristic of assimilation of atmospheric nitrogen in the water, ease of propagation and maintenance. In addition, the vegetable has nutritional properties for both animal and human consumption, and can be used both environmentally and economically.

Keywords: Aquaponics, Hidroponics, *Azolla caroliniana*

Lista de figuras

Figura 1 Ilustração de um exemplo de sistema aquaponico geral	22
Figura 2 Ilustração de um projeto geral de aquaponia, com a adaptação da <i>Azolla caroliniana</i>	59
Figura 3 Ilustração de um esquema/técnica de propagação da <i>Azolla</i> em viveiro	61
Figura 4 Propagação da <i>Azolla</i> , desta diretamente no campo. Inicia-se na área A e após a sua cobertura completa, as comportas vão sendo abertas de B a E. Uma nova comporta é aberta sempre que uma área está totalmente coberta	62
Figura 5 Gráfico com os resultados da consorciação do arroz com a <i>Azolla</i> em comparação com um fertilizante tradicional (ureia) e o grupo controle.....	65
Figura 6 Tabela periódica. Elementos tratados ao longo do trabalho podem ser consultados aqui	84

Lista de tabelas

Tabela 1 Módulos Básicos de um sistema de aquaponia	23
Tabela 2 Vantagens e Desvantagens Gerais do Sistema de Aquaponia DFT.....	26
Tabela 3 Vantagens e Desvantagens Gerais do Sistema de Aquaponia MBT	28
Tabela 4 Vantagens e Desvantagens Gerais do Sistema de Aquaponia NFT.....	30
Tabela 5 Vantagens e Desvantagens Gerais do Sistema de Aquaponia Gotejamento	31
Tabela 6 Vantagens e Desvantagens Gerais do Sistema de Aquaponia de Subirrigação	32
Tabela 7 Custos gerais de implantação de um sistema NFT	34
Tabela 8 Custo de manutenção anual do sistema	34
Tabela 9 Custos adicionais de manutenção, referentes a encargos, depreciação e juros..	35
Tabela 10 Ganhos brutos anuais.	35
Tabela 11 Preços de Implantação Sistema Mini e Depreciação	35
Tabela 12 Receita do sistema mini em cinco anos	36
Tabela 13 Tabela de Preços de Implantação Sistema Médio e Depreciação	37
Tabela 14 Tabela de Receita do Sistema Médio em cinco anos	38
Tabela 15 Tabela de Preços de Implantação Sistema de Grande Porte e Depreciação	38
Tabela 16 Receita de Sistema de Grande Porte em cinco anos	39
Tabela 17 Fertilizantes Químicos e sua proporção de NPK.	40
Tabela 18 Solubilidade de alguns dos principais fertilizantes.....	46
Tabela 19 Potencial de acidificação geral de alguns dos principais fertilizantes	47
Tabela 20 Interações entre os principais elementos presentes em fertilizantes e necessários às plantas. Sendo que, o “+” são as interações positivas, o “-” são as interações negativas	50
Tabela 21 Demonstração da compatibilidade entre fertilizantes. Sendo que : C – compatível; R – Compatibilidade Reduzida; I – Incompatível	50
Tabela 22 Técnicas de consorciação do arroz com a Azolla	63
Tabela 23 Resultados da consorciação do arroz com a Azolla em comparação com um fertilizante tradicional (ureia) e o grupo Controle.....	64
Tabela 24 Vantagens e Desvantagens gerais de todos os sistemas de aquaponia adaptados com a Azolla caroliniana	71

Lista de abreviaturas

ONU: Organização das Nações Unidas

EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

DWC: Deep Water Culture

DFT: Deep Flow System

NFT: Nutrient Film Technique

MBT: Media Bed System

SUMÁRIO

Conteúdo

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivos	16
1.1.1	Objetivos Gerais.....	17
1.1.2	Objetivos específicos.....	17
2	METODOLOGIA.....	18
3	REFERENCIAL TEÓRICO	19
3.1	Agricultura Moderna.....	19
3.2	Hidroponia.....	21
3.3	Aquaponia	22
3.3.1	Aquaponia DFT	25
3.3.2	Aquaponia MBT	27
3.3.3	Aquaponia NFT	29
3.3.4	Aquaponia de Gotejamento	31
3.3.5	Canteiro de Subirrigação.....	32
3.3.6	Outros tipos de Aquaponia	33
3.3.7	Custos Gerais de Implantação e Manutenção, Projeção Geral de Ganhos.....	33
3.4	Nutrientes e Fertilizantes	39
3.4.1	Fertilizantes Não Orgânicos ou Inorgânicos.....	44
3.4.2	Fertilizantes Orgânicos.....	44
3.4.3	Solubilidade de Fertilizantes	45
3.4.4	Incompatibilidade de Fertilizantes.....	49
3.5	<i>Azolla caroliniana</i>	51
3.6	<i>Anabaena azollae</i> Strasburguer	52
3.6.1	Ciclo do Nitrogênio	53
3.6.1.1	Fixação Biológica	56
3.6.1.2	Amonificação	57
3.7	Aquaponia e <i>Azolla caroliniana</i>	58
3.8	Cultura Arrozeira	60
3.9	Plantio de Arroz associado à <i>Azolla caroliniana</i>	61
3.9.1	Resultados	63
3.9.2	Discussão.....	65
3.10	Possibilidade e comparação de associação com outras culturas, e viabilidade.....	66
3.10.1	Adaptação DFT.....	67
3.10.2	Adaptação MBT	69

3.10.3	Adaptação NFT.....	70
3.10.4	Adaptação Gotejamento.....	70
3.10.5	Adaptação Subirrigação	71
3.10.6	Vantagens e Desvantagens Gerais das Adaptações.....	71
3.10.7	Utilização da <i>Azolla</i> em conjunto com peixes	72
4	Considerações Finais	74
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
	ANEXO I	84
	GLOSSÁRIO	85

1 INTRODUÇÃO

A fome global é um tema recorrente há muitos anos na história da humanidade, desde seus primórdios. Os egípcios já dependiam do rio Nilo para a fertilização de suas “lavouras” para que houvesse alimento, assim torna-se possível seu desenvolver como conhecemos, segundo os estudos e relatos dos historiadores. Mesmo na Idade Média, já existiam técnicas para a manutenção da fertilidade do solo, para que pudesse continuar a produzir, sendo que ainda nessa mesma época, Thomas Malthus falava a respeito da abstinência sexual para minimizar a quantidade de filhos, já que, segundo Malthus, a produção de alimentos que crescia de forma aritmética não acompanharia o crescimento populacional geométrico (MALTHUS, 1996; MAZOYER; ROUDART, 2008).

Nos tempos contemporâneos, apesar de todo desenvolvimento da ciência, técnicas e tecnologias, ainda é possível observar ao longo do planeta, problemas relacionados à fome e/ou à falta de nutrientes. Segundo dados da ONU (2022), “o número de pessoas afetadas pela fome em todo o mundo subiu para 828 milhões em 2021, uma alta de cerca de 46 milhões desde 2020 e 150 milhões desde o início da pandemia de Covid-19”.

Porém, não somente recursos alimentícios estão em defasagem, mas também nutrientes de fertilização da lavoura estão ficando mais escassos, como as reservas mundiais de fósforo, que possui recursos para os próximos 50 ou 100 anos apenas. Já foram até mesmo consideradas medidas mais intensas, como a retirada de fósforo dos esgotos para reutilização na agricultura. Tais problemas se agravam ainda mais em situações de conflitos, pandemias e crises globais de uma forma geral, em que os recursos tornam-se mais indisponíveis (PANTANO *et al.*, 2016).

Diversos países, inclusive desenvolvidos, têm considerado e estudado o uso da hidroponia, já que a mesma possui diversas vantagens. Uma delas é a melhor distribuição de nutrientes, pois o plantio é feito diretamente na água. Outra é o maior controle, já que, como o plantio é feito em sistemas de cultivo protegido, se favorece manejo durante todo o ano, além de minimizar ou mesmo dispensar agrotóxicos. Há estudos que comparam o crescimento de framboesas cultivadas diretamente no solo (tradicionais) e na água (hidropônicas), de forma que as cultivadas em água têm uma quantidade mais exata de nutrientes necessários e um “clima” mais próximo ao ideal, possibilitando ter uma colheita otimizada (TREFTZ; OMAYE, 2015).

Ainda assim, a hidroponia possui certas limitações, como, por exemplo, serão necessários os fertilizantes, muitas vezes químicos, sendo considerada não orgânica (RESH, 2022). Entretanto, muito se tem estudado a respeito da hidroponia, e seu aprimoramento. Uma das diferentes modalidades da hidroponia clássica, é a aquaponia, em que, geralmente, a água da hidroponia é colocada em circulação junto com a água

presente em um tanque de criação de peixes. Como estes seres excretam amônia diretamente na água, esta serve de fertilizante nitrogenado para as plantas, havendo pouca ou nenhuma necessidade de fertilizantes externos (BAGANZ *et al.*, 2021).

Todavia, existem vegetais em associação com bactérias capazes de fixar o nitrogênio atmosférico na água, como é o caso da *Azolla caroliniana*. A samambaia aquática tem por característica a simbiose com seres procariontes, mais especificamente a cianobactéria *Anabaena azollae* Strasburguer (HOLST, 1979). Deste modo, ao invés do tanque com peixes, também é possível ter um tanque separado apenas com o vegetal, capaz de fixar o nitrogênio. Já existem estudos que associam o uso da *Azolla caroliniana* com plantações de arroz, pois como precisa de terrenos alagados para crescer, o uso desta espécie se faz conveniente nesta cultura em especial (LUMPKIN; PLUCKNEET, 1980; LUMPKIN; PLUCKNEET, 1982).

A *Azolla caroliniana*, além de possuir as propriedades simbióticas de fixação de nutrientes, também possui propriedades nutricionais, tanto para animais como para seres humanos, provavelmente sendo consumida por pessoas já há muito tempo (ROY; PAKHIRA; BERA, 2016; AZHAR *et al.*, 2018; ABDELATY *et al.*, 2021).

Ademais, a *Azolla* possui um acelerado crescimento e propagação quando já adaptada à região, sendo pouco exigente para manutenção, necessitando quase que exclusivamente de apenas água e luz solar para sobreviver, podendo sobreviver até mesmo em baixas temperaturas e em água residuais, podendo chegar a se reproduzir de forma substancial no último quadro (COSTA; SANTOS; CARRAPIÇO, 1999; MELO; PERIN, 1992).

A sua capacidade nutricional, poderá ajudar a comunidade global amenizar os problemas da fome e da escassez nutricional, que vem aumentando no planeta a cada ano, ainda mais ressaltadas por momentos de conflitos e crises, como a recente pandemia de COVID 19.

A utilização da *Azolla caroliniana* dentro do sistema de aquaponia pode ser uma alternativa aos produtores quanto ao uso de fertilizantes químicos no processo de produção de plantas hidropônicas, diminuindo a dependência deste sistema produtivo dessa classe de fertilizantes. Além disso, apresenta-se como mais uma alternativa viável, de forma que o uso dos peixes pode ser tanto substituído como consorciado com a *Azolla*, podendo resultar em mais nutrientes para as plantas com economia no uso de ração, apesar do aumento do consumo de oxigênio, demandando um aerador (MADEIRA *et al.*, 2016; ROSA *et al.*, 2019).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos Gerais

- Realizar uma revisão bibliográfica a respeito da alternativa de um sistema de aquaponia, para sistemas adaptados com o uso da samambaia aquática *Azolla caroliniana*. Além disso, apresentá-lo como alternativa a fertilização da hidroponia e aquaponia tradicional.

1.1.2 Objetivos específicos

- Apresentar métodos viáveis de execução do projeto de aquaponia com a *Azolla caroliniana*.
- Avaliar os prós e contras do sistema, tanto ambientais (questões de poluição, corpos hídricos, e solo e, eutrofização) como econômicos (economia de fertilizantes, agrotóxicos, produtividade), além de executivos (praticidade ou complexidade, manutenção, acessibilidade).
- Confirmar a viabilidade econômica e técnica do projeto, apresentando custos gerais de implantação da aquaponia, além da oportunidade da projeção de lucros, mesmo para pequenos produtores, e produtores familiares.
- Comparar o sistema adaptado com os sistemas aquapônicos tradicionais.

2 METODOLOGIA

O trabalho trata-se de um estudo descritivo, de caráter bibliográfico e qualitativo, que busca averiguar a possibilidade da utilização em um sistema de aquaponia, no qual ao invés de serem colocadas espécies de peixe nos tanques de criação, serão substituídos pela samambaia aquática: *Azolla caroliniana*.

Quando se trata de pesquisa descritiva, esta busca analisar, observar e registrar os fenômenos que acontecem na natureza ou no mundo humano sem a interferência do pesquisador. O objetivo desta prática é descobrir com que frequência determinado fenômeno ocorre, qual a relação entre os fenômenos, suas peculiaridades e particularidades. A pesquisa de uma forma geral trata-se da observação, formulação de uma hipótese e teste da mesma (LAVILLE, 1999).

É necessário ter em vista que o trabalho de revisão bibliográfica não é simplesmente uma repetição de trabalhos anteriores, porém, uma abordagem diferente do mesmo tema com pontos de vista distintos e/ou inovadores, além da possibilidade de uma nova correlação entre os fatos. A partir de diferentes pontos de vista e abordagem, torna-se possível uma ciência mais detalhada e completa, com tomadas de decisões e conclusões mais assertivas, já que um fenômeno ou conceito a primeira vista pode passar impressões equivocadas de sua real natureza. Vale lembrar também, que a pesquisa científica busca descobrir verdades parciais, e é também um método que está em constante construção, entretanto, passível de falha, assim como qualquer outra área da humanidade, pela própria natureza falha da mesma (NUNES; NASCIMENTO; LUZ, 2016).

Foi levantada a produção científica a respeito da viabilidade de implantação da aquaponia no trabalho bibliográfico em questão, como alternativa viável para a aquaponia tradicional. Foram selecionados artigos e livros a respeito do tema, de forma especial aqueles que fazem referência à *Azolla caroliniana*, e ao uso da aquaponia tradicional. Os materiais usados foram classificados pelos critérios: tipo de documento, (dissertação, tese, artigo científico, livro, jornal, revista...), foco do trabalho e ano de publicação. As datas destes trabalhos vão desde os mais clássicos, sendo o mais antigos de 1951, até os mais atuais, de 2023.

Materiais como dissertações e teses levantadas no trabalho estão disponíveis nos sites de universidades. Os principais periódicos selecionados foram a respeito do tema de aquaponia, hidroponia, e da *Azolla caroliniana*, hospedados em bancos de dados eletrônicos, nacionais, internacionais e institucionais, além de plataformas de artigos científicos, tais como: SCIELO, SCIENCE DIRECT. Os livros selecionados estão presentes na biblioteca do Campus Lagoa do Sino e outros em meio eletrônico, na internet.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Agricultura Moderna

A agricultura moderna é tida muitas vezes como a melhor alternativa de produção alimentar da atualidade, já que garantiria, em teoria, a segurança alimentar da população em geral, devido à sua produção em larga escala, praticidade, qualidade e conveniências em geral. Entretanto, muitas dessas características, principalmente a de não existir alternativa viável, é repetida muitas vezes de maneira quase dogmática (SOGLIO; KUBO, 2016).

Mesmo a agricultura moderna sendo usada em larga escala ao redor do globo, os problemas da fome e carência nutricional continuam presentes na atualidade de maneira preocupante, já que, segundo dados da ONU (2022), “o número de pessoas afetadas pela fome em todo o mundo subiu para 828 milhões em 2021, uma alta de cerca de 46 milhões desde 2020 e 150 milhões desde o início da pandemia de Covid-19”. Desta forma, para efeito de comparação, considerando-se que a população mundial acaba de atingir 8 bilhões – 2022 – podemos concluir que quase 1 em cada 8 pessoas sofrem com a fome atualmente. Outra conclusão mais impactante apoiada pela anterior, é a de que a agricultura tradicional é sustentada muitas vezes por interesses econômicos e políticos, a fim de favorecer apenas pequenos grupos, deixando de fato a questão da segurança alimentar em segundo plano, quase como um pretexto (SOGLIO; KUBO, 2016).

O Brasil é um dos maiores produtores de alimentos do mundo, mais precisamente, o quarto produtor agrícola desde 2020 (GUARALDO, 2021), sendo conhecido popularmente de “O Celeiro do Mundo”. Assim sendo, a agricultura moderna, com o uso de defensivos e fertilizantes é utilizado no Brasil em larga escala, principalmente na monocultura. Um dos grandes problemas da monocultura é a necessidade de grandes áreas para plantio, o que implica muitas vezes em desmatamento e perda de biodiversidade. Só em 2022, até o mês de Setembro o desmatamento passou dos 9 km², o pior indicador em 15 anos (IMAZON, 2022).

A Amazônia, é chamada de “O Pulmão do Mundo”, mas na verdade a mesma é o “Ar-Condicionado do Mundo”, pois os processos de evapotranspiração que ocorrem na floresta auxiliam o processo de controle climático, funcionando como um amortecedor das mudanças e ameaças climáticas, pode-se pensar então, a Amazônia como uma peça imprescindível para a saúde do meio ambiente global, já que, com a retirada da mesma, o clima em todo o globo estará comprometido (ZIMMER, 2019).

Outro ponto que se deve sempre realçar, é a riqueza material e imaterial que a floresta Amazônica possui, riqueza mineral, biológica e estética incalculáveis nela contidas. Entretanto, desde quando o Brasil foi colonizado, o objetivo principal da colônia era entregar seus recursos à metrópole, e mesmo nos tempos atuais o processo se perpetua. As riquezas nacionais continuam a ser drenadas para o exterior de várias formas, e uma delas é através da agricultura. O solo nacional é explorado para plantio de produtos de interesse internacional, torna-se lógico pensar o porquê muitos agrotóxicos proibidos no exterior são aprovados e usados legalmente no país (INCA, 2022; SOGLIO; KUBO, 2016).

Seguindo o percurso anterior, torna-se claro porque a narrativa quase dogmática de não haver alternativa plausível para a agricultura moderna é difundida, já que o interesse internacional precisa ser atendido, e o Brasil é uma peça chave neste sentido do cenário global. Porém, outro ponto que chama a atenção, é o fato de a mesma narrativa ser difundida com o pretexto da segurança alimentar e diminuição da fome global, entretanto, torna-se contraditório, e até mesmo paradoxal, pensar que parte da safra é destruída, assim como já foi feito várias vezes com o café, para que a safra mantenha um preço razoável e competitivo frente ao mercado, seguindo a lei da oferta e demanda, já que excesso diminui preço (SOGLIO; KUBO, 2016; SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA, 2017).

Desta forma, torna-se claro que está longe de ser uma questão humanitária, para ser uma questão econômica e política em primeiro plano, pode-se então concluir que a narrativa de não haver alternativa de produção agrícola para suprimento da população e da segurança alimentar, é um mito difundido amplamente para favorecer pequenos grupos, os interesses internacionais, políticos e econômicos, tendo o bem estar humanitário em último plano (SOGLIO; KUBO, 2016).

Outro grande ponto a respeito da agricultura moderna é o uso extensivo de agrotóxicos e fertilizantes, que apontam riscos graves à saúde, humana e ambiental, o que recai novamente sobre a população, já que não necessariamente apenas consumindo os alimentos se contamina, mas somente o contato com o meio ambiente já é o suficiente, como beber ou ter contato com a água contaminada dos lençóis ou corpos hídricos canalizados para os centros urbanos, por exemplo (INCA, 2022).

Entretanto, outra questão ainda mais decisiva é colocada em xeque quando se trata a respeito dos fertilizantes, que é desperdício dos mesmos, principalmente do elemento (fósforo (P)), que é imprescindível para o desenvolvimento vegetal (PANTANO *et al.*, 2016).

Uma das alternativas para a agricultura moderna é a hidroponia, e uma das suas variantes é a aquaponia. Hidroponia, vem da etimologia grega: Hidro (água) e Ponia (trabalho), ou seja, esta é uma técnica de plantio em que os vegetais são cultivados

diretamente na água, sem a necessidade de solo. Uma das vantagens desta técnica é a melhor absorção dos nutrientes, já que, como são colocados diretamente na água, são mais eficientemente absorvidos pelas raízes, fazendo com que, em muitos casos, os vegetais se desenvolvam mais rápido, havendo também melhor aproveitamento e menor desperdício de fertilizantes (RESH, 2022).

No caso da aquaponia mais especificamente, esta é integrada com sistema de criação de peixes, que liberam amônia na água, que por sua vez é metabolizada por microorganismos, convertendo-a em nitritos. Estes nitritos por sua vez, servem de nutrientes para os vegetais cultivados, precisando de pouco ou nenhum fertilizante externo ao sistema, dependendo de sua eficiência, e do tipo de cultivo escolhido (BAGANZ *et al.*, 2021; OLIVEIRA, 2016).

3.2 Hidroponia

Hidroponia é uma palavra cuja etimologia que vem do grego: Hidro – água, Ponia – trabalho, ou seja, “trabalho com água”. Podemos pensar na Hidroponia, como um sistema controlado, em que o plantio, cultivo e fornecimento de nutrientes é feito diretamente na água. A Hidroponia é feita muitas vezes em estufas, o que permite ter safras sazonais durante o ano todo, já que se pode controlar a temperatura, precipitação e alguns casos até mesmo a luminosidade. Com um sistema de maior controle, como descrito anteriormente, torna-se lógico pensar que a necessidade de agrotóxicos e defensivos em geral é dispensada, ou na pior das hipóteses: mínimo. Há bibliografias apontando como framboesas hidropônicas desenvolvem melhor do que framboesas cultivadas em solo (TREFTZ; OMAYE, 2015; RESH, 2022).

Outro ponto positivo da hidroponia é a questão do espaço, já que são desnecessárias grandes áreas para o cultivo, como no caso da monocultura. Existem inclusive estudos de cultivos verticais, em que alimentos são cultivados em estantes, “tubos com água”, semelhantes a prédios, podendo inclusive ser construídos em meios urbanos. Outro ponto muito importante é a melhor gestão dos nutrientes e fertilizantes, absorvidos de maneira mais eficiente pelas raízes das plantas, que como já dito, são cultivados diretamente na água, e por ser solvente universal, ioniza os elementos com maior facilidade, tendo maior aproveitamento pelo cultivo e ainda tendo a possibilidade de serem reciclados e recaptados pelo sistema, para serem utilizados novamente (RESH, 2022; ANDRADE *et al.*, 2021; OLIVEIRA, 2016).

Desta forma, reduz-se o risco de contaminação dos lençóis freáticos por fertilizantes, além da eutrofização* de corpos hídricos. A hidroponia, apesar de não ser considerada orgânica, já que precisa de adubo químico para ser cultivada, resolve vários

problemas ambientais, como o desmatamento, a sobre utilização do solo, a perda da biodiversidade, a contaminação do meio ambiente e da população por agrotóxicos, e também, um uso mais racional e consciente dos fertilizantes, principalmente do N, e P, que tornam mais escasso com o passar dos anos (PANTANO *et al.*, 2016; OLIVEIRA, 2016).

Apesar de quase todos os vegetais terem a possibilidade de serem cultivados em hidroponia, dependendo da técnica utilizada, assim como será desenvolvido ao longo do trabalho, o mais comum é o cultivo de hortaliças, bem como a alface, rúculas, agriões, entre outros (RESH, 2022; BROOKE, 2018).

3.3 Aquaponia

A aquaponia é uma técnica de plantio que combina as técnicas de aquicultura tradicional, somado com a técnica de hidroponia. A aquicultura pode compreender criação não somente de peixes, mas também é possível com caramujos, camarões, lagostas. (OLIVEIRA, 2021; OLIVEIRA, 2016; RESH, 2022).

Os sistemas aquaponicos são geralmente constituídos de alguns módulos base, como o tanque de criação de peixes, um reservatório para sedimentação, um **biofiltro**, a fim de facilitar o crescimento de bactérias nitrificantes, o sistema aquaponico conectado, e um poço coletor, também conhecido como: “Sump” (QUEIROZ *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2018; OLIVEIRA, 2016). Assim como demonstra detalhadamente a tabela 1 e imagem 1 a seguir:

Figura 1: Ilustração de um exemplo de sistema aquaponico geral. Fonte: Adaptado de Herbert (2008).

