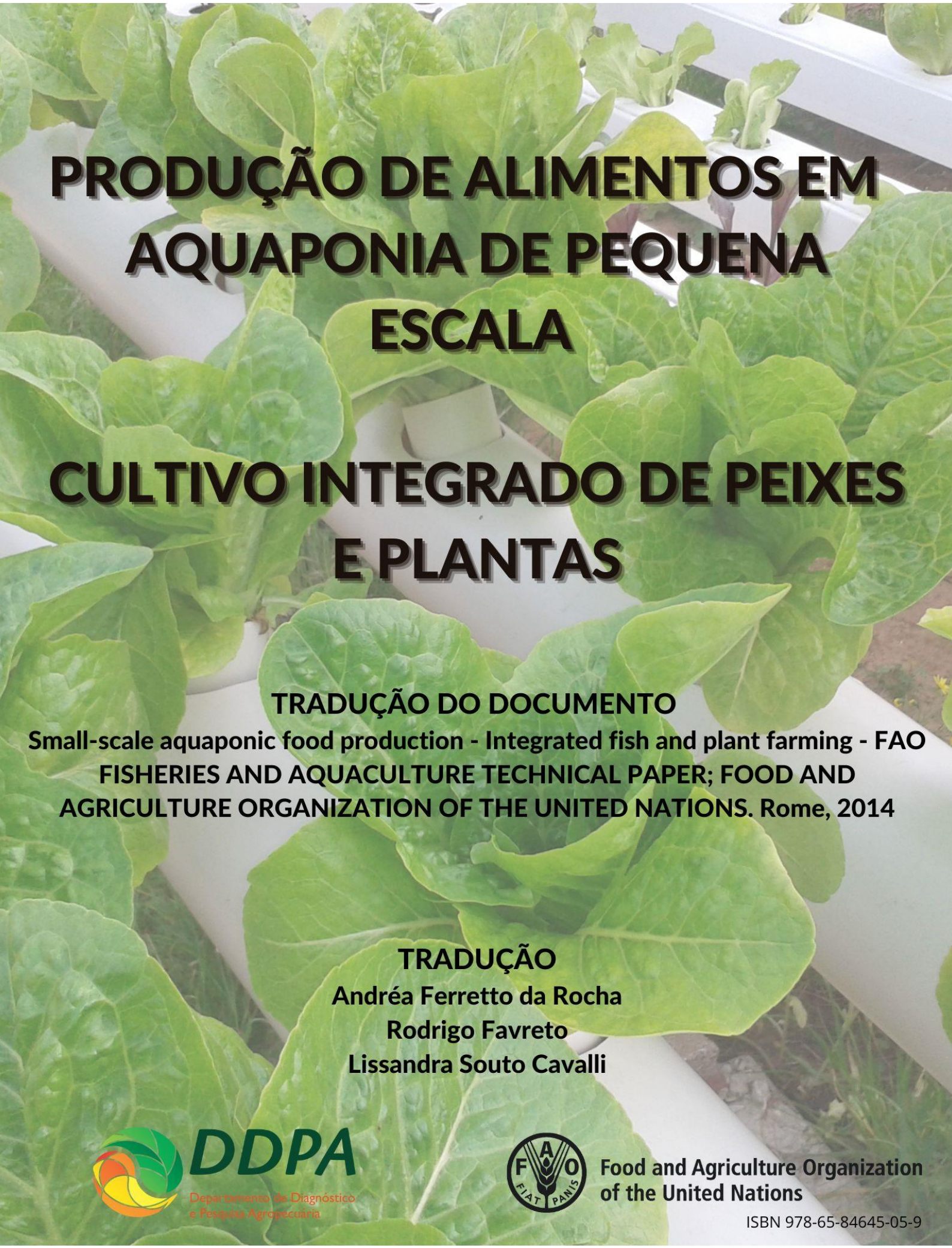


PRODUÇÃO DE ALIMENTOS EM AQUAPONIA DE PEQUENA ESCALA

CULTIVO INTEGRADO DE PEIXES E PLANTAS

TRADUÇÃO DO DOCUMENTO

Small-scale aquaponic food production - Integrated fish and plant farming - FAO FISHERIES AND AQUACULTURE TECHNICAL PAPER; FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Rome, 2014