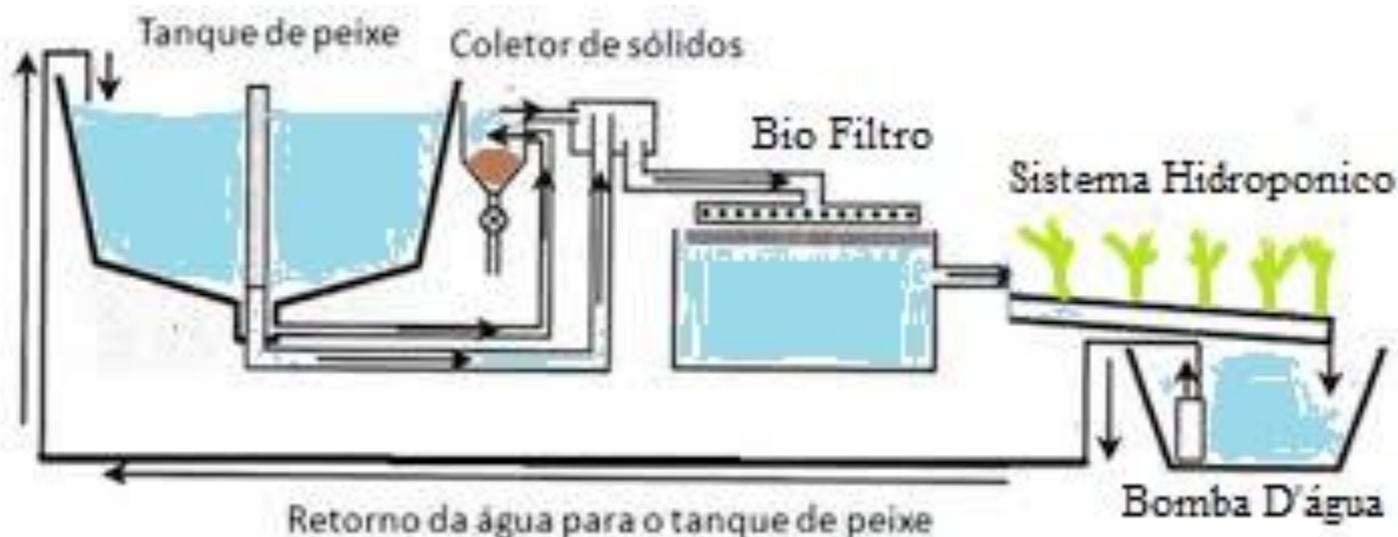


Tabela 1: Módulos Básicos de um sistema de aquaponia. Fonte: Adaptado de Queiroz *et al.* (2017), Andrade *et al.* (2021) e Brooke (2018).

Tanque de Criação	O tanque de criação, geralmente são colocados peixes, já que seus excrementos a base amônia servem como nutrientes para as plantas do sistema hidropônico, porém, podem ser criados também animais como camarões, lagostas, caramujos
Reservatório de sedimentação	Pode ser também o coletor de sólidos, é a parte destinada a capturar sobras, sedimentação de pequenas partículas e excesso de biofilme, que pode prejudicar o sistema e entupir os canos.
Bio Filtro	O Bio Filtro neste caso é importante, já que é neste módulo que irão residir e se instalar as bactérias nitrificantes, responsáveis por transformar a amônia em nitratos, compostos utilizados pelas plantas em seu desenvolvimento.
Sistema ou Subsistema Hidropônico	Neste módulo, serão cultivados os vegetais de interesse. A água neste ponto, já filtrada pelo biofiltro, terá os nutrientes em sua maioria já em forma de nitratos, aptos a serem absorvidos pelas plantas
“Sump”	Este módulo é o ponto mais abaixo do sistema como um todo. É neste ponto em que a água será bombeada de volta para o tanque de criação, reiniciando o sistema.
Aerador	Este sistema serve para oxigenar a água, sendo necessário tanto para os peixes, que precisam da oxigenação para sobreviver, bem como a maioria dos seres vivos, como para as raízes das plantas.

Entretanto, é essencial salientar a existência de vários tipos diferentes de aquaponia, cada um adaptado a diferentes técnicas e necessidades, não obrigatoriamente seguindo o modelo anterior (BROOKE, 2018).

A aquaponia, ao contrário do que se pode pensar é uma técnica muito antiga, há debates que sugerem o fato de nas Ilhas Astecas, também nomeadas como Chinampas, serem consideradas as primeiras formas de aquaponia. Neste sistema, as plantas eram cultivadas em ilhas geralmente fixas, podendo ser móveis. O ambiente geralmente era lântico e de águas rasas, onde a matéria orgânica era colocada e também utilizada para regar o cultivo (ZUGRAVU *et al.*, 2019; CROSSLEY, 2004).

Em países do extremo oriente, como a China e a Tailândia, também era comum a utilização de técnicas muito semelhantes à aquaponia atual, em que peixes eram criados principalmente junto com arroz em campos inundados (ZUGRAVU *et al.*, 2019).

As vantagens do uso da técnica da aquaponia tratam-se principalmente da questão dos excrementos de criaturas aquáticas, mas principalmente peixes. Já que, a maioria destes seres libera amônia diretamente na água, o tanque torna-se insustentável para criação caso não filtrada, ou reciclada, pelo motivo da amônia ser extremamente tóxica a esses animais. Entretanto, com o cultivo vegetal em associação com este tipo de criação, tem-se duplo benefício, já que, as plantas são capazes de absorver nutrientes nitrificados a partir da amônia, que lhes é imprescindível para o crescimento, e a criação de peixes tem a água do tanque filtrada, já que, as bactérias convertem a amônia em nutrientes mais adequados para os vegetais, e esses por sua vez o absorvem, renovando assim a água dos seres aquáticos, diminuindo sua toxidez (BAGANZ *et al.*, 2021; OLIVEIRA, 2016).

Todavia, é importante ressaltar o fato de que muitas vezes torna-se necessária a presença de um biofiltro e mesmo um filtro mecânico, cuja função, no caso do último, será de reter partículas e impurezas capazes de entupir e prejudicar o sistema. Já a função do biofiltro, é o de possuir maior área e condições mais próximas ao ideal para favorecer a retenção e proliferar bactérias nitrificantes, cuja função por sua vez é converter a amônia em nitritos úteis às plantas (OLIVEIRA, 2016; CARNEIRO *et al.*, 2015; SILVA, 2016).

Muitos países ao redor do mundo tem estudado a possibilidade do uso da aquaponia, seja por questões da carência de nutrientes, econômicas ou de saúde pública, como por exemplo a carência de monitoramento em relação à utilização de químicos em produtos de consumo humano. Com essa problemática, a ONU desenvolveu os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que são compostos por objetivos e metas que contemplam ações ambientais, econômicas e sociais (ONU, 2021; ONU, 2015; EMBRAPA, 2015; QUEIROZ *et al.*, 2017).

A aquaponia, neste contexto está de acordo com a Agenda 2030, nos seguintes ODS: ODS 1: Erradicação da Pobreza; ODS 2: Fome Zero e Agricultura Sustentável; ODS 4: Educação de Qualidade; já que, o conhecimento da aquaponia implica na educação de crianças, jovens ou adultos sobre as técnicas, processos e agricultura sustentável. ODS 6: Água Potável e Saneamento; ODS 11: Cidades e Comunidades sustentáveis; Além da

possibilidade de desenvolvimento de projetos para sistemas de aquaponia com baixo investimento, capazes de oferecer alimentos livres de químicos, como peixes e vegetais, ainda podem ajudar pessoas residentes em áreas de adversidades climáticas, como regiões propensas a altas salinidades, ou ainda inundações, por exemplo (ONU, 2021; ONU, 2015; ANDRADE *et al.*, 2021).

Ainda, existem estudos apontando a eficiência econômica do uso da aquaponia em escala comercial, porém, apesar desta ser a realidade de países desenvolvidos como a Alemanha e França, ainda há pouca disseminação desta prática no Brasil (QUEIROZ *et al.*, 2017).

Ainda existem exemplos, de utilizações das técnicas da aquaponia na Faixa de Gaza, em Israel. Como esta região passa por recorrentes conflitos, a área destinada para cultivo acaba comprometida, sendo que, neste caso o sistema aquaponico passa a ser utilizado em telhados, o mais adequado para esta situação (FAO, 2014; FAO, 2015; DANTAS; MAIA, 2020).

A aquaponia ainda tem a vantagem de gerar empregos em muitos casos, já que possivelmente precisa de pessoas e treinamento para cultivar em maior escala, além de manutenção e monitoramento em determinados sistemas. Neste contexto, já existem iniciativas não governamentais focadas na aquaponia, muitas vezes na África e na Ásia, voltadas frequentemente para famílias e comunidades em condições de vulnerabilidade social e/ou carência de alimentos e nutrientes (FAO, 2014; FAO, 2015; DANTAS; MAIA, 2020).

As vantagens da produção descentralizada de alimentos vão desde logística até a minimização de perdas e alimentação mais saudável (MALUF *et al.*, 2015; CORRÊA, 2018). Como se sabe, na agricultura moderna, quando um cultivo é colocado a céu aberto, o mesmo é dependente de condições climáticas, como temperatura e pluviosidade, porém, em sistemas, como estufas, a aquaponia e a hidroponia, tem-se o maior controle da cultura, podendo-se cultivar determinada planta, mesmo que sazonal, o ano todo (RESH, 2022) (SOGLIO; KUBO, 2016).

3.3.1 Aquaponia DFT

A aquaponia de DFT é um dos principais tipos, baseia-se em uma jangada flutuante, pode ser de poliestireno expandido, no qual são colocados os vegetais, servindo-lhes de apoio, enquanto coletam água e nutrientes diretamente do tanque abaixo (QUEIROZ *et al.*, 2017; RESH, 2022).

Este sistema também tem o nome de cultura em águas profundas (DWC - Deep Water Culture). Também é usado em aquaponia comercial ou de larga escala, devido à sua praticidade (BROOKE, 2018; BROOKE, 2023).

Neste sistema DFT, a água com nutrientes passa pelos canais com em média 20cm, enquanto as jangadas (podendo ser feitas de qualquer material flutuante) ficam na parte superior flutuando. Como as raízes dos vegetais ficam no tanque com água, que por sua vez está cheia de nutrientes e O₂, absorvem tais substâncias crescendo rapidamente. A água com nutrientes geralmente circula do tanque de peixes, com a ajuda de uma bomba, sendo filtrada pelo biofiltro, e enviada para o tanque com as jangadas, completando o ciclo com a água retornando para o tanque de peixes (QUEIROZ *et al.*, 2017; BROOKE, 2018).

Na maior parte dos casos, o tanque de peixes costuma estar separado do tanque com as jangadas, já que, caso o tanque de peixes seja o mesmo onde estão as jangadas, é possível dos peixes se alimentarem dos vegetais cultivados, principalmente das raízes, além da amônia não passar pelo biofiltro, tendo como consequência o não processamento, ou processamento menos eficiente da amônia nas substâncias melhor adequadas às plantas (BROOKE, 2018; BAGANZ *et al.*, 2021; OLIVEIRA, 2016).

As bactérias nitrificantes instalam-se principalmente no biofiltro de forma mais aglomerada e concentrada, já que o biofiltro é construído e projetado de maneira a favorecer melhor instalação e sobrevivência desses microrganismos, de forma que sua presença se torna importante, processando/convertendo a amônia em nitritos de forma mais eficiente e rápida. Entretanto, pode-se afirmar que tais bactérias estão presentes em todo o sistema, apesar de maneira mais dissipada, ou mesmo irregulares (SILVA *et al.*, 2018; BROOKE, 2018; OLIVEIRA, 2016).

Assim sendo, o sistema DFT é usado por muitos produtores comerciais, já que permite o crescimento das plantas com maior velocidade e eficiência, melhorando e culminando em mais colheitas (QUEIROZ *et al.*, 2017).

Tabela 2: Vantagens e Desvantagens Gerais do Sistema de Aquaponia DFT. Fonte: Adaptado de Brooke (2018).

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Bom custo benefício	Cultivo limitado à pequenas hortaliças
Raízes mais expostas à nutrientes	Inadequado para determinados cultivos
Simple e econômico de construir	Favorece desenvolvimento de mosquitos caso não receber devida manutenção, porém Guppies ou peixes mosquitos podem ser usados

Colheita mais fácil	Água pode evaporar, necessária manutenção
Qualidade e temperatura mais estáveis	Como raízes estão submersas, faz-se necessário manutenção
Fácil manutenção	Filtração aumenta os custos, necessária a limpeza do filtro, caso se esteja usando filtro e não leito de mídia
Adequado para várias necessidades	Raízes podem sofrer herbivoria pelos peixes (caso não estejam no tanque à parte) ou microbianos
Mais peixes podem ser criados	Pouca área para crescimento de bactérias benéficas
	Pode se tornar necessário O ₂ por aeração, já que as raízes estão submersas e consomem O ₂ da água

3.3.2 Aquaponia MBT

Este tipo de aquaponia é um dos mais simples, também entendido como “aquaponia de circuito fechado” ou ainda “Grow beds”, no qual resume-se em vegetais cultivados em mídia sólida, como cascalho, areia grossa, argila expandida, rocha de lava, servindo de forro, que por sua vez é abastecido com água da criação de peixes. Este sistema também é chamado de “recirculante”, já que a água flui por um ciclo constante entre as “camas de cultivo” e o reservatório com peixes (BROOKE, 2018).

Este tipo de aquaponia é adequado para vegetais exigentes e altos, como, por exemplo, o tomate, a pimenta, o pepino, o repolho, a couve-flor. Neste sistema geralmente não se usa o biofiltro como um módulo separado, já que a mídia física “Grow beds” em que os vegetais são cultivados, muitas vezes já fazem o papel do filtro, segurando a maioria dos resíduos e também ajudando a hospedar e proliferar as bactérias nitrificantes, responsáveis por converter a amônia em nitritos adequados ao cultivo (BROOKE, 2018; ANDRADE *et al.*, 2021).

É importante ressaltar que esse tipo de cultivo precisa de grande área de superfície, ou seja, demanda maior espaço, para o melhor crescimento das bactérias nitrificantes, além disso, o pH dos materiais usados devem ser neutros e inertes (BROOKE, 2018).

Tabela 3: Vantagens e Desvantagens Gerais do Sistema de Aquaponia MBT. Fonte: Adaptado de Brooke (2018).

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Um dos mais baratos e simples	Para construir um meio de boa qualidade, maior investimento torna-se necessário
Adequado para vários tipos de cultivo, desde hortaliças até plantas frutíferas maiores	Na mídia física, os espaços porosos existentes neste meio podem entupir com o tempo, prejudicando as condições para bactérias aeróbicas, além da aeração das raízes
Suporta melhor personalização para diferentes demandas e necessidades	Assim sendo, pode exigir limpeza ,ou troca, periódica da cama de cultivo
Pode usar matérias recicláveis	Apesar de ser possível usá-lo em escala comercial, é pouco selecionado para este fim, já que tem menor produtividade e maiores desafios para adaptação em larga escala
Adequado para diversos fins e necessidades, desde hobby, jardins, até produção comercial	Camas de cultivo precisam de estrutura rígida e reforçada para sustentar a mídia física
Camas de cultivo tem três funções de filtragem: <ol style="list-style-type: none"> 1. Remove os resíduos sólidos através da filtração mecânica 2. Quebra de resíduos sólidos (mineralização) 3. Age como biofiltro 	

O sistema de aquaponia alternante é muito semelhante ao sistema de aquaponia recirculante, descrito no tópico acima, a única diferença é sua característica de inundar e drenar o cultivo periodicamente, por isso, este sistema também é conhecido como “Flood and Drain”. Isto acontece, porque determinados tipos de cultivo não podem ter as raízes em meios constantemente alagados, prejudicando seu desenvolvimento. Desta forma, o sistema flood and drain acaba sendo mais adequado dependendo do vegetal cultivado (BROOKE, 2018).

Desta forma, as vantagens e desvantagens acabam sendo muito semelhantes ao sistema recirculante, com a diferença do tipo cultura (BROOKE, 2018).

3.3.3 Aquaponia NFT

O sistema NFT (Técnica do Fluxo Laminar de Nutrientes), também conhecido como cultivo em canaleta, é um dos sistemas de aquaponia de maior popularidade, devido à sua simplicidade e eficiência. De forma resumida, funciona como um sistema de canos, ou canaletas, que dão suporte para o crescimento vegetal. É feito um furo nestes canos, nos quais são inseridas as plantas, de modo que dentro dos mesmos flui uma diminuta camada de água com nutrientes, que por sua vez é absorvida pelas raízes dos vegetais anteriormente inseridos nos tubos e cultivados no sistema (QUEIROZ *et al.*, 2017; RESH, 2022).

Este método é comumente utilizado para o plantio de hortaliças, folhas como a rúcula, a alface, a acelga, plantas que de forma geral tem raízes menores, porém, o sistema também é capaz de suportar plantas como o tomate e pimentas, dependendo de seu projeto e construção. Tal sistema é muito considerado em perímetros urbanos, onde a produção de alimentos é necessária e o espaço é limitado, considerando-se o cultivo vertical (RESH, 2022; BROOKE, 2018; OLIVEIRA, 2016).

De maneira mais detalhada, a água sai dos tanques de peixes carregada com amônia, passa por um filtro mecânico, que neste caso é extremamente necessário, juntamente com um biofiltro, já que não há área suficiente para o desenvolvimento eficiente e necessário de bactérias nitrificantes. No sistema NFT fechado, a água passa diretamente pelos canos do sistema NFT e volta para o tanque de peixes. No sistema NFT aberto, a água é descartada após passar pelas raízes. Tais raízes, podem crescer de maneira desordenada e/ou descontrolada dentro dos canos, podendo causar prováveis entupimentos principalmente em canaletas, sendo este sistema recomendado principalmente para hortaliças com menores raízes (QUEIROZ *et al.*, 2017; BAGANZ, 2021; RESH, 2022).

Recapitulando, depois de passar pelo filtro físico, a água passa pelo biofiltro, que além de ajudar a reter mais partículas de impurezas, tem a principal função de converter a amônia em nitritos, nutrientes adequados às plantas. O biofiltro é geralmente um compartimento com meio poroso e extremamente aerado, com área suficientemente volumosa, a fim de favorecer a hospedagem e desenvolvimento das bactérias nitrificantes aeróbicas, que apesar de estarem presentes em todo sistema, são mais favorecidas pelo meio do biofiltro, de forma a se instalarem e proliferarem neste meio com maior facilidade e eficiência (BAGANZ, 2021; RESH, 2022; OLIVEIRA, 2016).

Por fim, a água flui em finas camadas pelos canos com os sistemas NFTs, e neste ponto é filtrada pelas raízes das plantas em cultura, que usam os nutrientes contidos na água para seu desenvolvimento. O menor fluxo de água corrobora para que o processo

descrito seja mais eficiente, devolvendo a água filtrada de volta para o tanque de peixes. É importante destacar que o desenvolvimento das raízes vegetais melhora a eficiência de filtragem, funcionando de certa forma como um segundo biofiltro, desta vez purificando a água do tanque de peixes, antes que retorne a este meio (QUEIROZ *et al.*, 2017; BAGANZ, 2021; RESH, 2022).

O ciclo se fecha quando a água do tanque de criação transborda com a reentrada da água do sistema NFT, fazendo a água seguir novamente para o filtro sólido. Por esse fluxo constante de água, tal sistema não carece de sistema de inundação, já que o ritmo constante de água do tanque para os NFTs cumpre com seu objetivo. Entretanto, neste sistema é possível fazer com que a água flua constantemente pelos canos NFT, ou em intervalos desejados (QUEIROZ *et al.*, 2017; BAGANZ, 2021; RESH, 2022).

Tabela 4: Vantagens e Desvantagens Gerais do Sistema de Aquaponia NFT. Fonte: Adaptado de Brooke (2018).

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Como parte das raízes ficam expostas, estas recebem bastante O ₂ , o que evita o apodrecimento das raízes	Raízes das plantas podem eventualmente entupir o canal, causando deficiência de nutrientes para as plantas mais distantes no canal
Fluxo contínuo de água evita o acúmulo de sólidos e impurezas nas raízes, de forma que os nutrientes estão sempre disponíveis, aumentando sua saúde, crescimento e produtividade	Temperatura da água instável, já que a camada de água é muito tênue e estão sujeita a maiores variações de temperatura
Como o fluxo de água é constante, o desenvolvimento de fungos é dificultado	Maior dependência da bomba d'água, já que se a mesma falhar, as plantas não tem acesso aos nutrientes e água. Se este problema crítico não for resolvido em tempo ágil, os vegetais murcham e morrem rapidamente
	Opções de cultivo mais limitadas, pois apenas plantas com raízes menores são mais adequadas à este sistema, já que, raízes maiores tem maiores chances de entupir e falhar o sistema, não sendo adequadas para este cultivo

3.3.4 Aquaponia de Gotejamento

O sistema de gotejamento, também conhecido como “Dutch Bucket”, em resumo são vegetais plantados em baldes ou vasos com substratos, como, por exemplo, fibra de coco, de forma que a água da aquaponia goteja constantemente neste meio. Este sistema é um dos mais adequados para o plantio de plantas com alta exigência de drenagem, como, por exemplo, a pimenta e o tomate (YANG; ALTLAND; SAMARAKOON, 2023).

De forma mais detalhada, uma série de baldes é conectada com canos em sua parte inferior. A água de criação de peixes passa pelo filtro, para remoção de seus resíduos sólidos e pelo biofiltro para conversão da amônia em nitritos necessários às plantas. Após isso, a água continua a ser bombeada por canos que ficam acima dos vasos. Tais canos possuem orifícios em sua parte inferior, suficiente para permitir o gotejamento nos vasos que ficam logo abaixo, umedecendo os vegetais em cultivo com esta água rica em nutrientes (YANG; ALTLAND; SAMARAKOON, 2023; RAHMAWATI; DAILAMI; SUPRIATIN, 2021; SAYDI *et al.*, 2022).

A água residual que sobra no fundo destes vasos é coletada pelos canos conectados na parte inferior dos mesmos, e conduzida novamente ao tanque de criação de peixes. Como as raízes das plantas não interferem no sistema, e também por haver mais espaço, já que estão sendo cultivadas em vasos independentes, há maior tolerância e abrangência de cultivo, podendo até mesmo ser cultivadas desde tomates até pequenas árvores frutíferas, claramente dependendo do tamanho do balde usado e do espaço disponível para o cultivo (YANG; ALTLAND; SAMARAKOON, 2023; SAYDI *et al.*, 2022).

As plantas com característica de vinha são as mais adequadas para se desenvolver em um sistema de gotejamento, como principalmente os tomates. Entretanto, feijões, berinjelas, pimentões e pequenas árvores frutíferas também são escolhas plausíveis (YANG; ALTLAND; SAMARAKOON, 2023; SAYDI *et al.*, 2022).

Tabela 5: Vantagens e Desvantagens Gerais do Sistema de Aquaponia Gotejamento. Fonte: Adaptado de Brooke (2018).

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Colocar ou remover plantas torna-se fácil, resultando em maior adaptabilidade	Maior probabilidade de crescimento de algas e fungos nas raízes vegetais, devido à disposição do substrato.
Pouco uso de água	Doenças podem se espalhar fácil e rapidamente, ainda mais em caso de estufa
Baixo custo inicial, maioria dos materiais	Variações térmicas podem afetar o sistema

de fácil acesso	dependendo da mídia escolhida para o cultivo, precisando adotar medidas de resfriamento
Eficiente	
Pode possuir até mesmo pequenas árvores e arbustos frutíferos	

3.3.5 Canteiro de Subirrigação

Esta forma de cultivo, também recebe o nome de “wicking beds”, são basicamente caixas impermeáveis que guardam água da aquaponia em seu fundo, irrigando todo substrato por capilaridade. Por essa característica, podem ser usadas para o cultivo de beterrabas, batatas, cenouras, ou mesmo cebolas (BARAS, 2018; DATTA, 2015; BROOKE, 2018).

Neste sistema, a fibra absorvente é colocada na parte mais inferior do tanque impermeável de forma que a água possa subir por este material por capilaridade. Acima é colocado solo, por esta razão, esta técnica é conhecida como aquaponia com solo. A água sai bombeada do tanque de criação de peixes e passa pelo filtro físico e biofiltro, que cumprem praticamente as mesmas funções dos filtros dos tópicos anteriores. Esta água é bombeada para baixo do tanque, evitando contaminantes na área de absorção (BARAS, 2018; DATTA, 2015; BROOKE, 2018).

Um dos pontos desse sistema é em regiões de deserto, já que a água não pode evaporar, já que está na parte mais submersa do sistema. Esta água, diferentemente dos outros sistemas é bombeada apenas uma vez por semana geralmente e não pode ser devolvida ao tanque de criação (BARAS, 2018; DATTA, 2015; BROOKE, 2018).

Tabela 6: Vantagens e Desvantagens Gerais do Sistema de Aquaponia de Subirrigação.

Fonte: Adaptado de Brooke (2018).

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Grande espaço para cultivo	Água não pode ser devolvida ao tanque de criação, precisando ser substituída
Sistema simples de ser feito	Excesso de umidade pode prejudicar o crescimento de determinadas culturas
Economia de água	Pode custar mais caro dependendo do tipo de cultura e necessidade
Controle de ervas daninha, já que o sistema	Menos possibilidades de adaptação

é alimentado por baixo	
Baixa manutenção	

3.3.6 Outros tipos de Aquaponia

Existem várias adaptações da hidroponia, dependendo dos recursos, necessidade e peculiaridades de cada região. Da mesma forma, existem diversas adaptações da aquaponia, assim como descritas nos tópicos acima (BROOKE, 2018). Uma das adaptações possíveis e abordada no presente trabalho, aponta a possibilidade do uso da *Azolla caroliniana* para fixação de nutrientes, ao invés do uso da amônia liberada pelos peixes.

Como foi analisado nos tipos mais conhecidos de aquaponia acima, muitas vezes fez-se necessário o uso de biofiltros para transformação da amônia em nitritos, para que as plantas possam absorver e se desenvolver melhor (SILVA *et al.*, 2018; OLIVEIRA, 2016). Entretanto, com o uso da *Azolla caroliniana*, o uso de filtros torna-se menos necessário, já que não serão produzidos tantos resíduos, pois a cianobactéria *Anabaena azollae* Strasburger é capaz de fixar o nitrogênio atmosférico (RUSCHEL, 1990).

Assim sendo, a manutenção nos sistemas pode ser notoriamente reduzida, além de serem mais simplificados e acessíveis, já que se diminui ou mesmo descarta-se a presença de filtros. As vantagens e desvantagens abordadas em cada tópico, servirão de referência para a adaptação dos sistemas aquaponicos com a *Azolla caroliniana*, ainda dependendo da necessidade de cada cultura, agricultor ou região. Além disso, os modelos de aquaponia e suas peculiaridades apresentadas irão servir de ajuda, como comparação posterior neste mesmo trabalho, a outros sistemas de cultivo, principalmente em relação à risicultura, por ser a que melhor se adapta à *Azolla caroliniana* (RUSCHEL, 1990; BROOKE, 2018).

3.3.7 Custos Gerais de Implantação e Manutenção, Projeção Geral de Ganhos

Os custos de implantação de cada técnica de aquaponia dependem muito da região onde serão realizadas, da proporção, da técnica e sua adaptação, preço dos materiais em cada comércio, além de seus custos de manutenção. Ganhos certamente dependem dos fatores anteriores. Desta forma, nas tabelas a seguir serão apresentados os custos gerais de implantação de um sistema de aquaponia, como custos gerais dos equipamentos, montagem, além da manutenção, e alguns dados gerais de ganhos, baseados em sistemas NFT.

Na tabela 7, tem-se os preços de matérias e mão de obra de um sistema NFT, sendo este o investimento inicial de implantação:

Tabela 7: Custos gerais de implantação de um sistema NFT. Fonte: Rocha *et al.* (2022).

Discriminação	Unidade	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor total (R\$)	%
Estufa	Unidade	1	7.692,17	7.692,17	16,7%
Montagem das estruturas	Diária	30	200,00	6.000,00	13,0%
Bancada hidropônica	Unidade	1	5.141,10	5.141,10	11,2%
Sump e abastecimento	Unidade	1	4.857,97	4.857,97	10,5%
Tanque: tubos e conexões ¹	Unidade	1	4.078,58	4.078,58	8,9%
Licenciamento Ambiental e Elaboração de projeto ²	Verba	1	3.576,05	3.576,05	7,8%
Sistema de filtragem ³	Unidade	1	3.420,06	3.420,06	7,4%
Soprador e saída de ar ⁴	Unidade	1	3.044,80	3.044,80	6,6%
Gerador	Unidade	1	2.268,89	2.268,89	4,9%
Bancada de germinação	Unidade	1	2.192,06	2.192,06	4,8%
Cobertura do tanque dos peixes e Sistema de tratamento de água	Unidade	1	2.005,95	2.005,95	4,4%
Utensílios para o manejo animal e vegetal	Unidade	1	664,30	664,30	1,4%
Outros custos	Verba	1	536,41	536,41	1,2%
Condutivímetro A51	Unidade	1	394,62	394,62	0,9%
Instalações elétricas	Serviço	1	200,00	200,00	0,4%
Total				46.072,97	100

Tabela 8: Custo de manutenção anual do sistema. Fonte: Rocha *et al.* (2022).

Discriminação	Unidade	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)	%
Ração Animal	Kg	6.150	3,68	22.606,00	46,8
Mão-de-obra ¹	Salário	12	1.100,00	13.200,00	27,3
Mudas e Nutrição Vegetal	Verba			5.722,35	11,8
Energia elétrica ²	Kwh	4.461	0,70	3.122,58	6,5
Formas jovens de Peixes	Milheiro	8	330,00	2.640,00	5,5
Kits de Água	Verba			737,96	1,5
Diaristas Despesa	Verba			320,00	0,7
COE - Custo Operacional Efetivo (R\$)				48.348,89	100

Tabela 9: Custos adicionais de manutenção, referentes a encargos, depreciação e juros.

Fonte: Rocha *et al.* (2022).

Discriminação	Valor Total (R\$)
Depreciação Anual (R\$)	5.382,02
Encargos sociais (direitos + seguridade rural)	1.676,40
Outras despesas	1.450,47
Remuneração do capital de giro	1.450,50
Juros sobre o capital investido	344,40
Arrendamento da terra (0,1ha)	283,91
Total (R\$)	10.587,70

Tabela 10: Ganhos brutos anuais. Fonte: Rocha *et al.* (2022)

Indicador Produtivo e de Rentabilidade	Unidade	Produto		
		Tilápia	Alface Crespa	Alface Roxa
Produção	kg e maço	4.018	8.036	4.000
Ponto de Nivelamento	kg e maço	2.839	5.678	2.826
Preço de Comercialização	R\$	14,27	2,00	2,50
Receita Bruta	R\$	57.333,81	16.072,00	10.000,00
Participação Receita Bruta	%	69	19	12
Custo Total de Produção	R\$	10,08	1,41	1,77

Ainda existem trabalhos como Dantas; Maia (2020), que apontam a possibilidade de sistemas mais acessíveis, podendo custar por volta de mil reais a até mesmo 267,62 reais de investimento inicial, entretanto, estes exemplos não se tratam necessariamente de NFT, podendo ser outros sistemas ou uma combinação de técnicas de aquaponia.

No sistema Mini, o mais barato, pode ser reproduzido com preço acessível, tanto com sua manutenção e investimento inicial:

Tabela 11: Preços de Implantação Sistema Mini e Depreciação. Fonte: Dantas; Maia (2020).

Custos Fixos			237,97
Equipamento	Preço unitário (R\$)	Quantidade	Custo (R\$)
Tambor de plástico de 200 litros	60,00/unidade	2 unidades	120,00
Bomba 100 litros/hora	27,00/unidade	1 unidade	27,00
Argila expandida	3,75/kg	10 kg	37,50
Parafuso sextavado 7/16" x 1.1/2"	1,08/unidade	4 unidades	4,32
Porca para parafusos	3,20/unidades	4 unidades	12,80
Cano PVC 20 mm	1,77/metro	1.5 metros	2,65
Cano PVC 50 mm	5,65/metro	23 cm	1,30
Cano PVC 100 mm	8,83/metro	5 cm	0,50

Tê PBS 20 mm	0,50/unidade	2 unidades	1,00	
Registro Esfera VS Soldável	3,8/unidade	1 unidade	3,80	
Flange 20 mm	8,00/unidade	2 unidades	16,00	
Redutor 20 mm	2,7/unidade	2 unidades	5,40	
Joelho 90° 20 mm	0,30/unidade	4 unidades	1,20	
Cap BSP 50 mm	4,50/unidade	1 unidade	4,50	
Sementes	1,50/pacote	1 unidade	1,50	
Custos Variáveis			29,65	
Insumos	Preço unitário (R\$)	Quantidade	Custo (R\$)	
Peixes ornamentais	1,10/unidade	25 unidades	27,50	
Ração	20,00/pacote	1 unidade	20,00	
TOTAL			286,97	
Equipamento (itens)	Preço Integral (R\$)	Preço Residual (R\$)	Depreciação	
			Ano	Mês
Tambor de plástico de 200 litros	60.00	3.00	11.40	0.95
Bomba 100 l/h	27.00	1.35	5.13	0.43
Argila expandida	3.75	0.19	0.71	0.06
Parafuso sextavado 7/16" x 1.1/2"	1.08	0.05	0.21	0.02
Porca para parafusos	3.20	0.16	0.61	0.05
Cano PVC 20 mm	1.77	0.09	0.34	0.03
Cano PVC 50 mm	5.65	0.28	1.07	0.09
Cano PVC 100 mm	8.83	0.44	1.68	0.14
Tê PBS 20 mm	0.50	0.03	0.10	0.01
Registro Esfera VS Soldável	3.80	0.19	0.72	0.06
Flange 20 mm	8.00	0.40	1.52	0.13
Redutor 20 mm	2.70	0.14	0.51	0.04
Joelho 90° 20 mm	0.30	0.02	0.06	0.00
Cap BSP 50 mm	4.50	0.23	0.86	0.07
Custos fixos			24.91	2.08

Tabela 12: Receita do sistema mini em cinco anos. Fonte: Dantas; Maia (2020)

	Itens	Subtotal (R\$)	Total (R\$)	Custo (Total/Receita Bruta) R\$
Custos fixos	Equipamentos	237,97	262,88	55.56%
	Depreciação	24,91		
Custos variáveis	Insumos	29,65	565,00	
Receita	Ornamentais*	275,00	1.490,00	
	Alface**	495,00		
	Coentro**	720,00		

Tabela 13: Tabela de Preços de Implantação Sistema Médio e Depreciação. Fonte: Dantas; Maia (2020).

Custos Fixos			324,73
Equipamento	Preço unitário (RS)	Quantidade	Custo (RS)
Caixa d'água polietileno 310 litros	135,00/unidade	1 unidade	135,00
Bomba 100 litros/hora	27,00/unidade	1 unidade	27,00
Argila expandida	3,75/kg	30 kg	112,50
Cano PVC 20 mm	1,77/metro	3 metros	5,31
Cano PVC 50 mm	5,65/metro	30 cm	1,70
Cano PVC 100 mm	8,83/metro	10 cm	0,88
Luva PVC 20 mm	0,44/unidade	1 unidade	0,44
Tê PBS 20 mm	0,50/unidade	2 unidades	1,00
Adaptador PBS com bolsa e rosca 20mm	0,65/unidade	3 unidades	1,95
Flange 20 mm	8,00/unidade	2 unidades	16,00
Registro Esfera VS Soldável	3,8/unidade	1 unidade	3,80
Luva soldável com rosca 20mm	0,95/unidade	3 unidades	2,85
Redutor 20 mm	2,7/unidade	2 unidades	5,40
Joelho 90° 20 mm	0,30/unidade	4 unidades	1,20
Cap BSP 50 mm	4,50/unidade	1 unidade	4,50
Torneira de plástico	5,00/unidade	1 unidade	5,00
Abraçadeira de nylon	0,10/unidade	2 unidades	0,20
Custos Variáveis			57,80
Insumos	Preço unitário (RS)	Quantidade	Custo (RS)
Sementes	1,50/pacote	1 unidade	1,50
Tilápias	0,21/unidade	20 unidades	6,30
Ração	50,00/pacote	1 unidade	50,00
TOTAL =			382,53

Equipamento (itens)	Preço Integral (RS)	Preço Residual (RS)	Depreciação	
			Ano	Mês
Caixa d'água polietileno 310 litros	135.00	6.75	25.65	2.14
Bomba 100 litros/hora	27.00	1.35	5.13	0.43
Argila expandida	3.75	0.19	0.71	0.06
Cano PVC 20 mm	1.77	0.09	0.34	0.03
Cano PVC 50 mm	5.65	0.28	1.07	0.09
Cano PVC 100 mm	8.83	0.44	1.68	0.14
Luva PVC 20 mm	0.44	0.02	0.08	0.01
Tê PBS 20 mm	0.50	0.03	0.10	0.01
Adaptador PBS com bolsa e rosca 20mm	0.65	0.03	0.12	0.01
Flange 20 mm	8.00	0.40	1.52	0.13
Registro Esfera VS Soldável	3.80	0.19	0.72	0.06
Luva soldável com rosca 20mm	0.95	0.05	0.18	0.02
Redutor 20 mm	2.70	0.14	0.51	0.04
Joelho 90° 20 mm	0.30	0.02	0.06	0.00
Cap BSP 50 mm	4.50	0.23	0.86	0.07
Torneira de plástico	5.00	0.25	0.95	0.08
Abraçadeira de nylon	0.10	0.01	0.02	0.00
Custos fixos			39.70	3.31

Tabela 14: Tabela de Receita do Sistema Médio em cinco anos. Fonte: Dantas; Maia (2020).

	Itens	Subtotal (RS)	Total (RS)	Custo (Total/Receita Bruta) RS
Custos fixos	Equipamentos	324,73	364,43	37.21%
	Depreciação	39,70		
Custos variáveis	Insumos	57,80	882,00	
Receita	Tilápias*	1.280,00	3.350,00	
	Alface**	495,00		
	Coentro**	720,00		

Tabela 15: Tabela de Preços de Implantação Sistema de Grande Porte e Depreciação.

Fonte: Dantas; Maia (2020).

Custos Fixos			995,90
Equipamentos	Preço unitário (RS)	Quantidade	Custo (RS)
Caixa d'água polietileno 1000 litros	289,00/unidade	1 unidade	289,00
Bombona 100 litros	45,00/unidade	2 unidades	90,00
Pedra Brita	5,00/kg	5 kg	25,00
Bomba 100 litros/hora	27,00/unidade	2 unidades	54,00
Cano PVC 20 mm	1,77/metro	12 metros	21,24
Cano PVC 50 mm	5,65/metro	12 metros	67,80
Cano PVC 100 mm	8,83/metro	24 metros	211,2
Cano PVC 40 mm	6,18/metro	6 metros	37,08
Tê PBS 20 mm	0,50/unidade	4 unidades	2,00
Tê PBS 50 mm	4,85/unidade	4 unidades	19,40
Flange 32"	11,79/unidade	1 unidade	11,79
Registro Esfera VS Soldável 20 mm	3,8/unidade	4 unidades	15,20
Luva de rosca 4 por 1/4	4,6/unidade	6 unidades	27,60
Redutor 50 mm	3,7/unidade	5 unidades	18,50
Joelho 90° 20 mm	0,30/unidade	3 unidades	0,90
Joelho 90° 32 mm	1,00/unidade	1 unidade	1,00
Joelho 90° 40 mm	2,47/unidade	2 unidades	4,94
Joelho 90° 50 mm	3,7/unidade	5 unidades	18,50
Redutor 50 mm	3,7/unidade	5 unidades	18,50
Sombrite 10x2	60,00/unidade	1 unidade	60,00
Mangueira	1,53/unidade	1 unidades	1,53
Custos Variáveis			190,00
Insumos	Preço Unitário (RS)	Quantidade	Custos (RS)
Sementes	4,50/pacote	1 unidade	4,50
Sementeira	20/unidade	2 unidades	40,00
Tilápias	0,21/unidade	50 unidades	10,50
Ração	3,00/Kg	45 Kg	135,00
TOTAL			1.185,90

Equipamento (itens)	Preço Integral (R\$)	Preço Residual (R\$)	Depreciação	
			Ano	Mês
Caixa d'água polietileno 1000 litros	289.00	14.45	54.910	4.58
Caixa d'água polietileno 500 litros	182.00	9.10	34.580	2.88
Bombona 100 litros	45.00	2.25	8.550	0.71
Pedra Brita	5.00	0.25	0.950	0.08
Bomba 100 litros/hora	27.00	1.35	5.130	0.43
Cano PVC 20 mm	1.77	0.09	0.336	0.03
Cano PVC 50 mm	5.65	0.28	1.074	0.09
Cano PVC 100 mm	8.83	0.44	1.678	0.14
Cano PVC 40 mm	6.18	0.31	1.174	0.10
Tê PBS 20 mm	0.50	0.03	0.095	0.01
Tê PBS 50 mm	4.85	0.24	0.922	0.08
Flange 32"	11.79	0.59	2.240	0.19
Registro Esfera VS Soldável 20 mm	3.80	0.19	0.722	0.06
Luva de rosca 4 por 1/4	4.60	0.23	0.874	0.07
Redutor 50 mm	3.70	0.19	0.703	0.06
Joelho 90° 20 mm	0.30	0.02	0.057	0.00
Joelho 90° 32 mm	1.00	0.05	0.190	0.02
Joelho 90° 40 mm	2.47	0.12	0.469	0.04
Joelho 90° 50 mm	3.70	0.19	0.703	0.06
Redutor 50 mm	3.70	0.19	0.703	0.06
Sombrite 10x2	60.00	3.00	11.400	0.95
Mangueira	1.53	0.08	0.291	0.02
Custos fixos			127.75	0.00

Tabela 16: Receita de Sistema de Grande Porte em cinco anos. Fonte: Dantas; Maia (2020).

	Itens	Subtotal (R\$)	Total (R\$)	Custo (Total/Receita Bruta) R\$
Custos fixos	Equipamentos	995,90	1.123,65	13.06%
	Depreciação	127,75		
Custos variáveis	Insumos	190,00	1.765,00	
Receita	Tilápias	1.920,00	22.116,00	
	Alface	7.524,00		
	Coentro	12.672,00		

3.4 Nutrientes e Fertilizantes

Os nutrientes exigidos pelas plantas são aqueles imprescindíveis para seu bom desenvolvimento, frutificação e salubridade geral. Tais nutrientes podem ser divididos entre orgânicos e não orgânicos, sintéticos ou naturais, além de dois grupos principais: Os macronutrientes e os micronutrientes. Tal classificação – macro e micro – refere-se à concentração necessária dos nutrientes no meio dos vegetais, e não à sua importância absoluta. Ainda assim, são imprescindíveis, já que servem como matéria prima de energia

e funções básicas da célula, como por exemplo, o nitrogênio (N), um macronutriente, que compõe o DNA e RNA e todos dos aminoácidos, blocos básicos de construção da célula, favorecendo até mesmo a renovação e regeneração de tecidos foliares e radiculares, além de danos causados por doenças. Entretanto, é fato que o excesso destas substâncias e mesmo seu manejo não adequado pode causar tanto ou mais prejuízo que a falta delas (PRADO, 2008; FERNANDES, 2006).

Micronutrientes são aqueles que as plantas precisam em menor quantidade para seu bom desenvolvimento, porém, ainda assim são necessários. Exemplos destes mesmos podem ser: Boro, Cloro, Molibdênio, Cobre, Ferro, Zinco, Manganês, Níquel e Cobalto (DECHEN; NACHTIGALL, 2006).

Macronutrientes são os que os vegetais precisam em maior quantidade para manter seu ciclo de vida, os principais macronutrientes são o NPK: (Nitrogênio, Fósforo e Potássio respectivamente), entretanto, o Cálcio (Ca), o Magnésio (Mg) e o enxofre (S), ainda são requisitados pelas plantas em quantidades razoáveis (PRADO, 2008; FERNANDES, 2006).

Os nutrientes para os vegetais podem ser liberados de diferentes formas, como por exemplo, rochas, excrementos animais, restos orgânicos em decomposição. Quando os elementos são extraídos de minas e rochas, podem ainda ser processado por indústrias e serem colocados diretamente no solo, ou sofrer reações químicas antes de serem absorvidas. Ainda, os fertilizantes podem ser oferecidos para os vegetais como uma única substancia, como é o caso da ureia aplicada nas culturas de arroz. Também é possível fornecer os nutrientes de maneira conjunta, no caso do fertilizante na formulação NPK, que conforme a necessidade da cultura pode apresentar as mais diversas concentrações dos principais macronutrientes (PRADO, 2008; FERNANDES, 2006; RUSCHEL, 1990).

Os nutrientes podem receber também determinadas classificações conforme suas funções e composições. Os nitrogenados são ricos em nitrogênio, os potássicos são ricos em potássio, fosfatados ricos em fósforo, mistos possuem mais de um predominante e, corretivos, como o Calcário, são usados para corrigir a acidez do solo, também oferecendo Mg para o mesmo, no processo conhecido popularmente como calagem (PRADO, 2008).

Segue o gráfico 17 mostrando a proporção da composição NPK de alguns dos principais tipos de fertilizantes usados:

Tabela 17: Fertilizantes Químicos e sua proporção de NPK. Fonte: Embrapa (2019).

Fertilizantes químicos	N (%)	P₂O₂ (%)	K₂O (%)
Uréia	44	–	–
Sulfato de amônio	20	–	–
Superfosfato simples	–	18	–

Superfosfato triplo	–	41	–
Cloreto de potássio	–	–	58
Sulfato de potássio	–	–	48
Formulação NPK 4-14-8	4	14	8
Formulação NPK 4-30-16	4	30	1

A adubação, ou fornecimento de fertilizantes pode ocorrer de diferentes formas. Uma delas, a mais antiga conhecida é a aplicação direta no solo, pode ocorrer junto com a semeadura, também aplicado como cobertura, ou ainda existe a técnica pneumática, que usa tubos conectados pela lavoura e transportam as substâncias com o empurrão do ar, de forma que mesmo a semeadura pode ocorrer com esta técnica (DIEHL, 1984; MADEIRA, 2023).

Outra técnica de adubação é através da irrigação, a fertirrigação, em que os fertilizantes são aplicados de forma líquida, por meio de pivôs ou mangueiras gotejando (DIEHL, 1984).

Mais uma técnica é a pulverização, ou adubação foliar, em que o adubo é dissolvido em meio aquoso e pulverizado (DIEHL, 1984).

No caso da hidroponia, como o cultivo é feito diretamente na água, sem a necessidade de solo, o fornecimento de nutrientes é feito também diretamente na água, em meio aquoso (RESH, 2022).

Na aquaponia, acontece de forma semelhante, já que o cultivo também é feito diretamente na água, a diferença está em um tanque de abastecimento que fornece a mesma água. Como exemplo, podemos citar os cultivos aquaponicos em que a água do tanque é usada para piscicultura, e os excrementos dos peixes, por ser diretamente amônia, acabam por fertilizar a água e o cultivo, por conseguinte (QUEIROZ *et al.*, 2017; ANDRADE *et al.*, 2021).

A hidroponia é considerada não orgânica, já que os nutrientes orgânicos são geralmente originados do esterco de animais, e ajudam a favorecer o desenvolvimento microbiano no solo (DIEHL, 1984; NACHTIGALL, 2014).

Como já ressaltado, pela hidroponia ser diretamente na água, e em um sistema hidropônico, mais controlado, uma proliferação bacteriana, ou de microrganismos em geral, poderiam significar um risco para o cultivo como um todo, gerando competição por nutrientes, ou desenvolvimento de doenças na cultura. Desta forma, o fertilizante mais adequado para este tipo de sistema seriam os minerais ou não orgânicos (RESH, 2022).

No caso da aquaponia, uma variante da hidroponia, temos um sistema de certa forma controlado, porém, até mesmo peixes podem ser criados no tanque de reserva para fertilizarem o cultivo, ou seja, fertilizante orgânico pode ser pensado para este tipo de sistema (QUEIROZ *et al.*, 2017). Desta forma, a *Azolla caroliniana*, pode ser usada neste

sistema em associação com a cianobactéria *Anabaena azollae* Strasburguer como fixadora de nitrogênio fertilizando o sistema e o cultivo (RUSCHEL, 1990).

Vale lembrar que em sistemas como a hidroponia e aquaponia, há o maior controle de nutrientes, e logo, maior possibilidade de reciclagem dos mesmos. Como o cultivo é feito diretamente em meio aquoso nos dois casos (hidroponia e aquoponia), os nutrientes são absorvidos mais facilmente pelos vegetais, pois como tais nutrientes estão dissolvidos em água e as raízes dos vegetais estão diretamente neste meio, tal absorção e aproveitamento torna-se mais eficiente (RESH, 2022).

Também é importante destacar que, em sistemas controlados, o gerenciamento de fertilizantes e o seu uso adequado torna-se indispensável, já que, caso haja falta ou mesmo excesso dos mesmos, o cultivo pode apresentar déficit em seu desenvolvimento, ou mesmo perda e morte do cultivo (PRADO,2008).

Com este pensamento, quando se considera macro e micronutrientes, pode-se levantar a Lei do Mínimo. Esta Lei, em resumo, rege as quantidades mínimas de cada nutriente exigido pelo vegetal, de forma que, a produção será limitada pela quantidade do elemento em menor concentração no solo, no caso, em meio aquoso, apresentando queda na sua produtividade, crescimento e desenvolvimento em geral. Vale lembrar, que em condições naturais de cultivo, muito outros fatores influenciam na produtividade além da concentração de nutrientes (que também são muitos), como a temperatura, o pH, a aeração do solo (NACHTIGALL, 2014; PRADO,2008).

Para exemplificar melhor esta lei, fazendo uma análise quantitativa, notar-se-á o crescimento linear do desenvolvimento da planta relacionado com a aplicação de determinado nutriente, entretanto, em dado momento, se atingirá o “plateau”, de forma que os dados de crescimento da planta permanecerão os mesmo apesar do nutriente continuar sendo aplicado. Ou seja, chegamos à conclusão que neste caso, a planta deixou de crescer devido à falta do outro nutriente necessário. Em outras palavras, se fornecermos para a planta N e K, mas o elemento P estivesse em falta, não haveria resposta no crescimento da planta, a menos que o elemento P fosse fornecido, somente deste modo a potencial resposta aos elementos N e K voltariam a influenciar no crescimento vegetal (NACHTIGALL, 2014; PRADO,2008).

Além da Lei do Mínimo, tem-se a considerar A Lei de Mitscherlich ou lei dos incrementos decrescentes, que foi desenvolvida no século XX (1909). Em resumo, esta lei trata-se de uma equação demonstrando que um nutriente quando colocado além da sua medida de equilíbrio, tem como resultado o decréscimo de uma produção. Apesar de no início, a aplicação de determinado nutriente apresentar uma resposta rápida para o desenvolvimento vegetal, dado certo limite, mesmo aumentando-se a concentração do mesmo elemento, não há resposta significativa no desenvolvimento da planta, e se a

concentração ultrapassar mais um limite, desta vez além de não crescer mais, o vegetal terá impactos negativos em seu crescimento.

Desta forma, seguindo a lógica desta lei, pode-se concluir que o excesso de fertilização é TÃO prejudicial quanto a falta dela (GOMES, 1951).

Outra lei importante que rege a correta fertilização é A Lei do Máximo, desenvolvida principalmente por André Voisin, que aponta não somente o que Mitscherlich mostra em sua lei, mas também que o excesso de determinado nutriente interfere na boa absorção de outros necessários. Em outras palavras, o excesso de determinado nutriente leva a sua toxidez e a inibição da absorção de outros nutrientes. Tal fato pode ocorrer com muita frequência com a incorreta aplicação e manejo dos fertilizantes, quando não há conhecimento a respeito da real necessidade do cultivo vegetal.

Muito deste fato ocorre porque os elementos têm processos para serem admitidos, absorvidos pelas raízes vegetais e entrarem de fato nas células das plantas. Existem plantas associadas simbioticamente com fungos, auxiliando na absorção de nutrientes. Assim sendo, quando um nutriente está em excesso, as raízes vegetais tem maior dificuldade de acessar outros nutrientes necessários.

Assim sendo, de acordo com esta lei, pode-se concluir que o excesso de fertilização é MAIS prejudicial que a falta dela (GARCIA, 2020; FIGUEIREDO *et al.*, 2008).

Por fim, ainda é importante a abordagem da lei da restituição, que em resumo, é a necessidade da reposição dos nutrientes presentes no solo, já que, com a colheita e consumo da mesma, os nutrientes foram tomados e não repostos ou reciclados, ainda mais quando leva-se em consideração a exportação, ou seja, os nutrientes sequer vão estar na mesma região (BRANDÃO *et al.*, 2021).

Na aquaponia, por exemplo, este problema se ameniza, já que, grande parte dos nutrientes são advindos do tanque de criação de peixes, e em muitos sistemas de aquaponia, a água acaba voltando para o mesmo tanque, fechando o ciclo, a não ser que a água seja descartada após passar pelos vegetais, assim como ocorre em determinados sistemas NFT, ou tenha evaporado, entretanto, ainda assim pode-se assumir que os nutrientes vieram em sua maioria do tanque de criação (ANDRADE *et al.*, 2021).

Na idade média, já existiam técnicas para manter-se a fertilidade do solo, depois da cada colheita, o solo precisava ser revolvido para que os nutrientes na camada mais abaixo do solo pudessem ser usados novamente. Ou seja, tal lei leva em consideração a questão do esgotamento do solo, que acontece principalmente pela falta do manejo adequado. Entretanto, é importante lembrar que tal processo também pode ocorrer por fenômenos naturais, como a lixiviação por exemplo, que é o processo de carregamento do

solo e dos nutrientes nele presentes pelas águas da chuva (MAZOYER; ROUDART, 2008; DIEHL, 1984).

Outro ponto importante a ser levado em consideração, é a questão da necessidade de cada cultivo, levando-se em conta as necessidades de cada planta, de forma que, o ideal para cada caso é corrigir não somente a falta, porém os excessos, para que cada cultivo seja tratado de maneira adequada com suas necessidades características (GARCIA, 2020).

3.4.1 Fertilizantes Não Orgânicos ou Inorgânicos

Os fertilizantes minerais, geralmente são sais inorgânicos com diferentes índices de solubilidade entre si, e, além disso, possuem de forma geral três categorias, conforme sua composição. Um deles é os simples, que são formados por compostos químicos e não são misturados com outros, contendo pelo menos um nutriente de rocha fosfatada. Já o fertilizante misto refere-se à mistura de pelo menos dois nutrientes simples, possuindo no mínimo dois dos três nutrientes primários (NPK). Por fim, o fertilizante complexo é feito com a mistura de pelo menos dois compostos químicos, sendo misturas resultantes de matérias primas originando novos compostos (DIEHL, 1984; NUNES; MACHADO, 2022).

A eficiência de um fertilizante está ligada com suas características de solubilidade, além das reações químicas que realizam com o solo. Os fertilizantes a base N são totalmente solúveis no solo, portanto, em contra partida, podem ser lixiviados de maneira mais fácil. Os fertilizantes a base de K também são solúveis, entretanto, apresentam menos escape por lixiviação, já que o íon do elemento é retido no solo. Já os fertilizantes a base de P tem solubilidade muito variável, dependendo de vários fatores, como o tipo de fosfato, tratamento químico ou térmico, o tipo de partícula do solo, entre outros (DIEHL, 1984; FERNANDES, 2006; NUNES; MACHADO, 2022).

A maioria dos fertilizantes é usada na forma sólida, podendo ser em forma de grânulo, farelo ou pó (DIEHL, 1984; ALCARDE; GUIDOLIN; LOPES, 1998).

3.4.2 Fertilizantes Orgânicos

Diferentemente dos Fertilizantes do tópico acima, vários materiais podem ser utilizados para produzir orgânicos. Entretanto, tais compostos precisam sofrer o processo de mineralização, já que as plantas geralmente não se utilizam de compostos diretamente na forma orgânica (DIEHL, 1984).

As vantagens destes tipos de compostos, são sua contribuição para a melhor fertilidade do solo, já que colaboram com a agregação do solo, além de sua estrutura,

drenagem, aeração, capacidade de armazenamento, além da proliferação de microorganismos benéficos no solo, que podem ajudar a decompor matéria orgânica e liberar nutrientes para os vegetais (DIEHL, 1984).

Outra vantagem da visão econômica, é o fato de possuírem maiores concentrações de nutrientes, desta forma, o armazenamento, transporte e aplicação, ou seja, a logística em geral, acaba barateada. Entretanto, os fertilizantes orgânicos cumprem melhor funções de condicionador do solo, e menos as funções de fertilizantes de fato. Assim sendo, os minerais acabam sendo mais eficientes como fertilizantes, também pelo motivo de como já estão na forma mineral, já podem ser absorvidos pelas plantas, não precisando sofrer mineralização assim como os orgânicos. Ressalta-se que diferentes fertilizantes possuem distintas peculiaridades e propriedades, os orgânicos possuem várias composições, além de diversas maneiras de mineralização no solo, o que tem como consequência uma gama de resultados possíveis de comportamentos no mesmo solo (DIEHL, 1984).

3.4.3 Solubilidade de Fertilizantes

É extremamente importante conhecer as características físico-químicas dos fertilizantes utilizados nas culturas, e principalmente sua solubilidade em água, já que se trata de hidroponia e aquaponia, onde os fertilizantes são disponibilizados diretamente na água, muitas vezes em sistemas fechados, o que implica em maior necessidade de controle e informação a respeito do sistema, para a boa saúde e desenvolvimento dos vegetais e a microbiota relacionada aos mesmos (RESH, 2022).

Para introduzir, é importante reiterar que um dos principais fatores que afeta a solubilidade em água é a polaridade da substância, já que, como a água é extremamente polar, e semelhante dissolve semelhante, as moléculas polares são as com melhor solubilidade em água, como por exemplo, o sal de cozinha: NaCl. Também é importante destacar que o fertilizante NPK é totalmente solúvel em água, de acordo com o site de venda de químicos de Fenix Agro (2023), o que aumenta sua importância para sistemas de hidroponia e também aquaponia. Entretanto, existem vários outros fatores que influenciam na solubilidade de determinada substância, no caso, os fertilizantes, como a temperatura, o pH, a granulação, a composição, a higroscopia, entre outros que serão desenvolvidos nos parágrafos a seguir (ALCARDE; GUIDOLIN; LOPES, 1998; MAHAN; MYERS, 1995; ALCARDE *et al.*, 1992).

Segue abaixo, a tabela 18 demonstrando a solubilidade em água dos principais fertilizantes usados na agricultura:

Tabela 18: Solubilidade de alguns dos principais fertilizantes. Fonte: Nunes; Machado (2022).

Fertilizante	Solubilidade (g/100 ml)
Superfosfato simples	2
Superfosfato triplo	4
Cloreto de potássio	60
Sulfato de amônio	73
Ureia	100
Nitrato de amônio	190

Na tabela 18, pode-se observar que geralmente os fertilizantes a base de nitrogênio são totalmente solúveis em água, bem como os potássicos (NUNES; MACHADO, 2022). Desta forma, pode-se concluir que os fertilizantes naturais fixados pela *Azolla caroliniana*, os nitritos, dissolvem-se facilmente na água, tendo o mesmo potencial de dissipar-se com a mesma eficiência pelo sistema.

A composição química de determinada substância, influencia o seu teor, seu estado da matéria em temperatura ambiente, sua solubilidade em água, além de uma série de outras características que influenciam no seu modo de uso e no meio aplicado. Como dito anteriormente, os fertilizantes podem ser sólidos, líquidos e gasosos, sendo o NH_3 um fertilizante gasoso, e também o único. A maioria dos nutrientes são expressos na forma de óxidos, como o CaO , o SO_3 , entre vários outros, com a exceção do N (DIEHL, 1984; PRADO, 2008; NUNES; MACHADO, 2022).

No que se refere ao teor, para exemplificar os principais fertilizantes, como o NPK, por exemplo, devem possuir no mínimo 18% de nutrientes, já os fertilizantes binários como o PK por exemplo, devem ter no mínimo 15% de teor. É importante destacar que os fertilizantes podem vir com contaminantes prejudiciais não só ao cultivo, mas em alguns casos à saúde humana, animal e ambiental, como exemplo, fertilizantes fosfatados podem estar juntos com metais pesados, como Hg e Pb, a até mesmo As. No caso da ureia, muito usada para fertilização dos meios alagados de arroz, pode vir contaminada com biureto, que pode ser prejudicial para determinados tipos de vegetais e cultivos. Assim sendo, é imprescindível reconhecer a procedência e o tipo de fertilizante utilizado (PRADO, 2008; FERNANDES, 2006; NUNES; MACHADO, 2022).

Outra característica da solubilidade de fertilizantes é o seu potencial de alterar o pH do meio enquanto dissolvidos, podendo torná-lo mais ácido ou mais básico, sendo o N aquele com maior potencial de acidificação. Para sistemas de aquaponia, especialmente enquanto sistemas fechados, torna-se de extrema importância controlar o pH do sistema, já que o pH pode alterar a solubilidade de outros fertilizantes, bem como a absorção dos vegetais, além da possibilidade de alterar o crescimento das bactérias nitrificantes, e o bom desenvolvimento dos vegetais em cultura (FERNANDES, 2006; NUNES; MACHADO, 2022).

Segue abaixo a tabela 19 demonstrando a quantidade de CaCO_3 necessária em Kg para neutralizar a acidez gerada por uma tonelada de fertilizante. Os valores negativos indicam que os fertilizantes em questão tornam o ambiente básico.

Tabela 19: Potencial de acidificação geral de alguns dos principais fertilizantes. Fonte: Nunes; Machado (2022).

Fertilizante	Equivalente CaCO_3 (kg/t)
Amônia anidra	1470
Sulfato de amônio	1100
Fosfato diamônico (DAP)	880
Ureia	840
Fosfato monoamônico (MAP)	600
Nitrato de amônio	600
Superfosfato simples	0
Superfosfato triplo	0
Cloreto de potássio	0
Sulfato de potássio	0
Termofosfato magnésiano	- 8*
Composto de lixo	- 70*

Além do pH, temperatura, e estado físico, existem outros fatores que influenciam na solubilidade, como por exemplo a granulometria. O grânulo são partículas maiores que

o farelo, que por sua vez são maiores que o pó, podendo-se afirmar que o pó possui a maior higroscopicidade (que é por definição a tendência de um fertilizante acumular água), já que, quanto menor o tamanho da partícula, maior higroscopicidade, e, por sua vez, quanto maior higroscopicidade, maior a sua solubilidade, porque a superfície de contato torna-se maior (ALCARDE *et al.*, 1992; ALCARDE; GUIDOLIN; LOPES, 1998; NUNES; MACHADO, 2022).

Entretanto, quanto maior a higroscopicidade, maior a tendência de empedramento e segregação. Isto ocorre porque, apesar de maior higroscopicidade significar maior tendência em absorver umidade da atmosfera, resultando por sua vez em maior solubilidade, esta mesma água melhora o contato entre as partículas, devido também à afinidade química entre a água e a substância fertilizante, resultando na criação de pontes cristalinas entre as partículas, que permanecem mesmo durante a secagem e ausência da água, o que pode resultar em um empedramento, visto que, desta forma, as partículas estão unidas pelas pontes formadas (ALCARDE; GUIDOLIN; LOPES, 1998; NUNES; MACHADO, 2022).

O empedramento, é justamente a cimentação das partículas, tendo como consequência massas com dimensões maiores que as partículas de origem. Além da higroscopicidade, outros fatores como temperaturas elevadas, maior altura das pilhas (favorecendo a compactação), tempo de armazenamento, menor tamanho das partículas, baixa dureza, além da umidade do ar como já ressaltado, favorecem o empedramento (ALCARDE; GUIDOLIN; LOPES, 1998; NUNES; MACHADO, 2022).

O maior problema do empedramento, principalmente em sistemas de hidroponia e aquaponia, é que, com as partículas cimentadas, ou empedradas, isto pode significar sedimentação e entupimento dos canos, gerando graves consequências para o sistema, já que a água não fluirá, ou o fará com dificuldade, resultando assim, em maior necessidade de manutenções, ou até mesmo a perda do cultivo e do sistema em casos mais extremos. Além disso, deve-se levar a consideração o nível de salinidade que estará presente no sistema, já que, fertilizantes mais solúveis tem maior salinidade, que em excesso pode resultar em fitotoxicidade, levando a morte de sementes, plântulas, prejudicando o cultivo. Assim sendo tais fertilizantes devem ser aplicados de maneira parcial, e a certa distância do cultivo, principalmente em suas fases iniciais (RESH, 2022; FERNANDES, 2006; NUNES; MACHADO, 2022).

Seguindo a lógica anterior, a dureza ou consistência dos grânulos afeta sua solubilidade, já que, quanto maior a consistência, maior sua resistência à compressão ou abrasão, tornando-se mais difícil transformá-lo em farelo ou mesmo pó (ALCARDE *et al.*, 1992; ALCARDE; GUIDOLIN; LOPES, 1998).

Entretanto, pode-se concluir a importância de fertilizantes mais solúveis em água, como, por exemplo, o nitrato de amônio, o nitrocálcio e a ureia, tornam-se mais eficientes em granulometria grosseira. Já os fertilizantes que possuem um índice de solubilidade inferior precisam ser geralmente de granulometria fina para compensar e serem mais eficientes (ALCARDE *et al.*, 1992; ALCARDE; GUIDOLIN; LOPES, 1998; NUNES; MACHADO, 2022).

Outro fator a ser levado em consideração é a fluidez do fertilizante, de forma que quanto maior a fluidez, maior sua capacidade de se mover livremente, influenciando na solubilidade. Tal propriedade pode ser afetada ainda pela rugosidade, umidade, uniformidade granulométrica, interferindo também na eficiência de distribuição dos fertilizantes utilizados (ALCARDE; GUIDOLIN; LOPES, 1998; NUNES; MACHADO, 2022).

3.4.4 Incompatibilidade de Fertilizantes

Existe uma gama de interações que ocorrem entre os nutrientes, e muitas vezes, no meio ambiente, as interações ocorrem simultaneamente, de forma complexa, refletindo diretamente na composição mineral dos vegetais (PRADO, 2008).

As causas e efeitos das interações podem ser diversos. Existe a possibilidade dos nutrientes terem o mesmo espaço na molécula transportadora da planta, não distinguindo entre os dois, podendo levar a antagonismos ou inibição, como por exemplo o K^+ e Rb^+ . Entretanto, podem ocorrer interações sinérgicas, em que um nutriente reforça a absorção de outro, como é o caso do N-K (PRADO, 2008).

Este é um dos motivos que a mistura NPK é tão usada no cultivo, já que há a aplicação de nutrientes limitantes (N-P), e nutrientes combinados (N-K), além destes elementos serem essenciais para o desenvolvimento da planta, estando presentes no DNA, RNA, ou aminoácidos básicos da célula (PRADO, 2008; NELSON; COX; HOSKINS, 2022). Abaixo segue as tabelas 20 e 21 ilustrando as interações entre os principais nutrientes:

Tabela 20: Interações entre os principais elementos presentes em fertilizantes e necessários às plantas. Sendo que, o “+” são as interações positivas, o “-” são as interações negativas.

Fonte: Prado (2008).

Nutriente aplicado	Efeito no teor foliar de												
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cl	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
N	+		+	+		-	-						
P		+	-	+			-	-	-			+	-
K			+	-	-								
Ca			-	+	-						-		
Mg		+	-	-	+						-		-
S		-				+		-				-	
B							+						-
Cl						-		+					+
Cu									+	-	-	-	-
Fe										+	-		
Mn				-							-	+	-
Mo										-		+	
Zn		-											+

Tabela 21: Demonstração da compatibilidade entre fertilizantes. Sendo que : C – compatível; R – Compatibilidade Reduzida; I – Incompatível. Fonte: Fernandes (2006).

C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	Uréia
C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	Nitrato de amônio
C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	I	Sulfato de amônio		
C	I	C	I	C	I	I	I	I	C	C	Nitrato de cálcio			
C	R	C	R	C	R	C	C	C	C	Nitrato de potássio				
C	R	C	R	C	R	C	C	C	Cloreto de potássio					
C	R	C	R	C	R	C	C	Sulfato de potássio						
R	I	C	C	C	I	C	Fosfato diamônio (DAP)							
R	I	C	C	C	I	Fosfato monoamônio (MAP)								
C	C	C	C	C	Sulfato de magnésio									
R	I	C	C	Ácido fosfórico										
C	C	C	Ácido sulfúrico											
I	C	Ácido nítrico												
C	Sulfato de ferro, zinco, cobre e manganês													
Quelato de ferro, zinco, cobre e manganês														

Outro ponto a ser levado em consideração é a qualidade da água usada na irrigação, ou no caso da aquaponia, na qualidade da água do sistema. Caso os fertilizantes certos não sejam usados, é possível causar salinidade no sistema, causando perda no desenvolvimento vegetal ou mesmo levando à perda do cultivo (PRADO, 2008).

3.5 *Azolla caroliniana*

O vegetal *Azolla caroliniana*, também conhecida como uma samambaia aquática, tem uma ampla distribuição em várias regiões das Américas, da Ásia, podendo também serem encontradas na Europa, África, Oceania, além de outras regiões do oriente, como a China e o Japão. Este vegetal desenvolve-se geralmente ambientes lênticos de água doce, como lagos e lagoas e também rios, desde que lentos. Geralmente, os vegetais do gênero *Azolla* têm a preferência de ambientes quentes, como climas temperados e tropicais (AZOLLA FOUNDATION, 2022; RUSCHEL, 1990; MADEIRA *et al.*, 2016).

A *Azolla caroliniana*, não é exigente em relação às condições para sua sobrevivência, entretanto, a temperatura ideal para seu desenvolvimento varia entre 22 a 25°C, se adaptando bem à temperaturas entre 15 a 40°C. Da mesma forma, o pH abaixo de 4,5 pode prejudicar o desenvolvimento do vegetal, sendo a acidez ideal entre 4,5 e 6,5, podendo suportar uma faixa entre 3,5 a 10 (MELO; PERIN, 1992).

O vegetal em questão possui rápido crescimento quando já adaptado a determinada região, entretanto, durante a fase de adaptação possui crescimento lento, podendo ser superada por outras espécies durante a competição. A *Azolla caroliniana* pode ser extremamente útil na questão da fertilização, além da manutenção do ambiente, entretanto, apesar de todos os seus benefícios, depois de já adaptada, se indesejada, o vegetal aquático pode se tornar uma praga, já que, como seu crescimento torna-se rápido, logo se traduz em difícil controle e/ou eliminação, de forma que, existem estudos que apontem a preocupação em sua eliminação, pelo motivo de ser uma espécie invasora em diversas regiões, principalmente na América do Norte (MADEIRA *et al.*, 2016; RUSCHEL, 1990; BHARALI *et al.*, 2021).

A *Azolla* pode servir na alimentação animal, de forma a diminuir a competição por alimentos estratégicos aos humanos, como milho e a soja, por exemplo. O vegetal *Azolla* pode servir a coelhos, gado, peixes, e ainda, há sugestões que indicam ser possível até mesmo alimentação humana, devido há sua grande capacidade nutritiva, sendo capaz de oferecer alguns dos nutrientes e aminoácidos básicos na alimentação humana, possuindo grande quantidade de vitaminas, proteínas, além de até mesmo propriedades medicinais, substâncias antioxidantes ou ainda mesmo preventivas ao câncer, sendo

consumida provavelmente há muito tempo (AZHAR *et al.*, 2018; ABDELATY *et al.*, 2021; ROY; PAKHIRA; BERA, 2016).

Apesar de a *Azolla caroliniana* possuir diversas propriedades nutricionais, é importante ressaltar que o consumo deste vegetal não se torna seguro enquanto cultivado em meio a elementos e substâncias nocivas, obviamente, como metais pesados, devido à bioacumulação*. Torna-se importante ressaltar este fato, já que a *Azolla* é também capaz de remover tais metais, como por exemplo o Pb, o Hg, purificando assim o terreno/ambiente, deixando-o mais adequado para o plantio/utilização (BENNICELLI *et al.*, 2003; ABDELATY *et al.*, 2021).

Desta forma, pode-se considerar, como exemplo, no plantio de arroz, quando o mesmo for cultivado no ambiente, se houve um pré-plantio de *Azolla*, este vegetal além de devolver os nutrientes ao meio é capaz de remover substâncias tóxicas como metais pesados, que poderiam ser absorvidos pelo arroz, que seria comercializado e disponibilizado para consumo humano, causando danos para a saúde pública (BENNICELLI *et al.*, 2003; BHARALI *et al.*, 2021).

A *Azolla caroliniana* é pouco exigente no seu cultivo, já que, o próprio vegetal associado em uma simbiose, tem a capacidade de fertilizar o ambiente em que está inserido, precisando apenas de complementações de P eventualmente, para crescimento mais rápido e saudável. Além disso, é capaz de tolerar uma grande variedade de temperaturas e condições ambientais. A respeito de sua simbiose e capacidade de fixação de N, esta característica só se torna possível graças à associação simbiótica com a cianobactéria *Anabaena azollae* Strasburguer, descrita mais detalhadamente no próximo tópico (MELO; PERIN, 1992; RUSCHEL, 1990).

3.6 *Anabaena azollae* Strasburguer

A cianobactéria *Anabaena azollae* Strasburguer é capaz de realizar fixação biológica do N, retirando este elemento da atmosfera e convertendo-o em NH_4 e posteriormente em glutamina. Separar a *Anabaena azollae* Strasburguer da *Azolla caroliniana*, torna-se possível com o uso de antibióticos para este fim, já que ambas encontram-se em uma relação simbiótica (RUSCHEL, 1990; BECKING, 1978).

A simbiose geralmente acontece pelo duplo benefício entre duas espécies, podendo ser obrigatória (uma depende da outra (mutualismo)) ou opcional, independente (protocooperação). A *Azolla caroliniana* oferece abrigo e carboidratos para a cianobactéria, enquanto esta oferece nutriente para a primeira por meio de fixação biológica de nitrogênio. Portanto, o elemento N fixado é muito maior que a quantidade utilizada pelo vegetal, de forma que o N acaba em superávit no ambiente, podendo ser utilizado por

outros seres presentes, sendo uma excelente opção para pré-plantios e cultivos combinados (RUSCHEL, 1990; PRADO, 2008; JÚNIOR; SASSON; JÚNIOR, 2011a).

3.6.1 Ciclo do Nitrogênio

O nitrogênio é um dos elementos mais necessários para as plantas, já que o mesmo compõe o DNA e o RNA, além de várias outras moléculas, aminoácidos e blocos básicos de construção da célula, inclusive processos envolvidos na fotossíntese, essencial para os vegetais (FERNANDES, 2006; PRADO, 2008; NELSON; COX; HOSKINS, 2022).

O Nitrogênio na forma gasosa (N_2) compõe 78% dos gases atmosféricos do planeta, entretanto apesar de toda abundância, o elemento é um gás inerte, significando que não reage, ou não faz novas ligações químicas com tanta espontaneidade. Isso acontece porque o N_2 - ($N \equiv N$) – Possui ligação covalente tripla, sendo a ligação covalente a mais forte das ligações químicas, favorecendo uma forte estabilidade para a estrutura e exigindo uma grande quantidade de energia para ser dissociada (VIEIRA, 2017; PRADO, 2008).

Assim sendo, o nitrogênio atmosférico não é aproveitado pela maior parte dos seres vivos, já que os mesmos não têm a capacidade de fixar este elemento. É muito comum o nitrogênio ser fixado por meio de descargas elétricas, como, por exemplo, raios gerados por tempestades, cujo processo é chamado de fixação física. No entanto, existem determinados tipos de seres vivos capazes de fazer esta fixação, denominada fixação biológica, com destaque para certas bactérias (PRADO, 2008; FERNANDES, 2006).

Por outro lado, o nitrogênio possui suas formas iônicas e orgânicas. 98% do N que estão presentes na litosfera terrestre, quase que em suma estão na forma orgânica, e outra parte presente na forma de seus íons e formas minerais: amônio (NH_4^+), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-) (FERNANDES, 2006; PRADO, 2008).

Dado o breve contexto anterior, pode-se entender que o N possui um ciclo, ou seja, passa por um caminho, uma sequência definida, passando do meio ambiente para incorporação nos seres vivos e retornando ao meio novamente. Estes processos recebem nomes característicos dos processos ocorridos: fixação (1), amonificação (2), nitrificação (3), desnitrificação (4) e assimilação (5). Tais processos serão detalhados nos parágrafos e tópicos a seguir, com maior enfoque na fixação **biológica** e na amonificação, já que são os processos que ocorrem com a *Anabaena azollae*, cianobactéria associada em simbiose com a *Azolla caroliniana* (PRADO, 2008; FERNANDES, 2006).

O primeiro processo do Ciclo do Nitrogênio, a fixação, pode ocorrer de forma física, biológica ou industrial. Na fixação física o N_2 presente na atmosfera se converte em

amônio por meio de fenômenos físicos, como raios e descargas elétricas de tempestades, por exemplo, já que tais fenômenos possuem grande quantidade de energia, suficiente para separar a tripla ligação covalente presente nas moléculas de nitrogênio, possibilitando o elemento a fazer novas ligações químicas. Este elemento, agora livre, liga-se com moléculas de oxigênio presentes no meio, formando óxidos de nitrogênio, principalmente o nitrato (NO_3^-). Tais moléculas são dissolvidas em meio aquoso, nas águas da chuva, e depositados no solo (PRADO, 2008; FERNANDES, 2006).

No caso da Fixação Industrial, a ligação de nitrogênio e hidrogênio é condicionada através de altas temperaturas e pressão, ocorrendo assim a nova química, formando a amônia (NH_3). Tal processo é bem conhecido como Haber-Bosch, e é amplamente utilizada na produção de vários produtos para agricultura e industriais (PRADO, 2008; FERNANDES, 2006).

A fixação biológica e a amonificação serão explicadas de maneira exclusiva nos próximos subtópicos, porém, um adendo é que o processo de fixação biológica é amplamente conhecido por ser executado por bactérias em associação com nódulos de leguminosas, como o feijão, por exemplo (FERNANDES, 2006; FIGUEIREDO *et al.*, 2008).

Na nitrificação ocorre a oxidação no amônio NH_4^+ que se converte por sua vez em nitrato NO_3^- . Os microorganismos nitrificantes usufruem da amônia como sua fonte de alimento (energia), e extraem o carbono do dióxido de carbono CO_2 (NANES, 2017).

Por ser um processo que ocorre apenas com O_2 , é lógico pensar que é realizado por bactérias aeróbicas (FIGUEIREDO *et al.*, 2008). Além disso, tal reação acontece em duas partes, assim como seguem as equações a seguir:



Fonte: Santos, Velho e Freitas (2020).

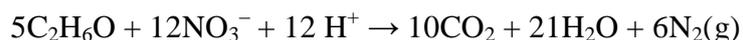
A primeira equação química, denominada por “eq. I” ocorre a nitrosação, cuja reação é resultado do metabolismo dos procariontes do gênero *Nitrosomonas*. Como resultado deste metabolismo, tem-se o nitrito, que na segunda “eq. II”, será oxidado, desta vez pelas bactérias do gênero *Nitrobacter*. Neste ponto, o resultado do metabolismo de tais microorganismos será o nitrato, e tal processo entende-se por nitratação. Tais bactérias foram selecionadas com seus respectivos metabolismos, e agora dependem deles para sua sobrevivência e ciclo de vida, retirando assim energia dos compostos nitrogenados, e o elemento C por sua vez adquirido do CO_2 . Entretanto, o contraponto é a estrita

necessidade de O₂ para suas reações químicas vitais, além de possuírem reprodução extremamente lenta comparada a outros seres (FIGUEIREDO *et al.*, 2008).

Assim como a maioria das reações químicas, influenciam os fatores do meio ambiente, como pH, temperatura ideal – 26 °C e 32 °C neste caso – disponibilidade de água, fertilização, aeração, tendo em mente que tais bactérias são aeróbicas, portanto extremamente dependentes do Oxigênio e, por conseguinte, da aeração do solo (FIGUEIREDO *et al.*, 2008).

Para que o crescimento vegetal esteja adequado, é necessária uma proporção certa entre a relação C/N, já que elevadas quantidades de resíduos orgânicos podem fazer com que os organismos que atuam na decomposição tornem-se extremamente atuantes, liberando exageradas quantidades de CO₂, e fazendo com que o nitrato e o amônio fiquem rarefeitos no solo, até eventual e praticamente desaparecerem. Assim sendo, temos um dos primeiros grandes problemas do excesso de adubação, mesmo sendo de origem orgânica. Caso a adubação seja excessiva, as plantas não serão capazes de consumir tudo que lhes foi oferecido, favorecendo o desenvolvimento de microorganismos e gases indesejados (FIGUEIREDO *et al.*, 2008; DIEHL, 1984).

O processo de desnitrificação, é a volta do N₂ para a atmosfera, fechando assim o seu ciclo. Tal processo pode ocorrer com a volatilização da amônia, que como já dito anteriormente, caso seja liberada de imediato no solo, por ser extremamente volátil, pode não deixar tempo hábil para absorção vegetal. Tal reação também pode acontecer fruto de metabolismo biológico, bem como os processos de nitrificação. Para tal, as moléculas nitrogenadas presentes ligadas ao N, são metabolizadas pelos seres desnitrificantes permitindo que volte o N volte à atmosfera. Todavia, esta etapa torna-se possível unicamente graças à metabolismos anaeróbicos, que se utilizam de nitrato e compostos a base de C para manter seus processos vitais, obtendo energia, e liberando o N novamente à atmosfera como consequência (PRADO, 2008; FERNANDES, 2006; FIGUEIREDO *et al.*, 2008). Segue abaixo as equações correspondentes:



Fonte: Santos, Velho e Freitas (2020).

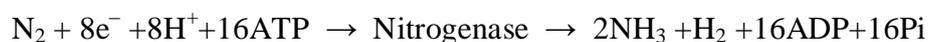
Os gases extremamente tóxicos como óxido nitroso (N₂O) e óxido nítrico (NO) podem ser sintetizados como subprodutos de tal reação. Tais gases, além de serem venenosos, contribuem para o aquecimento global, sendo assim, denominados gases traços, de forma que o óxido nitroso possui por si só capacidade 300 vezes maior do que o dióxido de carbono para a retenção de calor, sendo o terceiro gás traço mais importante,

perdendo apenas para o dióxido de carbono já citado e o metano (FIGUEIREDO *et al.*, 2008; SANTOS; VELHO; FREITAS, 2020).

Finalmente, as plantas geralmente associam o N pelas raízes e através das moléculas do amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-). Entretanto, como já dito anteriormente, a amônia (NH_3) é extremamente tóxica, e mesmo nas formas do amônio e do nitrato, nas concentrações não ideais podem favorecer o crescimento descontrolado de microorganismos e a decomposição dos fertilizantes em gases não favoráveis, prejudicando o crescimento dos vegetais e da safra como um todo (RESH, 2022; FIGUEIREDO *et al.*, 2008; FERNANDES, 2006).

3.6.1.1 Fixação Biológica

O ciclo do N tem seu início com a fixação biológica, o qual é efetuado pela ação das enzimas de microorganismos, de forma que o nitrogênio presente na atmosfera (N_2) é reduzido à amônia (NH_3). Estes microorganismos podem ser independentes ou estar associados a outro ser vivo, como no caso da *Anabaena azollae*. Tal cianobactéria, possui a enzima nitrogenase para este feito, e está associada com o vegetal *Azolla caroliniana* (PRADO, 2008; RUSCHEL, 1990). Segue a fórmula da reação abaixo:



Fonte: Santos, Velho e Freitas (2020).

O N_2 ($\text{N}\equiv\text{N}$) atmosférico, como já explicado, possui uma tripla ligação covalente, a mais forte das ligações químicas. Desta forma, para que os microorganismos sejam capazes de romper esta ligação, torna-se necessário a enzima nitrogenase, assim como a *Anabaena azollae* possui, por exemplo (VIEIRA, 2017; RUSCHEL, 1990).

Os microorganismos fixadores podem ser independentes ou estar associados em diferentes graus de complexidade com vegetais, como ocorre com a *Anabaena azollae* associada à *Azolla caroliniana*. Tais microorganismos podem ser classificados em fixadores não-simbióticos ou de vida livre (independentes), fixadores associativos, que constituem uma relação casual e pobremente estruturada com raízes ou porções aéreas das plantas, e fixadores simbióticos que fixam o Nitrogênio em associações organizadas com plantas superiores (VIEIRA, 2017; FIGUEIREDO *et al.*, 2008; RUSCHEL, 1990).

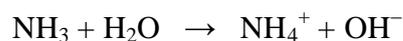
No caso da *Azolla caroliniana*, a cianobactéria *Anabaena azollae*, pode ser encontrada no interior do lobo dorsal de suas folhas, juntamente com outros tipos de bactérias, como, por exemplo, bactérias do gênero *Arthrobacter*, ou seja, existe uma

comunidade de seres fixadores vivendo nas folhas da *Azolla caroliniana* (RUSCHEL, 1990).

Existem determinados tipos de bactérias simbióticas de N, que se destacam pela eficiência e especificidade com vegetais do tipo leguminosas, os rizóbios, como por exemplo: *Rhizobium*, *Sinorhizobium* (Ensifer), *Mesorhizobium*, *Azorhizobium* e *Bradyrhizobium*. Assim sendo, algumas variáveis são decisivas para que a relação entre os simbióticos aconteça idealmente. Fatores como a presença de nutrientes (fósforo, cobalto, molibdênio, níquel), bem como a temperatura e regime hídricos certos, além da acidez, já que solo muito ácido pode prejudicar crescimento bacteriano (PRADO, 2008; FERNANDES, 2006; FIGUEIREDO *et al.*, 2008).

3.6.1.2 Amonificação

Depois da fixação, é possível o próximo passo é da Amonificação, apesar de não necessariamente seguir esta sequência estrita. Neste processo o nitrogênio orgânico, já na forma de amônia (NH_3) é mineralizado em amônio (NH_4^+) por meio de enzimas específicas e em meio aquoso. Este processo é importante, já que, a amônia (NH_3), mesma substância excretada pelos peixes ósseos, é altamente tóxica aos tecidos vegetais. Os seres vivos responsáveis por tal processo são principalmente microorganismos, tanto aeróbios como anaeróbios, porém, de forma exclusiva os heterotróficos, já que os mesmos se alimentam de matéria orgânica para obtenção de energia (PRADO, 2008; FERNANDES, 2006; FIGUEIREDO *et al.*, 2008). Segue a equação química abaixo:



Fonte: Santos, Velho e Freitas (2020).

Tal fertilização é um complemento da disposição de nitrogênio do solo, mineralizando as reservas de matéria orgânica, muitas vezes maior em comparação às demandas vegetais. Ainda, é comum categorizar os fertilizantes nitrogenados em orgânicos e químicos, de acordo com o tipo de atuação e das condições gerais de utilização (MESSIAS *et al.*, 2008).

Há hipóteses de que os fertilizantes nitrogenados minerais são classificados em quatro tipos: amoniacais, nítricos, nítrico-amoniacais e amídicos. Os nitrogenados orgânicos advêm da mineralização dos restos vegetais e animais, por meio da ação efetiva dos microorganismos presentes no meio ambiente do solo (MESSIAS *et al.*, 2008).

A ureia, por sua vez, amplamente empregada na agricultura, é caracterizada como fertilizante químico do tipo amídico, já que, quando utilizada, é rapidamente hidrolisada

através de metabolismo de bactérias, usuárias da enzima urease. Entretanto, deste modo, acaba por ocorrer de forma imediata a disponibilidade de nitrogênio no meio, sendo um fenômeno negativo, quando estudado da óptica edáfica e fisiológica, pelo motivo de potencializar sua lixiviação e auxiliar até mesmo a volatilização da molécula, quando liberada de maneira rápida (PRADO, 2008; MESSIAS *et al.*, 2008; FERNANDES, 2006).

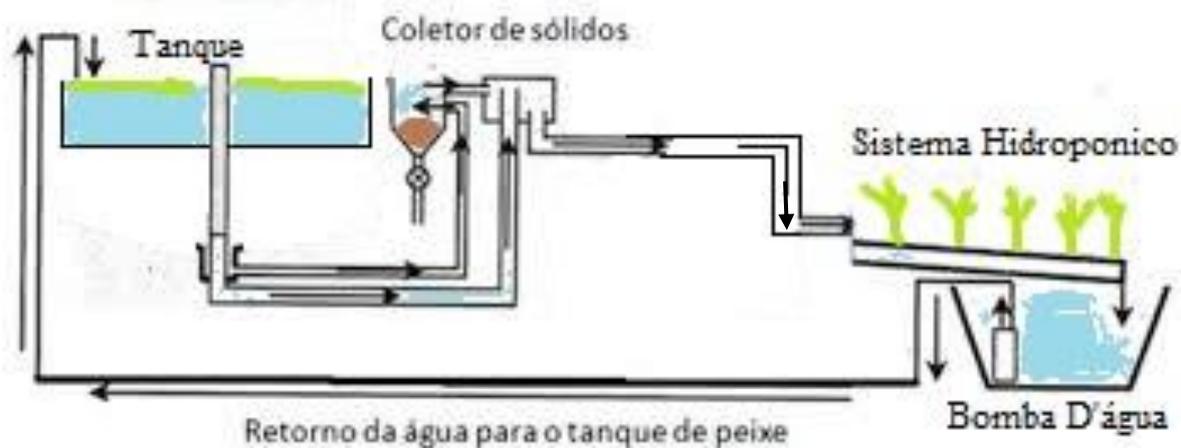
Deste ponto de vista, o uso dos fertilizantes orgânicos com matrizes de aminoácidos tem o potencial de serem mais bem absorvidos e utilizados, tendo em vista que, como sua liberação acontece mais parcialmente, as perdas acabam sendo diminuídas, colocando o nitrogênio à disponibilidade durante todo o processo metabólico, ou produtivo (PRADO, 2008; FERNANDES, 2006; DIEHL, 1984).

Pode-se concluir, que como em muitos outros processos químicos, o de amonificação possivelmente acaba sendo influenciado por condições abióticas, climático, e do meio em geral, como aeração do solo, disponibilidade de água, acidez. Entretanto, sendo um processo biológico, da mesma forma é possível ser diretamente influenciado por ações de microorganismos presentes no meio ambiente e no solo (FIGUEIREDO *et al.*, 2008).

3.7 Aquaponia e *Azolla caroliniana*

No caso da aquaponia com o uso da *Azolla caroliniana*, torna-se simples o processo de adaptação, já que, ao invés de colocados peixes no tanque de criação, coloca-se a samambaia aquática. Entretanto, deve-se ter em projeto, que o ideal é o tanque de criação não ser tão profundo, já que a *Azolla caroliniana* não precisa necessariamente de águas tão profundas para se estabelecer, porém, de maior área para alastramento, além disso, menor profundidade do tanque tende a auxiliar em uma melhor concentração de nutrientes. Como efeito de comparação, no caso da consorciação do arroz com a *Azolla* no trabalho de Ruschel (1990), apesar de não se tratar aquaponia, ainda pode-se considerar o caso do experimento feito, em que o arroz foi cultivado em apenas 5 a 7 cm de profundidade necessária para este cultivo, em conjunto com a *Azolla*, assim como melhor detalhado no próximo tópico (GOMES; JÚNIOR, 2004b). Segue abaixo a ilustração do projeto:

Figura 2: Ilustração de um projeto geral de aquaponia, com a adaptação da *Azolla caroliniana*. Fonte: adaptado de Herbert (2008).



O Bio filtro não se faz mais necessário, já que sua função era facilitar o crescimento e alojamento de bactérias nitrificantes, ou seja, que convertem a amônia em nitrito (SILVA *et al.*, 2018). Portanto, como não há criação de peixes neste caso, não há amônia para filtrar, tornando-se desnecessária a presença deste módulo. Assim sendo, tem-se um sistema mais simples que o tradicional.

O coletor de sólidos ainda se faz recomendado, já que ainda torna-se necessário conter o excesso de proliferação de *Azolla caroliniana*, em lugares indesejados do sistema, além de filtrar partículas, rejeitos, também excesso de biofilme que pode se acumular nos canos (SILVA *et al.*, 2018; RESH, 2022).

A *Anabaena azollae* é capaz de fixar 500 Kg de N ha⁻¹, além de determinadas gramíneas terem a capacidade de fixação de 30 Kg de N ha⁻¹ segundo Prado (2008), sendo um resultado extremamente promissor para a consorciação/adaptação.

Uma das culturas mais favoráveis a este tipo de consorciação, e que também é usada a mais tempo (provavelmente a milênios), é a risicultura. Diversos motivos favorecem essa combinação, um deles, o mais visível, é o fato do arroz precisar de áreas alagadas para ser cultivado, combinando assim com o habitat da *Azolla caroliniana*, vivente deste mesmo meio. Além disso, existe certa variedade de combinação de cultivo entre esses dois organismos, podendo serem cultivados juntos, ou mesmo em pré-plantio (A *Azolla caroliniana* é plantada primeiro, preparando o ambiente), assim como será detalhado de forma mais precisa nos próximos tópicos (RUSCHEL, 1990; GOMES; JÚNIOR, 2004a).

Vale ressaltar o fato do arroz sequeiro obviamente não se adaptar à hidroponia ou aquaponia, devido à sua demanda por solo seco. Além disso, novas técnicas de plantio de arroz são extremamente relevantes, devido à sua importância e impacto na alimentação, e até mesmo na cultura global (GOMES; JÚNIOR, 2004a).

3.8 Cultura Arrozeira

O arroz é um dos principais grãos consumidos no mundo inteiro, com destaque para Índia, Japão, Brasil e China, sendo a última a maior produtora e consumidora de arroz do mundo, e o Brasil sendo o maior produtor e consumidor de arroz do mundo fora da Ásia (GOMES; JÚNIOR, 2004a; BRAZILIAN RICE, 2023).

Um dos motivos de ser apreciado há milênios e por bilhões de pessoas ao redor do mundo, são suas propriedades nutricionais, segundo o USDA, o popularmente conhecido, arroz branco, é uma das principais fontes de carboidratos, principal fonte de energia para as funções biológicas do corpo humano, além de ser fonte de K, Mg, e Ca (USA, 2019; GOMES; JÚNIOR, 2004a).

Entendendo-se sua importância para o consumo humano e para o mundo, torna-se importante ter uma base de referência e ou comparação, de forma que, compreendendo-se os processos de cultivo do arroz e o comportamento da *Azolla* em consorciação, torna-se mais fácil pensar em outras possibilidades a partir da mais eficiente, prática ou promissora (CHU, 1979; RUSCHEL, 1990).

Por ser um alimento cultivado à tanto tempo, é lógico de se concluir que existem além de técnicas milenares de rizicultura, diferentes tipos de técnicas desenvolvidos para as peculiaridades de cada região (GOMES; JÚNIOR, 2004a).

No sistema convencional de plantio acontecem três etapas. A priori acontece o preparo primário e secundário do solo. A próxima etapa trata-se da semeadura do arroz, sendo esta a lanço ou feita em linhas. Na terceira etapa, tem-se a colocação da lâmina d'água, devendo ocorrer 15 dias após germinarem as primeiras plântulas de ciclo precoce e superprecoce, e em média 25 dias em cultivares que possuem ciclos médios ou tardios. É importante salientar que solos muito secos prejudicam a cultura, assim como solos muito úmidos (GOMES; JÚNIOR, 2004b).

A preparação primária do solo ocorre com o desmonte das taipas da antiga safra. Logo após, é corrigido o rastro dos colhedores e enterrado a palha do arroz, podendo operar a 40 cm do solo, e serem usados arados de disco ou aiveca (GOMES; JÚNIOR, 2004b).

No preparo secundário do solo é realizado o destorroamento, nivelamento do terreno, além do uso de herbicidas e fertilizantes, caso necessário, além da eliminação de ervas daninhas. Estas medidas visam criar um ambiente próximo ao ideal da semeadura do arroz, deixando-o mais plano possível, para que a lâmina d'água posterior seja a mais uniforme possível (GOMES; JÚNIOR, 2004b).

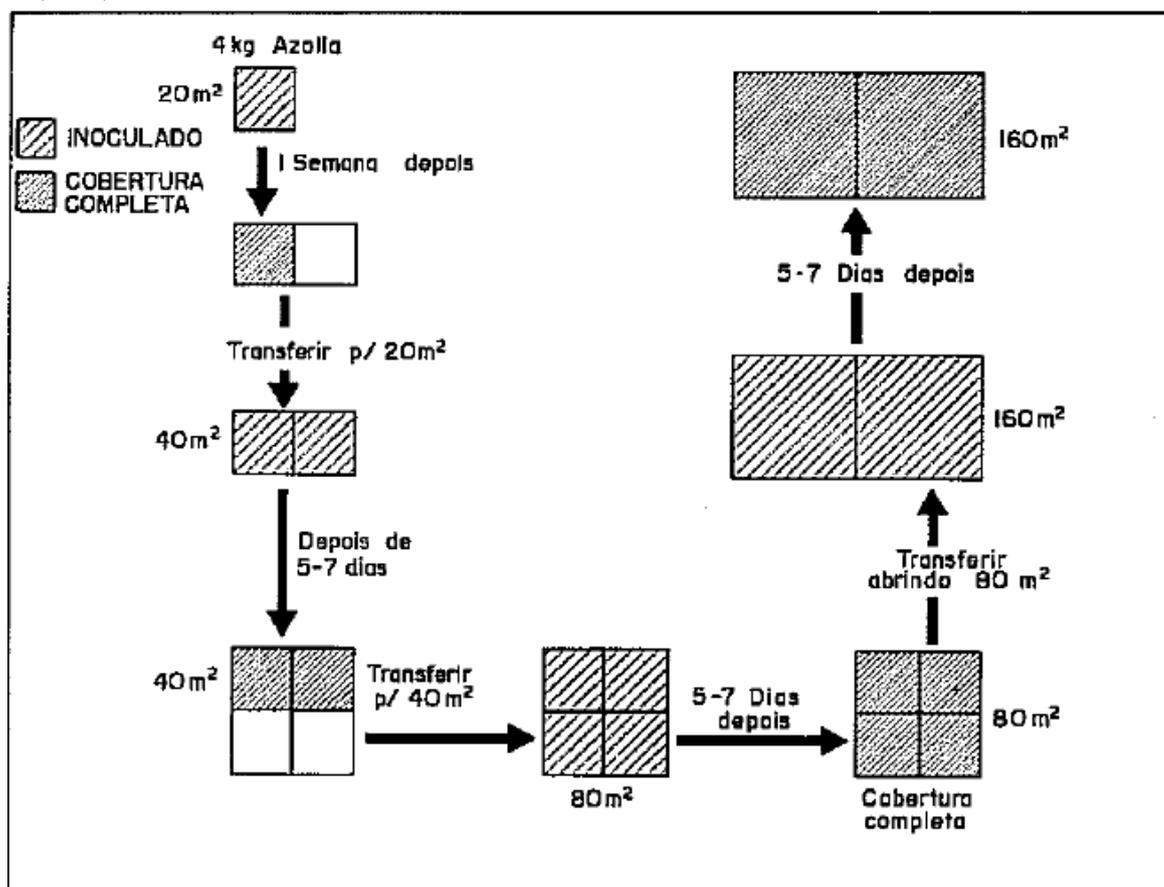
Como já dito, o arroz pode ser semeado a lanço, ou em linha, podendo as sementes estar de 2 a 5 cm de profundidade, com espaçamento médio de 17cm enquanto semeados em linha (GOMES; JÚNIOR, 2004b).

3.9 Plantio de Arroz associado à *Azolla caroliniana*

A associação da *Azolla caroliniana* em conjunto com as plantações de arroz como adubo verde já ocorre há muito tempo, existindo fontes que afirmam ser um conhecimento milenar (CHU, 1979). Entretanto, apesar desta ser uma técnica muito usada e efetiva, pode haver desafios iniciais para inocular porções de área muito extensas com a *Azolla caroliniana*, já que, a mesma pode sofrer com efeitos dos estressores ambientais, como ventos, a insolação, temperaturas, entre outras adversidades ambientais, que tornam-se mais severas em meios maiores, mais expostos, menos controlados. Assim sendo, a forma mais adequada de se inocular o meio com a *Azolla caroliniana*, seria gradualmente, ou seja, começando por áreas pequenas e aumentando o tamanho do inóculo gradativamente (RUSCHEL, 1990).

A melhor forma para o desenvolvimento inicial da *Azolla caroliniana* seria em viveiros controlados (RUSCHEL, 1990). Segue abaixo uma imagem demonstrando o método de propagação:

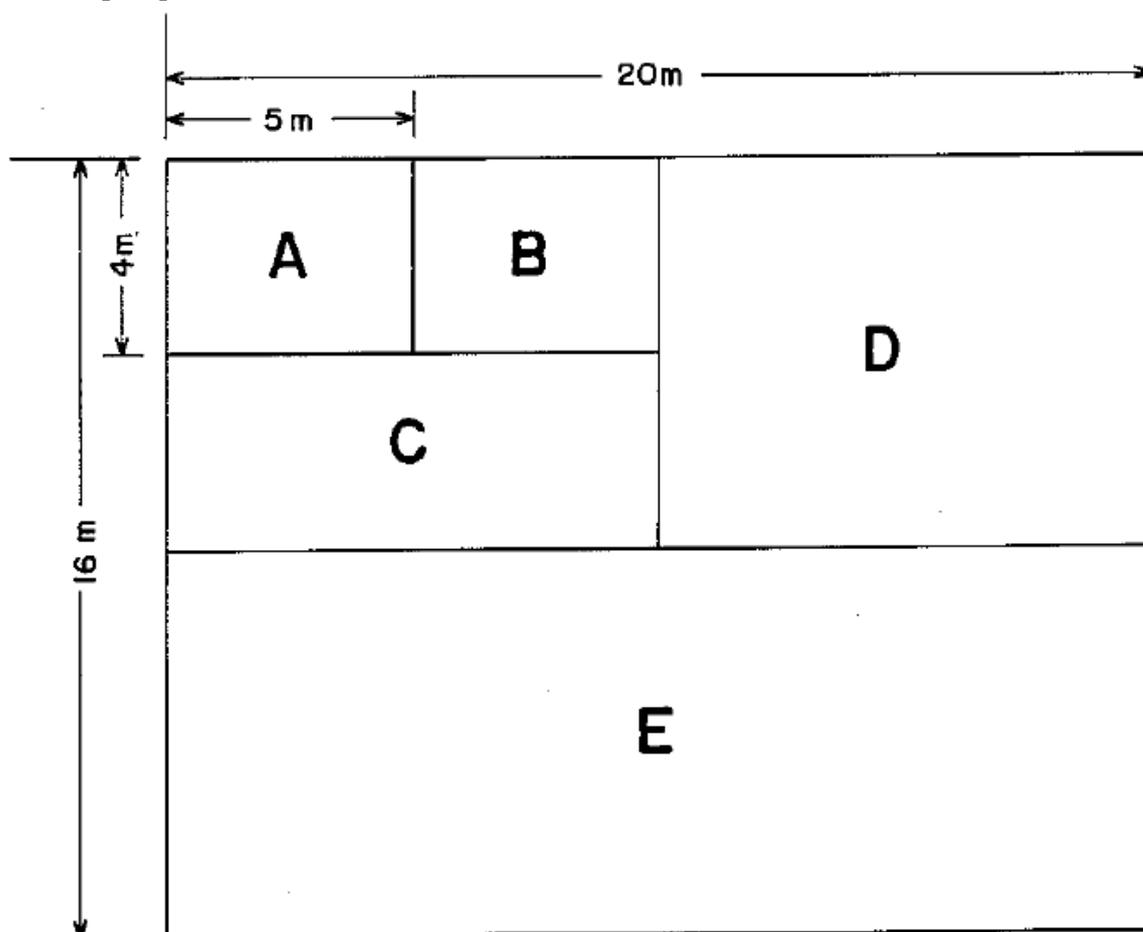
Figura 3: Ilustração de um esquema/técnica de propagação da *Azolla* em viveiro. Fonte: Ruschel (1990).



Assim sendo, da forma como foi mostrado na imagem acima, pequenas áreas são inoculadas por vez, de forma que quando são infestadas pela *Azolla caroliniana*, outra área é liberada para que se propague ainda mais, sucessivamente. Seguindo este mesmo método, com inócuo inicial de 4kg, pode-se ter dentro de 24 à 28 dias, quase um mês, uma área com 160m², com 2Kg/m², o que poderá oferecer material suficiente para 3ha (RUSCHEL, 1990).

Para que o inócuo se desenvolva no campo de cultivo, o mesmo princípio dos viveiros deve ser seguido, de forma a não começar com uma área muito grande devido aos estressores ambientais (RUSCHEL, 1990). De forma geral, pode-se seguir o seguinte passo a passo para o cultivo de arroz com o uso da *Azolla caroliniana* como adubo verde:

Figura 4: Propagação da *Azolla*, desta diretamente no campo. Inicia-se na área A e após a sua cobertura completa, as comportas vão sendo abertas de B a E. Uma nova comporta é aberta sempre que uma área está totalmente coberta. Fonte: Ruschel (1990).



Primeiramente, uma área de no máximo 200 a 300 m² é demarcada, preferencialmente perto de cursos d'água. Posteriormente, prepara-se a terra para o cultivo de arroz. Logo após, uma área de 20m² deve ser separada, destinada como área inicial da inoculação, inundando esta área com lâmina d'água de 5 a 7 cm de profundidade. Nesta primeira área inundada, será necessária a fertilização com 15kg/ha de P₂O₅ além da

inoculação de 4kg de *Azolla* neste mesmo lugar, desta forma, depois de 7 a 8 dias o local estará tomado pelo vegetal. Quando isto ocorrer, a área 1 deve ser aberta para se comunicar com a área 2, e a área dois deve ser aberta somente após uma semana, abrindo comunicação com a área 3, e assim sucessivamente até que o campo de 200 a 300m² esteja totalmente preenchido com *Azolla* (RUSCHEL, 1990).

Entretanto, esta forma de cultivo ainda é recomendada para áreas menores, e menos recomendada para produções em larga escala, geralmente maiores que 10ha, já que, será necessária mão de obra qualificada para o manejo adequado deste tipo de cultivo, além da necessidade de grande quantidade de inócuo e tempo de propagação. O controle de grandes áreas torna-se desafiador, significando aumento de custos e perda proporcional de lucros, sendo mais adequado, no caso de larga escala, o uso da ureia ou algum outro fertilizante nitrogenado (RUSCHEL, 1990).

De forma geral, há três principais métodos de cultivo de arroz e *Azolla caroliniana* como adubo verde, como demonstra a tabela abaixo:

Tabela 22: Técnicas de consorciação do arroz com a *Azolla*. Fonte: adaptado de Ruschel (1990).

Pré-Incorporação	Nesta técnica, a <i>Azolla caroliniana</i> é inoculada, se desenvolve, e dois dias antes do plantio da cultura de arroz é incorporada ao solo
Incorporação durante o perfilhamento	Neste método a <i>Azolla caroliniana</i> cresce junto com a cultura de arroz, entretanto, durante o perfilhamento, diminui-se a lâmina d'água, incorporando-se a <i>Azolla caroliniana</i> ao solo
Conсорciação	Neste caso, a <i>Azolla caroliniana</i> é cultivada junto com o arroz. A vantagem deste processo é a inibição do crescimento de ervas daninhas, devido à competição do arroz e da <i>Azolla caroliniana</i> . Entretanto, a desvantagem é a possível competição entre a <i>Azolla caroliniana</i> e o arroz por nutrientes, principalmente pelo P, imprescindível aos dois vegetais

3.9.1 Resultados

Analisando a tabela abaixo, pode-se perceber que a estratégia de cultivo mais eficiente enquanto usando ureia como fertilizante, é a de 60Kg/ha de N com transplante e perfilhamento, embora com o uso de 30 Kg/ha de N no transplante tenha-se obtido um resultado semelhante ao primeiro, com a diferença de 1 ponto (RUSCHEL, 1990).

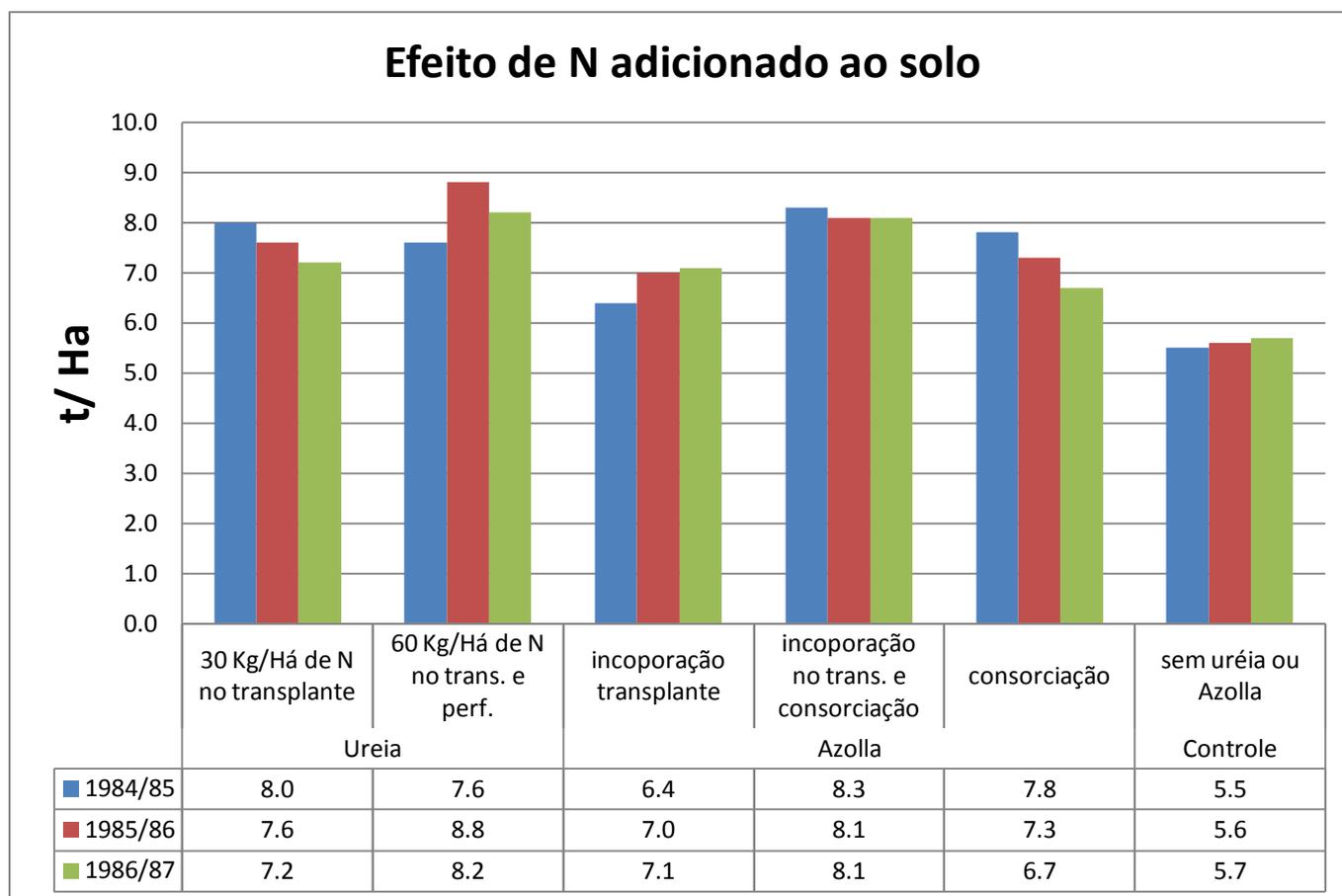
Em relação ao uso da *Azolla*, percebe-se que a estratégia mais eficiente foi a de incorporação/ transplante e consorciação, tendo resultados semelhantes ao uso de 30 Kg/ha de N em forma de ureia (RUSCHEL, 1990).

No grupo controle, podemos conferir a efetividade tanto da *Azolla* como da ureia, já que o crescimento do grupo controle, em que nada foi usado, foi claramente inferior ao crescimento dos outros grupos (RUSCHEL, 1990).

Tabela 23: Resultados da consorciação do arroz com a *Azolla* em comparação com um fertilizante tradicional (ureia) e o grupo controle. Fonte: Ruschel (1990).

Fonte de Nitrogênio	Manejo adotado	Peso de grãos (t/ha)		
		1984/85	1985/86	1986/87
Uréia	30 kg/ha de N no transplante	8,0	7,6	7,2
	60 kg/ha de N (transp. e perf.)	7,6	8,8	8,2
<i>Azolla</i>	incorporação (transp. e perf.)	6,4	7,0	7,1
	incorporação (transp.) e consorciação	8,3	8,1	8,1
	consorciação	7,8	7,3	6,7
Controle	sem uréia ou <i>Azolla</i>	5,5	5,6	5,7

Figura 5: Gráfico com os resultados da consorciação do arroz com a *Azolla* em comparação com um fertilizante tradicional (ureia) e o grupo controle. Fonte: adaptado de Ruschel (1990).



3.9.2 Discussão

O uso da *Azolla caroliniana* juntamente com a técnica mais adequada de manejo, proporcionaram resultados favoráveis, próximas ao uso da ureia tradicionalmente usada. Entretanto, ainda existem pontos e contrapontos a serem explorados e discutidos a partir dos resultados (RUSCHEL, 1990).

A *Azolla* pode ser usada como adubo verde, ou agricultura ecológica, já que não precisa da adição de mais nenhum adubo adicional, a não ser o P, elemento imprescindível para o desenvolvimento eficiente. Entretanto, existem algumas limitações nesta técnica, sendo a primeira, a dificuldade em manejar este tipo de cultivo em larga escala, ou seja, em terrenos muito grandes, maiores que 10ha, devido à necessidade de muitos Kg de *Azolla*, além de custos com mão de obra qualificada para manejo adequado, tempo para a propagação, somando uma dificuldade para grandes produtores (RUSCHEL, 1990; GOMES; JÚNIOR, 2004a).

Outra conclusão é da *Anabaena azollae* ser capaz de fixar 30 Kg/ha de N em forma de amônia, embora outras fontes, como Prado (2008) afirmem a fixação de até 40

Kg/ha. Desta forma, pode-se notar que o uso de maior quantidade de ureia, 60 Kg/ha de N acaba tendendo a ser superior que o uso da *Azolla*, embora seja ligeira diferença no estudo em questão (RUSCHEL, 1990). Entretanto, ainda segundo Prado (2008), a *Azolla* é capaz de fixar até 500kg de N ha⁻¹, além de outros fixadores livres, também gramíneas, que seriam capazes de fixar 30 kg de N ha⁻¹, algo semelhante ao resultado no trabalho de Ruschel (1990).

Outro ponto a ser colocado, são cuidados adicionais, como o revolvimento da água, a fim de manter um fluxo de água e ajudar a soltar os nutrientes, além da manutenção térmica, evitando temperaturas excessivas. Além disso, quando adicionado fertilizantes de P, estes devem possuir baixa ou nenhuma concentração de N, já que, em excesso, prejudica a fixação da cianobactéria *Anabaena azollae* Strasburguer (RUSCHEL, 1990).

Por fim, organismos fitófagos estão muito presentes devido à alta taxa nutricional da *Azolla*, de forma que aconselha-se uso controlado de Carbofuran, seguindo as prescrições e recomendações de segurança e uso mínimo (RUSCHEL, 1990).

Assim sendo, a *Azolla* é capaz de substituir o uso da ureia em certo nível, de maneira eficiente e ecológica, entretanto, possuiu vantagens e desvantagens em seu uso, ainda sendo pouco recomendada para usos em larga escala. Entretanto, ainda é uma alternativa viável para usos em aquaponia, tendo ainda a possibilidade de ser manejada na rotação arroz- *Azolla* –peixe, sendo uma prática muito comum na China. Enfim, a consorciação da *Azolla* com culturas de arroz é uma das mais adequadas e com resultados mais promissores, sendo realizado há muitos anos. Nos próximos tópicos será tratado a respeito da possibilidade de aplicação da *Azolla* em sistemas de aquaponia com a possibilidade de outros cultivos (RUSCHEL, 1990).

Para finalizar, é importante ressaltar que determinados inseticidas são inofensivos para animais de sangue quente, entretanto, tóxicos ou até mesmo letais para animais de sangue frio, como os peixes. Assim sendo, caso a consorciação seja feita com peixes, este fator deve ser levado em consideração, e o controle dos insetos cuidadosamente escolhido (MELO; PERIN, 1992).

3.10 Possibilidade e comparação de associação com outras culturas, e viabilidade

Reiterando parte do que já foi dito em tópicos anteriores de maneira mais aprofundada, uma das principais diferenças entre a aquaponia tradicional e a proposta do presente trabalho, é a utilização da *Azolla caroliniana* como principal fonte de nutrientes, ao invés dos peixes ou seres aquáticos geralmente utilizados. Com esta substituição, o biofiltro já não será tão necessário, já que, no caso dos peixes, como estes liberam amônia

diretamente na água, faz-se necessárias bactérias capazes de decompor a amônia em nitritos, utilizáveis pelas plantas, e estas bactérias por sua vez se desenvolvem melhor no biofiltro (OLIVEIRA, 2016). Entretanto, como a *Anabaena azollae* Strasburguer fixa o nitrogênio atmosférico na forma de glutamina, utilizáveis pelos vegetais, o biofiltro torna-se desnecessário, tornando o sistema mais simples. O filtro sólido pode também ser menos utilizado, todavia, ainda recomendado, já que impurezas quase sempre estão presentes no sistema (RUSCHEL, 1990; SILVA *et al.*, 2018).

Ainda é possível a criação de peixes em conjunto com a *Azolla*, de maneira semelhante como ocorre com a aquaponia DFT, entretanto, outro problema característico deste sistema pode ocorrer: a herbivoria da *Azolla* por parte dos peixes, já que a mesma é rica em nutrientes e muito apreciada por seres vivos herbívoros e fitófagos de maneira geral (ROSA *et al.*, 2019).

Alguns outros cuidados ainda devem ser considerados neste tipo de consorciação, como a presença de filtros para impedir a livre circulação da *Azolla* por todo o sistema, evitando com que a mesma entupa e inviabilize os canos e se desenvolva em módulos indesejados. Outro cuidado, é começar a inocular a *Azolla* em ambientes menores e mais controlados, se possível, com menos incidência de calor, temperaturas extremas, ventos, já que, enquanto no início, por ser um pequeno vegetal, há uma desafio inicial de adaptação, de forma que ambientes muito grandes tendem a ser menos controlados e com mais estressores ambientais, dificultando ou até mesmo inviabilizando a propagação da *Azolla* (RUSCHEL, 1990; RESH, 2022; MELO; PERIN, 1992).

Com a linha do parágrafo anterior, pode-se concluir que torna-se desafiador o cultivo e produção deste sistema em larga escala, sendo mais favorável para pequenos produtores, já que escalas maiores demandarão mais custos com mão de obra para o manejo adequado, além de tempo para a propagação da *Azolla* (RUSCHEL, 1990).

É importante realçar que dependendo do tipo de cultura desejado, determinado tipo de aquaponia torna-se mais adequado para cada situação, como, por exemplo, hortaliças são mais indicadas ao sistema DFT e NFT, já plantas pouco maiores, como tomates, podem ser mais adequados às Grow Beds, ou MBT (RESH, 2022; BROOKE, 2018).

Abaixo serão apresentados alguns exemplos dos modelos de aquaponia adaptados com a *Azolla* bem como suas vantagens e desvantagens, semelhante a como foi feito no tópico “Aquaponia”.

3.10.1 Adaptação DFT

No caso da aquaponia DFT, para implantação de um sistema destes, existe a possibilidade de simplesmente colocar as jangadas no mesmo tanque onde são cultivadas a *Azolla*, desta forma, as raízes do vegetais ficariam mais próximas dos nutrientes fixados. Todavia, um problema a ser observado, é, como no caso do cultivo em consorciação com o arroz, pode haver competição de nutrientes quando o cultivo escolhido é cultivado junto com a *Azolla*, principalmente pelo elemento P, imprescindível para qualquer cultivo, já que é a uma das bases do DNA, de aminoácidos, blocos de construção básicos da célula (RESH, 2022; RUSCHEL, 1990; NELSON; COX; HOSKINS, 2022).

Entretanto, uma grande desvantagem deste sistema seria a presença constante de mosquitos e insetos, além de seres fitófagos, que se alimentariam do cultivo, além de poderem trazer outros prejuízos à saúde, sendo necessárias medidas mitigatórias, além de manutenções, como a presença de telas, uso controlado de Carbofuran, além de outras medidas cabíveis (RUSCHEL, 1990; BROOKE, 2018).

Também é possível a criação da *Azolla* separada dos vegetais, entretanto, por a *Azolla* ser rica em proteínas, além de estar presente em um ambiente úmido e lântico, a presença de insetos ainda aconteceria, tanto na área de cultivo como na da *Azolla* (RUSCHEL, 1990; BROOKE, 2018).

Entretanto, é imprescindíveis ressaltar que, caso a *Azolla* esteja sendo criada no mesmo tanque que os peixes, outro pesticida deve ser escolhido, já que animais de sangue frio são geralmente sensíveis a inseticidas, desta forma, a substancia utilizada para controle de insetos deve ser escolhida levando-se os peixes ou animais aquáticos criados em consideração (MELO; PERIN, 1992).

Além disso, vale destacar ainda, que caso os peixes estejam no mesmo tanque do sistema de *Azolla*-vegetais, a demanda de oxigênio crescerá vertiginosamente, de forma que um aerador torna-se-á indispensável. Somado a isso, a cobertura vegetal, principalmente da *Azolla*, irá diminuir a quantidade de luz e oxigênio nas áreas mais profundas do sistema, de forma que o tipo de animal aquático criado neste sistema deve ser escolhido levando todos estes fatores em consideração, ou mesmo dispensados, ficando apenas a *Azolla* no sistema (MADEIRA *et al.*, 2016).

Pode-se notar que alguns contrapontos do sistema tradicional foram resolvidos com a utilização da *Azolla*, além de uma fixação semelhante de N diretamente em nitritos, além da simplificação do sistema sem necessidade do biofiltro. Desta forma, sua simplicidade torna-se superior ao sistema tradicional, já que, além de custos menores, tem-se produtividade semelhante, já que a quantidade de N fixado pela *Azolla* torna-se suficiente ou mesmo mais eficiente que os fertilizantes convencionais dependendo das técnicas de cultivo e fertilização utilizadas, semelhante aos resultados do trabalho de

Ruschel (1990), que apensar de não se tratar de aquaponia, a consorciação com o arroz apresentou resultados favoráveis para o trabalho aqui desenvolvido.

Pode-se considerar os benefícios da colheita da *Azolla*, caso desejado, e do cultivo escolhido. Entretanto, determinadas medidas relacionada aos insetos presentes tornam-se de urgência. Outro ponto de urgência é a necessidade constante de aeração do sistema, já que, como a *Azolla* e a cianobactéria a ela associada consomem grande quantidade de O₂, esta demanda torna-se ainda maior com a presença das raízes das plantas. Além disso, a densa cobertura de *Azolla* na superfície do sistema pode reduzir as quantidades de oxigênio no sistema, além de prejudicar a entrada de luz no tanque de água. Assim sendo, caso não haja a devida aeração, haverá competição por este recurso prejudicando ambos os cultivos, além de poder levar consequências em cadeia, como a falta de nutrientes, já que, com menos O₂ disponível, a cianobactéria tem menos recursos para fixar o N, de forma que o O₂ torna-se limitante (MADEIRA *et al.*, 2016).

3.10.2 Adaptação MBT

No caso da aquaponia recirculante, caso haja espaço suficiente entre os canteiros, é possível manter a *Azolla* ao lado do cultivo em mídia física, apenas bombeado a água para manter certo fluxo no sistema. Entretanto, neste caso tem-se o mesmo problema já citado no tópico anterior, e também no cultivo conjunto com arroz: quando a *Azolla* e a cultura escolhida são cultivadas muito próximos um do outro, muitas vezes raiz a raiz, pode ocorrer disputa de nutrientes, de forma especial pelo elemento P, essencial para qualquer vegetal (RUSCHEL, 1990; BROOKE, 2018).

Outra possibilidade, é cultivar a *Azolla* em um tanque a parte, de forma que o elemento P é colocado nos dois tanques separadamente, mantendo-se bombeação de água entre os dois, de forma semelhante ao cultivo com uso de peixes.

O Biofiltro neste sistema MBT tradicional, com a consorciação de peixes, era opcional, com a *Azolla* o sistema torna-se ainda mais efetivo e ainda sem a necessidade de um biofiltro, assim como todas as adaptações apresentadas. Por não diferir muito do sistema com peixes, estruturalmente, as vantagens e desvantagens tornam-se muito semelhantes (BROOKE, 2018).

No caso da aquaponia alternante, uma das suas única diferenças entre a recirculante, como já explicado em seu devido tópico “Aquaponia Alternante”, é a inundação e drenagem da água, também conhecido como sistema “Flood and Drain” (inundar e drenar) (BROOKE, 2018).

Neste sistema, pode-se usar o mesmo princípio de uma das técnicas usadas no trabalho de Ruschel (1990), com a consorciação de arroz, mais precisamente a

“Incorporação Durante o Perfilamento”, onde a *Azolla* é cultivada junto com o arroz e depois drena-se a água, fazendo com que a *Azolla* se incorpore ao solo. Quando incorporada, a *Azolla* libera seus nutrientes, fazendo com que fique disponível ao cultivo, ou ainda, enquanto está no solo, continua-se o processo de nitrificação, sendo os nitritos aproveitados pelo cultivo.

Ainda é possível “rebastacer” o sistema com a *Azolla* presente em um tanque de criação, além de limpar a *Azolla* residual com um tanque de água a parte, de forma que a *Azolla* libere constantemente seus nutrientes ao cultivo escolhido, e não fique estacionada no sistema competindo por nutrientes ou ocupando espaço desnecessário. Isso se torna possível, já que o sistema alternante pode inundar e drenar a área quando necessário, reciclando os nutrientes e *Azolla* livre na área, já que o cultivo escolhido está fixo na mídia física. É importante destacar que este tipo de aquaponia continua sendo mais adequado para plantas de porte pouco maior, como tomateiros por exemplo (BROOKE, 2018).

Possivelmente, será necessária a presença de um filtro para retenção de partículas além de manutenção e descarte do material rejeitado. Assim sendo, este sistema não é tão complexo em comparação a outros sistemas de aquaponia, entretanto, não é o mais simples e precisa de manutenção frequente (BROOKE, 2018).

Outra possibilidade, é a criação da *Azolla* em um tanque a parte, e utilização apenas da água deste tanque, de forma que a *Azolla* não entraria em contato com o cultivo, de forma semelhante como ocorre com a criação de peixes.

3.10.3 Adaptação NFT

No caso da adaptação NFT, é contra recomendado que qualquer coisa a não ser água circule pelos canos, já que, nos canos e canaletas estão presentes as raízes das plantas. Em um sistema de aquaponia NFT tradicional, as raízes das plantas podem causar obstrução dos canos, precisando de constante manutenção para o bom funcionamento do sistema. Assim sendo, na adaptação, caso a *Azolla* invada o sistema de canos, a mesma pode se desenvolver, e além de causar competição entre o cultivo, pode catalizar o problema de obstrução dos canos, levando ao menor desenvolvimento ou mesmo à perda do cultivo (RESH, 2022).

Desta forma, o mais adequado para esta adaptação seria o cultivo da *Azolla* em tanques a parte, e a utilização apenas da água com os nutrientes por ela fixados, além da presença de um filtro para impedir a *Azolla* de acessar e se desenvolver nos canos destinados ao cultivo escolhido.

3.10.4 Adaptação Gotejamento

Nesta adaptação, apenas a água da criação de *Azolla* pode ser usada, já que, neste princípio, a água escorre por canos, ou mesmo canaletas, cujo objetivo é de gotejar em vasos onde estão as plantas, muitas vezes em substratos como fibra de coco, para depois ser recoletada e devolvida ao tanque. Desta forma, não há muito sentido para cultivo da *Azolla* no mesmo ambiente que as plantas, já estas apenas recebem o gotejamento da água, não havendo muita possibilidade para o desenvolvimento da *Azolla* (BROOKE, 2018).

Este sistema é mais adequado para plantas de maior porte, como pequenas árvores frutíferas, ou mesmo arbustos (BROOKE, 2018).

3.10.5 Adaptação Subirrigação

Este sistema foi desenvolvido para cultivo de vegetais que tem partes soterradas, como tubérculos por exemplo. A forma mais adequada de adaptação seria o uso da água presente na criação da *Azolla*, já que o vegetal não seria capaz de se desenvolver em sistemas soterrados, sem a presença da luz. Neste sistema, a água com nutrientes sobe por capilaridade até onde estão sendo cultivadas as plantas (BROOKE, 2018).

3.10.6 Vantagens e Desvantagens Gerais das Adaptações

Tabela 24: Vantagens e Desvantagens gerais de todos os sistemas de aquaponia adaptados com a *Azolla caroliniana*. Fonte: adaptado de Brooke (2018) e Resh (2022).

Vantagens e Desvantagens Gerais dos Modelos Adaptados	
VANTAGENS	DESVANTAGENS
Modelo Simplificado	Menores ganhos/lucros em relação ao modelo tradicional de criação de peixes
Dispensado Biofiltro	Caso não seja feito da maneira adequada, <i>Azolla</i> pode invadir outros módulos do sistema e se multiplicar em lugares indesejados
Menor presença de partículas de sujeira, já que, como não há peixes, também não há necessidade de ração, e os nutrientes não vem dos dejetos desses seres, mas da nitrificação da <i>Azolla</i>	Pode se tornar uma praga, caso se multiplique em lugares indesejados, como açudes, por exemplo, sendo de difícil controle e eliminação quando já adaptada.
<i>Azolla</i> oferece propriedades nutricionais, é estudada a possibilidade de ser consumida	Demora para se adaptar, sendo lenta no início

tanto por humanos como por animais	
<i>Azolla</i> pode remover metais pesados, purificando o sistema se for o caso	Possibilidade de criadouro de insetos.
Necessidade de manutenção varia de acordo com o sistema escolhido	Necessidade de manutenção varia de acordo com o sistema escolhido, no caso do MBT, a manutenção torna-se constante
Menor gastos (com ração, fertilizantes, insumos, já que a própria <i>Azolla</i> pode se replicar dando continuidade ao sistema)	Pode se tornar necessária a presença de um aerador. Principalmente no sistema DFT
Modelo sustentável	
<i>Azolla</i> é tolerante, flexível e pouco exigente, podendo se adaptar a diversos sistemas/ambientes e necessidades	
Modelo flexível, suscetível a adaptações, personalizações, modificações	

3.10.7 Utilização da *Azolla* em conjunto com peixes

Uma possibilidade da adaptação dos sistemas aquaponicos já mencionadas, seria a utilização da *Azolla* como alimento para os peixes já utilizados pela aquaponia tradicional (ROSA *et al.*, 2019). A *Azolla*, como já explicado ao longo do presente trabalho, possui uma grande quantidade de nutrientes e mesmo proteínas, de forma que muito se tem estudado a respeito do consumo animal e mesmo humano e seus benefícios, apesar do consumo humano deste vegetal já acontecer a provavelmente muito tempo em regiões da Ásia, devido à suas propriedades nutricionais e até medicinais (AZHAR *et al.*, 2018; ABDELATY *et al.*, 2021; ROY; PAKHIRA; BERA, 2016).

Desta forma, tem-se a possibilidade de um duplo benefício, já que, pode-se notar uma economia no custo das rações para alimentação dos peixes, diminuindo a competição por alimentos estratégicos na alimentação humana na produção das rações, além da fixação biológica da *Azolla* que continuaria a acontecer, auxiliando mais na fixação de nutrientes do sistema. Além disso, o excedente de *Azolla* pode ser usado (ABDELATY *et al.*, 2021; AZHAR *et al.*, 2018).

Apesar dos benefícios, as desvantagens desta consorciação, ou mesmo de quase qualquer consorciação de uso da *Azolla*, é a presença de insetos fitófagos, que podem representar um incômodo para o cultivo além da saúde humana, dependendo dos tipos de insetos favorecidos. Uma das soluções para este problema seria a criação de peixes que se

alimentam de mosquitos, uso controlado de pesticidas, ou telas e cortinados (RUSCHEL, 1990; BROOKE, 2018).

Entretanto, muitos inseticidas são tóxicos, ou até mesmo letais à animais de sangue frio, sendo inofensivos à animais de sangue quente. Desta forma, muito cuidado deve ser tomado para manutenção da boa saúde dos animais aquáticos criados, de forma que os pesticidas escolhidos devem levar estes fatores em consideração (MELO; PERIN, 1992).

Outros cuidados a serem considerados com este tipo de consorciação, seria o crescimento descontrolado da *Azolla*, ou, no extremo oposto, o cuidado para sua adaptação inicial e evitar a herbivoria excessiva dos peixes, que pode eliminar a *Azolla* do sistema. Caso a *Azolla* se desenvolva descontroladamente, a mesma pode bloquear a luz solar, podendo prejudicar a saúde de determinados tipos de peixe. Além disso, com a presença da *Azolla*, o consumo de O₂ se eleva, de forma que será necessária a presença de um aerador no sistema, a fim de sustentar a boa saúde do sistema e dos organismos envolvidos. Outro fator, é o fato da cobertura vegetal diminuir ainda mais a quantidade de oxigênio nas áreas mais profundas do sistema, além de bloquear ou reduzir drasticamente a entrada de luz no sistema (MADEIRA *et al.*, 2016; ROSA *et al.*, 2019).

4 Considerações Finais

A *Anabaena azollae*, por ser um fixadora de nitrogênio atmosférico, apresenta-se como uma alternativa viável de fertilização, já que, o excedente de sua produção acaba sendo usado pelos seres vivos adjacentes a ela (RUSCHEL, 1990).

Como todo projeto, o mesmo apresenta vantagens e desvantagens, como, por exemplo, o projeto tradicional, que usa a piscicultura em associação com a hidroponia para fertilização, apresenta maior parte dos lucros voltada para a venda dos peixes. Em contrapartida, o sistema com a *Azolla* acaba sendo mais simples e precisando de menos manutenção, entretanto, os lucros acabam sendo inferiores, já que os peixes, maior fonte de renda, foram removidos. Ainda há possibilidade de uso da *Azolla* em conjunto com os peixes, o que auxiliaria mais na fertilização e economia em insumos, como a ração. Todavia, o consumo de oxigênio aumentaria vertiginosamente, sendo imprescindível a presença de um aerador. É importante ressaltar que a *Azolla*, quando cultivado junto com outras culturas pode aumentar a competição por determinados nutrientes, caso estejam no mesmo ambiente, além de diminuir a quantidade de luz e oxigênio nas partes mais profundas do sistema, tornando ainda mais crítica a questão do oxigênio em conjunto com a criação de peixes (MADEIRA *et al.*, 2016; ROCHA *et al.*, 2022; DANTAS; MAIA, 2020).

Ainda outro problema muito frequente e importante em relação ao cultivo da *Azolla caroliniana* é a presença de insetos fitófagos, já que, pela *Azolla* ser rica em nutrientes, se torna um dos alimentos mais procurados por esse tipo de ser vivo. Tais seres podem representar um incômodo para o cultivo e mesmo para a saúde humana, dependendo do tipo de inseto proliferado no então criadouro. Para contornar este problema, soluções possíveis podem ser o uso de telas, peixes que se alimentam de mosquitos, além de inseticidas de forma controlada. Todavia, quando se trata a respeito de inseticidas, os mesmos geralmente são inofensivos a animais de sangue quente, como, por exemplo, seres humanos. Entretanto, podem ser tóxicos ou mesmo letais a animais de sangue frio, como os peixes criados (RUSCHEL, 1990; MELO; PERIN, 1992).

Assim sendo, deve-se levar em consideração variados fatores na hora de escolher o sistema mais adequado às necessidades do produtor, incluindo os fertilizantes, técnicas e inseticidas, levando-se em consideração a saúde do sistema como um todo.

Como conclusão geral, pode-se considerar a *Azolla* como uma alternativa a ser testada e utilizada, já que, são diversas as necessidades e desafios dos produtores ao redor do globo, desde pequenos, à grandes. Adaptações surgem para resolver problemas e peculiaridades de cada área, ou mesmo para experimentar novas técnicas de produção, a fim de se aumentar a produção, reduzir os gastos, ou diversos outros motivos e

necessidades. Os modelos com a *Azolla*, e mesmo a aquaponia, mostram-se extremamente flexíveis, seja no quesito construção, investimento, ou mesmo necessidades, sendo praticada até mesmo como “hobby” (BROOKE, 2018).

Desta forma, este presente trabalho aponta uma pequena alternativa, usando literaturas e técnicas já conhecidas, porém, com uma interpretação e conexão de fatos diferente, deixando a cargo uma possibilidade, uma ideia a ser aprofundada, testada, ou a possível resolução para um problema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELATTY, A. M. *et al.* Sun-dried Azolla leaf meal at 10% dietary inclusion improved growth, meat quality, and increased skeletal muscle Ribosomal protein S6 kinase β 1 abundance in growing rabbit. **Animal**. [S. L.], p. 1-8. out. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100348>. Acesso em: 07 mar. 2023.

ALCARDE, J.C. *et al.* AVALIAÇÃO DA HIGROSCOPICIDADE DE FERTILIZANTES E CORRETIVOS. **Scientia Agricola**, Piracicaba - Sp, v. 49, n. 1, p. 137-144, 12 mar. 1992. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sa/a/XrfS7rVm6fGPbW45qSRBVfQ/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 08 mar. 2023.

ALCARDE, J.C.; GUIDOLIN, J.A.; LOPES, A. S. **Os adubos e a eficiência das adubações**. São Paulo, ANDA, 1998 35p. (ANDA, Boletim Técnico, 3). Disponível em: http://anda.org.br/wp-content/uploads/2018/10/boletim_03.pdf . 08 mar. 2023.

ANDRADE, Luana Alves de *et al.* AQUAPONIA E SUA RELAÇÃO COM A SUSTENTABILIDADE. **Ciência & Tecnologia: Fatec-Jb**, Jaboticabal (Sp), v. 13, n. 1, p. 190-200, 24 nov. 2021. <http://dx.doi.org/10.52138/citec.v13i1.200>. Disponível em: <https://citec.fatecjaboticabal.edu.br/index.php/citec/article/view/200/157>. Acesso em: 02 mar. 2023.

AZHAR, Mohd *et al.* Cultivation, Processing and Analysis of Azolla Microphylla and Azolla Caroliniana as Potential Source for Nutraceutical Ingredients. **Ssrg International Journal Of Agriculture & Environment Science (Ssrg - Ijaes)**. Dokki City, Egypt, p. 10-16. jun. 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Sadaf-Parvez-2/publication/327912221_Cultivation_Processing_and_Analysis_of_Azolla_Microphylla_and_Azolla_Caroliniana_as_Potential_Source_for_Nutraceutical_Ingredients/links/60350d27a6fdcc37a847f9fc/Cultivation-Processing-and-Analysis-of-Azolla-Microphylla-and-Azolla-Caroliniana-as-Potential-Source-for-Nutraceutical-Ingredients.pdf. Acesso em: 06 mar. 2023.

AZOLLA FOUNDATION. **Geographic distribution**. 2022. Disponível em: <https://theazollafoundation.org/azolla/azollas-geographic-distribution/>. Acesso em: 07 mar. 2023.

BAGANZ, Gösta F. M. *et al.* The aquaponic principle — It is all about coupling. **Reviews In Aquaculture**. Australia, p. 252-264. 26 jul. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/raq.12596>. Acesso em: 28 out. 2022.

BARAS, Tyler. Hydroponic Growing Systems: wicking bed. In: BARAS, Tyler. **DIY Hydroponic Gardens: How to Design and Build an Inexpensive System for Growing Plants in Water**. Minneapolis: Cool Springs Press, 2018. Cap. 3. p. 60-68.

BECKING, J. H.. Ecology and Physiological Adaptations of Anabaena in the Azolla-Anabaena azollae Symbiosis. **Ecological Bulletins**. [S. L.], p. 266-281. 1978. Disponível em: https://www.jstor.org/stable/pdf/20112687.pdf?casa_token=kujps5PgFl8AAAAA:uKOCrNw8wxc2hXVb_xzN2swcK0YiZfh-ds9rgZsZotVuys4tNuTe8bxb55LBZ8vQSYELn2rSr2918QanTSExDBDqchxLZtQJkj1Es1HTZH6os0Arocxs. Acesso em: 07 mar. 2023.

BENNICELLI, R. *et al.* The ability of Azolla caroliniana to remove heavy metals (Hg(II), Cr(III), Cr(VI)) from municipal waste water. **Chemosphere**. [S. L.], p. 141-146. nov. 2003.

Disponível em:

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653503011317?casa_token=XjNN5DO MhjUAAAAA:1fwBRqAknh-yjkHPnKgQ9nNP1zIsZpPkjUuvMNbKINVzfhHozjYM2Bgq5N5p47_eOEBjh27GRzeE. Acesso em: 06 mar. 2023.

BHARALI, Ashmita *et al.* The use of *Azolla caroliniana* compost as organic input to irrigated and rainfed rice ecosystems: Comparison of its effects in relation to CH₄ emission pattern, soil carbon storage, and grain C interactions. **Journal Of Cleaner Production**. [S. L.], p. 1-12. 1 set. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127931>. Acesso em: 07 mar. 2023.

BRANDÃO, D. S. [et al.]. **Química e fertilidade do solo**. Porto Alegre, RS: SAGAH, 2021. 305 p.

BRAZILIAN RICE (Brasília/Df). **Perfil da Produção**. Realização: ABIARROZ & ApexBrasil. Disponível em: <http://brazilianrice.com.br/br/sobre-o-brasil/>. Acesso em: 06 mar. 2023.

BROOKE, Nick. **Aquaponics Systems Design**. Disponível em: <https://www.howtoaquaponic.com/designs/aquaponics-systems/> . Acesso em: 08 mar. 2023.

BROOKE, Nick. **Aquaponics for Beginners: how to build your own aquaponic garden that will grow organic vegetables**. [S. L.]: Independently Published, 2018. 265 p.

CARNEIRO, P. C. F. *et al.*. Montagem e operação de um sistema familiar de aquaponia para produção de peixes e hortaliças. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 12 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Circular Técnica, 68).

CHU, L.C. Use of *Azolla* in rice production in China. In: **International rice research institute**. Nitrogen and rice. Los Baños, 1979. p. 375-94.

CORRÊA, Bernardo Ramos Simões. **Aquaponia Rural**. Dissertação apresentada ao curso de Mestrado do Programa de Pós - graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural, da Faculdade UnB Planaltina. Brasília, 2018.

COSTA, M.L., SANTOS, M.C. & CARRAPIÇO, F. **Biomass characterization of *Azolla filiculoides* grown in natural ecosystems and wastewater** . *Hydrobiologia* **415**, 323–327 (1999). <https://doi.org/10.1023/A:1003824426183>

CROSSLEY, P. L. Sub-irrigation in wetland agriculture. **Agric Hum Values**, v. 21n. 2/3, p. 191-205, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/B:AHUM.0000029395.84972.5e>. Acesso em: 17 de mar.2021.

DANTAS, Natália Carla Fernandes de Medeiros; MAIA, Ivanilson de Souza. CUSTOS E OPORTUNIDADES PARA IMPLANTAR SISTEMA AQUAPÔNICO EM TEMPOS DE ISOLAMENTO SOCIAL. In: VIII CONGRESSO VIRTUAL DE AGRONOMIA (2020), 8., 2020, São Paulo. **Anais [...]** . São Paulo: Convibra, 2020. p. 1-15. Disponível em: https://convibra.org/congresso/res/uploads/pdf/artigo27345_4_20202439.pdf. Acesso em: 03 mar. 2023.

DATTA, Subhendu. Aquaponics: Its Presents Status and Potential. **Fishing Chimes**. Vishakhapatnam, p. 44-48. fev. 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Subhendu-Datta/publication/274892639_Aquaponics_Its_Present_Status_and_Potential/links/552bc1dd0cf29b22c9c1e3ec/Aquaponics-Its-Present-Status-and-Potential.pdf. Acesso em: 27 fev. 2023.

DECHEN, Antonio Roque; NACHTIGALL, Gilmar Ribeiro. Micronutrientes. In: FERNANDES, Manilo Silvestre (ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. Cap. 13. p. 327-354.

DIEHL, Robert. **Agricultura Geral**. Lisboa: Livraria Clássica Editora, 1984. 579 p.

EMBRAPA, In: BOAS PRÁTICAS AGRONÔMICAS. Croplife Brasil. **Fertilizantes: alimentos para as plantas**. 2019. Disponível em: <https://boaspraticasagronicas.com.br/noticias/fertilizantes/#:~:text=Fertilizantes%20s%C3%A3o%20subst%C3%A2ncias%20minerais%20ou,crescimento%20e%20desenvolvimento%20das%20plantas..> Acesso em: 10 mar. 2023.

EMBRAPA: **Integrar criação de peixes com hortaliças economiza 90% de água e elimina químicos**. 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2767622/integrar-criacao-de-peixes-com-hortalicas-economiza-90-de-agua-e-elimina-quimicos> Acesso em: 12 jun. 2020.

FAO. 2014. **Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming**. 288 p. Rome, Italy.

FAO. 2015. **Management of the aquaponic systems**. TECA: technologies and practices for small agricultural producers. 10p.

FENIX AGRO (Tietê - Sp). **Quimifol NPK**. Disponível em: <https://quimifol.com.br/produto/quimifol-npk>. Acesso em: 08 mar. 2023.

FERNANDES, Manilo Silvestre (ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 432 p.

FIGUEIREDO, Márcio do Vale Barreto *et al* (ed.). **Microrganismos e Agrobiodiversidade: o novo desafio para a agricultura**. Guaíba - Rs: Agrolivros, 2008. 568 p.

GARCIA, José Luiz M. **A Lei do Máximo**. 2020. Instituto de Agricultura Biológica. Disponível em: <https://institutodeagriculturabiologica.org/2020/01/22/a-lei-do-maximo/>. Acesso em: 03 mar. 2023.

GOMES, Algenor da Silva; MAGALHÃES JÚNIOR, Ariano Martins de (ed.). **Arroz Irrigado no Sul do Brasil**. Brasília: Embrapa, 2004a. 899 p.

GOMES, Algenor da Silva; MAGALHÃES JÚNIOR, Ariano Martins de (ed.). Arroz Irrigado no Sul do Brasil. In: GOMES, Algenor da Silva; MAGALHÃES JÚNIOR, Ariano Martins de (ed.). **Arroz Irrigado no Sul do Brasil**. Brasília: Embrapa, 2004b. Cap. 11. p. 339-347.

GOMES, Frederico Pimentel. A lei de Mitscherlich e a análise da variância em experiências de adubação. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, [S.L.], v. 8, p. 355-368, 1951. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0071-12761951000100015>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aesalq/a/9vhdwnXbwkZ9KkKT66pJrZd/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 03 mar. 2023.

GUARALDO, Maria Clara. **Brasil é o quarto maior produtor de grãos e o maior exportador de carne bovina do mundo, diz estudo**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/62619259/brasil-e-o-quarto-maior-produtor-de-graos-e-o-maior-exportador-de-carne-bovina-do-mundo-diz-estudo>. Acesso em: 13 fev. 2023.

HERBERT, S. *et al.*, **Aquaponics in Australia - The integrations of Aquaculture and Hydroponics**. Mudge, Australia, 2008, 28p.

HOLST, R. W. & YOPP, J. H. Studies of the Azolla-Anabaena symbiosis using *A. mexicana* I. Growth in nature and laboratory. *Amer. Fern J.*, 69:17-25, 1979.

IMAZON. **Desmatamento acumulado até setembro passa dos 9 mil km² em 2022 pior marca em 15 anos**: degradação florestal causada pelas queimadas e pela extração de madeira cresceu quase cinco vezes em setembro. Degradação florestal causada pelas queimadas e pela extração de madeira cresceu quase cinco vezes em setembro. 2022. Disponível em: <https://imazon.org.br/imprensa/desmatamento-acumulado-ate-setembro-passa-dos-9-mil-km%C2%B2-em-2022-pior-marca-em-15-anos/>. Acesso em: 13 fev. 2023.

INCA. **Agrotóxico**: segundo a organização mundial da saúde (oms) são registradas 20 mil mortes por ano devido o consumo de agrotóxicos. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) são registradas 20 mil mortes por ano devido o consumo de agrotóxicos. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/causas-e-prevencao-do-cancer/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/agrotoxico>. Acesso em: 13 fev. 2023.

LAVILLE, Christian; Dionne, Jean. **A construção do saber: manual de metodologia da pesquisa em ciências humanas**. Porto Alegre : Artmed : Belo Horizonte: Editora UFMQ 1999. 339 p.

LUMPKIN, T. A. & PLUCKNEET, D. L. **Azolla as green manure: use and management in crop production**. Boulder, West view Press, 1982. 229p.

LUMPKIN, T. A. & PLUCKNEET, D. L. **Azolla: botany, physiology and use as green manure**. *Econ. Bot.*, 34: 111-113, 1980.

MADEIRA, Nuno Rodrigo. **Embrapa Hortaliças: como plantar cebola**. Como plantar cebola. Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortalicas/cebola/equipamentos>. Acesso em: 11 mar. 2023.

MADEIRA, P.T. *et al.* Molecular identification of *Azolla* invasions in Africa: The *Azolla* specialist, *Stenopelmus rufinus* proves to be an excellent taxonomist. **South African Journal Of Botany**. Africa do Sul, p. 299-305. jul. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sajb.2016.03.007>. Acesso em: 07 mar. 2023.

MAHAN, Bruce M.; MYERS, Rollie J.. **Química: um curso universitário**. 4. ed. São Paulo - Sp: Blusher, 1995. 582 p. Tradução de Denise de Oliveira Silva, Flávio Massao Matsumoto.

MALTHUS, Thomas Robert. **OS ECONOMISTAS: principles of political economy considered with a view to their practical application - an essay on the principle of population**. São Paulo - Sp: Editora Nova Cultural Ltda., 1996. 382 p. Apresentação de Ernane Galvêas. Traduções de Regis de Castro Andrade, Dinah de Abreu Azevedo e Antonio Alves Cury. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5114391/mod_resource/content/1/MALTHUS.pdf. Acesso em: 03 mar. 2023.

MALUF, R. S. *et al.*. **Nutrition- sensitive agriculture and the promotion of food and nutrition sovereignty and security in Brazil**. *Ciência e Saúde Coletiva*, 20 (8): 2303 –2312, 2015. Sustainable Agriculture Information Service, 2006. 28p.

MAZOYER, Marcel; ROUDART, Laurence. **História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea**. São Paulo -Sp: Editora Unesp, 2008. 567 p. Tradução de Cláudia F. Falluh Balduino Ferreira.

MELO, Luiz Antelmo Silva; PERIN, Rogério. **Azolla: Produção e Utilização**: informações básicas. [S. L.]: Embrapa, 1992. 5 p. Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Ocidental - CPAA; Vinculada ao Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/667551/azolla-producao-e-utilizacao-informacoes-basicas>. Acesso em: 07 mar. 2023.

MESSIAS, A.S. *et al.* **Recomendações de adubação** – Fertilizantes, PE, p. 83-103, 2008.

NACHTIGALL, Gilmar R.. **Nutrição Mineral de Plantas**. 2014. 247ª Edição. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1002672/1/GilmarAgapomiDez2014.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2023.

NELSON, David L.; COX, Michael M.; HOSKINS, Aaron A.. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2022. 1223 p. Tradução de Carla Dalmaz *et al.*.

NUNES, Ginete C.; NASCIMENTO, Maria Cristina D.; LUZ, Maria Aparecida C.A. Pesquisa Científica: conceitos básicos. Id on Line Revista de Psicologia, Fevereiro de 2016, vol.10, n.29. p. 144-151. ISSN 1981-1179.

NUNES, José Luis da Silva; MACHADO, Anderson Wolf. **Características dos fertilizantes**. 2022. Agrolink. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/aspectos-gerais/caracteristicas-dos-fertilizantes_460565.html. Acesso em: 08 mar. 2023.

OLIVEIRA, Henrique. **Veja como montar um sistema de aquaponia**: atividade combina a produção de peixes ao cultivo de plantas. Atividade combina a produção de peixes ao cultivo de plantas. 2021. Uma iniciativa: FAESP, SENAR, CANAL RURAL. Disponível em: <https://www.nacaoagro.com.br/dicas/veja-como-montar-um-sistema-de-aquaponia/>. Acesso em: 02 mar. 2023.

OLIVEIRA, Luciano Henrique Barca de. **Avaliação dos teores de arsênio em tecidos de tilápias (*Oreochromis niloticus*) e estudo da bioacumulação de As (III)**. 2017. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Unesp, São José do Rio Preto - Sp, 2017. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/150337/oliveira_lhb_me_sjrp_int.pdf?sequence=8&isAllowed=y. Acesso em: 11 mar. 2023.

OLIVEIRA, Saulo Duarte de. **SISTEMA DE AQUAPONIA**. 2016. 27 f. TCC (Graduação) - Curso de Zootecnia, Universidade Federal de Goiás, Jataí - Go, 2016. Disponível em: <https://docplayer.com.br/54417259-Sistema-de-aquaponia.html>. Acesso em: 11 mar. 2023.

ONU. **Fome cresce no mundo e atinge 9,8% da população global**. 2022. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2022/07/1794722#:~:text=O%20relat%C3%B3rio%20Estado%20da%20Seguran%C3%A7a,da%20pandemia%20de%20Covid%2D19..> Acesso em: 26 out. 2022.

ONU, 2015. **Transformando nosso mundo: a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 2 mar. 2023.

_____. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2021. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 2 mar. 2023.

PANTANO, Glaucia *et al.* SUSTENTABILIDADE NO USO DO FÓSFORO: UMA QUESTÃO DE SEGURANÇA HÍDRICA E ALIMENTAR. **Quim. Nova.** São Carlos, p. 732-740. 10 maio 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/YLbwv37mZWK7qJLr4SxGnFP/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 26 out. 2022.

PRADO, Renato de Mello. **Nutrição de plantas.** São Paulo: Editora Unesp, 2008. 407 p.

QUEIROZ, Julio F. *et al.*, **Boas práticas de manejo para sistemas de aquaponia.** Embrapa Meio Ambiente. Documento 113. Jaguariúna - SP, p.29, 2017. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/178041/1/2018DC01.pdf> .Acesso em: 24 fev. 2023.

RAHMAWATI, Aulia; DAILAMI, Muhammad; SUPRIATIN, Febriyani Eka. The Performance of Water Quality in Tilapia Pond Using Dutch Bucket and Deep Flow Technique. **Egyptian Journal Of Aquatic Biology & Fisheries.** Cairo, p. 885-897. 30 jan. 2021. Disponível em: https://ejabf.journals.ekb.eg/article_156606_269aa72ee41c6b593ab5a6c0920b0bcd.pdf . Acesso em: 26 fev. 2023.

RESH, H.M.. **Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower (8ª ed.).** CRC Press. 2022. 642 p. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/9781003133254> Acesso em: 13 de março de 2023

ROCHA, Luan Freitas *et al.* **AQUAPONIA: UMA ALTERNATIVA PRODUTIVA PARA A AGRICULTURA FAMILIAR.** 2022. 29 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós - Graduação em Desenvolvimento Rural e Gestão e de Empreendimentos Alimentares, Ifpa - Campus Castanhal, Castanhal, 2022. Disponível em: <https://proppg.ifpa.edu.br/documentos-e-formularios/area-site-mestrados/ppdrgea/produtos-ppdrgea/1965-luan-rocha-cartilha-aquaponia/file>. Acesso em: 11 mar. 2023.

ROSA, Guilherme Masteloto da *et al.* Desempenho zootécnico e parâmetros somáticos de carpa comum alimentada com *Azolla caroliniana*. **Caderno de Ciências Agrárias: Agrarian Sciences Journal.** Uruguaiana - RS, p. 1-7. 20 nov. 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/338411277_Desempenho_zootecnico_e_parametros_somaticos_de_carpa_comum_alimentada_com_Azolla_caroliniana?enrichId=rgreq-4d4be50e272366b25ded92cae518353f-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzZmZODQxMTI3NztBUzo4NDQzOTc4NTU5MjQyMjZAMTU3ODMzMTU0NTk1OQ%3D%3D&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf. Acesso em: 07 mar. 2023.

ROY, D. C., PAKHIRA M.C., e BERA S.. A Review on Biology, Cultivation and Utilization of *Azolla*. **Advances In Life Sciences.** Mohanpur, Nadia, West Bengal, p. 11-15. 8 jan. 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Dulal-Roy/publication/303487247_A_Review_on_Biology_Cultivation_and_Utilization_of_Azolla/links/57453ba308ae9f741b408823/A-Review-on-Biology-Cultivation-and-Utilization-of-Azolla.pdf?_sg%5B0%5D=started_experiment_milestone&origin=journalDetail. Acesso em: 27 set. 2022.

RUSCHEL, Alaídes Puppim. **A azolla e a cultura arrozeira.** Goiânia - Go: Embrapa, 1990. 16 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/192310/a-azolla-e-a-cultura-arrozeira>. Acesso em: 06 mar. 2023.

SANTOS, Aline Tramontini dos; VELHO, Ana Elisa; FREITAS, Thiago Stella de. **Ciclo do nitrogênio e suas reações.** 2020. ILSA. Disponível em: <https://ilsabrasil.com.br/ciclo-do-nitrogenio-e-suas-reacoes/>. Acesso em: 12 mar. 2023.

SAYDI, Royhan *et al.* EFFECT OF VARIATION OF PLANTING MEDIA AND NUTRITION DOSE OF AB MIX ON GROWTH AND PRODUCTION TOMATO (*Solanum lycopersicum* L.) WITH DUTCH BUCKET HYDROPONIC SYSTEM. **Jurnal Agrotek Tropika**. Jember, p. 607-614. 23 set. 2022. Disponível em:

<https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://jurnal.fp.unila.ac.id/index.php/JA/article/viewFile/6061/4433> . Acesso em: 26 fev. 2023.

SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA (Rio de Janeiro - Rj). **Com oferta elevada, produtor do Sudeste até queima tomate**. 2017. Disponível em: <https://www.sna.agr.br/com-oferta-elevada-produtor-do-sudeste-ate-queima-tomate/>. Acesso em: 11 mar. 2023.

SILVA, C. E. V. D. MONTAGEM E OPERAÇÃO DE UM SISTEMA DE AQUAPONIA: UM ESTUDO DE AGRICULTURA URBANA PARA RODUÇÃO DE JUNDIÁ (*Rhamdia quelen*) TILÁPIA (*Oreochromis niloticus*) E ALFACE (*Lactuca sativa*). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 51. 2016.

SILVA JÚNIOR, César da; SASSON, Sezar; CALDINI JÚNIOR, Nelson. **Biologia**: volume único. 5. ed. São Paulo - Sp: Editora Saraiva, 2011a. 815 p.

SILVA JÚNIOR, César da; SASSON, Sezar; CALDINI JÚNIOR, Nelson. O ser humano e seu impacto sobre o ambiente: concentrando ddt ao longo da cadeia. In: SILVA JÚNIOR, César da; SASSON, Sezar; CALDINI JÚNIOR, Nelson. **Biologia**: volume único. 5. ed. São Paulo - Sp: Editora Saraiva, 2011. Cap. 69, pag 760.

SILVA, Marcelo Batista da *et al.* AQUAPONIA: PRODUÇÃO DE PEIXES E VEGETAIS. In: III CONGRESSO INTERNACIONAL DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 3., 2018, [S. L.]. **Anais [...]**. [S. L.]: Cointer - Pdvagro, 2018. p. 1-4. Disponível em: <https://cointer-pdvagro.com.br/wp-content/uploads/2019/01/AQUAPONIA-PRODU%C3%87%C3%83O-DE-PEIXES-E-VEGETAIS-1.pdf>. Acesso em: 08 mar. 2023.

SOGLIO, Fábio dal; KUBO, Rumi Regina (org.). A agricultura moderna e o mito da produtividade. **Desenvolvimento, Agricultura e sustentabilidade**, v.1, Porto Alegre: Editora da Ufrgs, 2016. 206 p.

TREFTZ, Chenin; OMAYE, Stanley T.. Comparison between Hydroponic- and Soil-Grown Raspberries (*Rubus idaeus*): Viability and Sensory Traits. **Food And Nutrition Sciences**. Reno, p. 1533-1540. 16 dez. 2015. Disponível em: [https://www.scirp.org/\(S\(vtj3fa45qm1ean45vffcz55\)\)/journal/paperinformation.aspx?paperid=61928](https://www.scirp.org/(S(vtj3fa45qm1ean45vffcz55))/journal/paperinformation.aspx?paperid=61928). Acesso em: 26 out. 2022.

USA. U.s. Department Of Agriculture. Agricultural Research Service. **Food Data Central Search Results**: rice, white, long-grain, regular, unenriched, cooked without salt. Rice, white, long-grain, regular, unenriched, cooked without salt. 2019. Disponível em: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/169757/nutrients>. Acesso em: 06 mar. 2023.

VIEIRA, R.F. Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas. **Embrapa**, Brasília, 2017. 163p.

YANG, T; ALTLAND, J.e.; SAMARAKOON, U.C.. Evaluation of substrates for cucumber production in the Dutch bucket hydroponic system. **Scientia Horticulturae**. [S. L.], p. 1-2. 27 jan. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423822006963> . Acesso em: 26 fev. 2023.

ZIMMER, Katarina. **Amazônia não produz 20% do oxigênio do mundo**. 2019. National Geographic Brasil. Disponível em: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/meio-ambiente/2019/08/amazonia-oxigenio-mundo-pulmao-floresta-amazonica-queimadas>. Acesso em: 13 fev. 2023.

ZUGRAVU, Gheorghe Adrian *et al.* Entrepreneurial management in aquaponics. **Religación**: Revista de Ciencias Sociales y Humanidades, Ecuador, v. 4, n. 15, p. 57-64, 13 maio 2019. Trimestral. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/6437/643770319008/html/>. Acesso em: 02 mar. 2023.

ANEXO I

Figura 6: Tabela periódica. Elementos tratados ao longo do trabalho podem ser consultados aqui. Fonte: Nelson; Cox; Hoskins (2022).

1 H 1,008																	2 He 4,003				
3 Li 6,94	4 Be 9,01															5 B 10,81	6 C 12,011	7 N 14,01	8 O 16,00	9 F 19,00	10 Ne 20,18
11 Na 22,99	12 Mg 24,31															13 Al 26,98	14 Si 28,09	15 P 30,97	16 S 32,06	17 Cl 35,45	18 Ar 39,95
19 K 39,10	20 Ca 40,08	21 Sc 44,96	22 Ti 47,90	23 V 50,94	24 Cr 52,00	25 Mn 54,94	26 Fe 55,85	27 Co 58,93	28 Ni 58,71	29 Cu 63,55	30 Zn 65,37	31 Ga 69,72	32 Ge 72,59	33 As 74,92	34 Se 78,96	35 Br 79,90	36 Kr 83,30				
37 Rb 85,47	38 Sr 87,62	39 Y 88,91	40 Zr 91,22	41 Nb 92,91	42 Mo 95,94	43 Te 98,91	44 Ru 101,07	45 Rh 102,91	46 Pd 106,4	47 Ag 107,87	48 Cd 112,40	49 In 114,82	50 Sn 118,69	51 Sb 121,75	52 Te 126,70	53 I 126,90	54 Xe 131,30				
55 Cs 132,91	56 Ba 137,34	57-70 *	71 Lu 174,97	72 Hf 178,49	73 Ta 180,95	74 W 183,85	75 Re 186,2	76 Os 190,2	77 Ir 192,2	78 Pt 195,09	79 Au 196,97	80 Hg 200,59	81 Tl 204,37	82 Pb 207,19	83 Bi 208,98	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)			
87 Fr (223)	88 Ra 226,03	89-102 **	103 Lr 262,11	104 Rf 261,11	105 Db 262,11	106 Sg 263,12	107 Bh 264,12	108 Hs 265,13	109 Mt 268	110 Ds 281	111 Rg 281	112 Cn 285	113 Nh 286	114 Fl 289	115 Mc 289	116 Lv 293	117 Ts 293	118 Og 294			

*Lantanídeos	57 La 138,91	58 Ce 140,12	59 Pr 140,91	60 Nd 144,24	61 Pm 144,91	62 Sm 150,36	63 Eu 151,96	64 Gd 157,25	65 Tb 158,93	66 Dy 162,50	67 Ho 164,93	68 Er 167,26	69 Tm 168,93	70 Yb 173,04
**Actinídeos	89 Ac 227,03	90 Th 232,04	91 Pa 231,04	92 U 238,03	93 Np 237,05	94 Pu 244,06	95 Am 243,06	96 Cm 247,07	97 Bk 247,07	98 Cf 251,08	99 Es 252,08	100 Fm 257,10	101 Md 258,10	102 No 259,10

GLOSSÁRIO

Bio-acumulação: é um conceito que se refere ao acúmulo de substâncias/elementos nos seres vivos no decorrer da cadeia trófica. Em outras palavras, se um elemento como um metal pesado, por exemplo, o Pb, contamina determinada região marinha sendo absorvido pelas algas e plantas desta região, os seres vivos que se alimentam destas plantas terão uma quantidade de Pb acumulativa em seu organismo, da mesma forma os seres vivos que se alimentarem do último, terão uma quantidade deste elemento nocivo maior ainda. Ou seja, a quantidade do elemento acumulada pelos seres na cadeia trófica tende a aumentar sua concentração exponencialmente, causando intoxicação e morte destes organismos, de forma que quando seres humanos consomem tais “frutos do mar” (popularmente chamados), contaminados, tendem a ter as mesmas intoxicações e até morte (JÚNIOR; SASSON; JÚNIOR, 2011b; OLIVEIRA, 2017).

Eutrofização: Processo em que um corpo d'água recebe quantidades excessivas de nutrientes, tendo como consequência a multiplicação descontrolada de algas, que quando morrem e entram em decomposição, acarretam na proliferação desenfreada de microorganismos, prejudicando as espécies presentes no local, levando a morte da maioria dos seres vivos ali presentes, favorecendo apenas os microorganismos decompositores já citados (JÚNIOR; SASSON; JÚNIOR, 2011a).