TRADUÇÃO

Andréa Ferretto da Rocha
Rodrigo Favreto
Lissandra Souto Cavalli

DDPA
Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária

Food and Agriculture Organization of the United Nations

ISBN 978-65-84645-05-9

PRODUÇÃO DE ALIMENTOS EM AQUAPONIA DE PEQUENA ESCALA - CULTIVO INTEGRADO DE PEIXES E PLANTAS

TRADUÇÃO DO DOCUMENTO
Small-scale aquaponic food production - Integrated fish and plant farming - FAO FISHERIES AND AQUACULTURE TECHNICAL PAPER 589; FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Rome, 2014

Publicado em convênio com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) pela Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação do Rio Grande do Sul (SEAPI)

Published by arrangement with the Food and Agriculture Organization of the United Nations by Secretariat of Agriculture, Livestock, Sustainable Production and Irrigation of Rio Grande do Sul

Tradução:
Andréa Ferretto da Rocha - Pesquisadora da área de Aquicultura
Rodrigo Favreto - Pesquisador da área de Botânica
Lissandra Souto Cavalli - Pesquisadora da área de Aquicultura

Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária
Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação
Rio Grande do Sul – Brasil

2023

Governador do Estado do Rio Grande do Sul: Eduardo Figueiredo Cavalheiro Leite.

Secretário da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação: Giovani Batista Feltes.

Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária
Rua Gonçalves Dias, 570 – Bairro Menino Deus
Porto Alegre | RS – CEP: 90130-060
Telefone: (51) 3288.8000
www.agricultura.rs.gov.br/ddpa
Diretor: Caio Fábio Stoffel Efrom

Comissão Editorial: Loana Silveira Cardoso; Lia Rosane Rodrigues; Flávio Nunes; Bruno Brito Lisboa; Larissa Bueno Ambrosini; Raquel Paz Silva

Arte: Andréa Ferretto da Rocha
Foto de capa: Christopher Somerville
Catalogação e normalização: Flávio Nunes

P964 Produção de alimentos em aquaponia de pequena escala : cultivo integrado de peixes e plantas / Christopher Somerville ... [et al.] ; tradução: Andréa Ferretto da Rocha, Rodrigo Favreto, Lissandra Souto Cavalli. – Porto Alegre : SEAPI/DDPA, 2023.
1 e-book em pdf.

Tradução de: Small-scale aquaponic food production: Integrated fish and plant farming.
ISBN 978-65-84645-05-9

1. Aquaponia. 2. Aquacultura em pequena escala. I. Somerville, Christopher. II. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura.

CDD 631.585
CDU 639.31

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca do Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA)
Elaborada por Flávio Nunes (Bibliotecário, CRB 10/1298)

REFERÊNCIA

SOMERVILLE, Christopher *et al*. **Produção de alimentos em aquaponia de pequena escala**: cultivo integrado de peixes e plantas. Porto Alegre: SEAPI/DDPA, 2023. *E-book*.

Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper N^{o}. 589. Rome, FAO, 2014. 262 pp.

Autores

Christopher Somerville
Consultor da FAO
Irlanda

Moti Cohen
Consultor da FAO
Israel

Edoardo Pantanella
Consultor da FAO
Itália

Austin Stankus
Consultor da FAO
Itália

Alessandro Lovatelli
Área de Aquicultura - FAO
Itália

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS

Rome, 2014

Este trabalho foi originalmente publicado pela Food and Agriculture Organization of the United States Nations (FAO) em inglês como "**Small-scale aquaponic food production - Integrated fish and plant farming**". Esta tradução para o português foi providenciada pela Secretaria de Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação do Rio Grande do Sul.
Nos casos de discrepâncias, prevalecerá o idioma original.

> [NT: Os tradutores mantiveram a linguagem utilizada em cada capítulo conforme o documento original.]

As designações empregadas e a apresentação do material neste produto de informação não implicam a expressão de qualquer opinião por parte da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) [NT: e do DDPA/SEAPI] no que diz respeito sobre a situação legal ou de desenvolvimento de qualquer país, território, cidade ou área ou de suas autoridades, ou quanto à delimitação de suas fronteiras ou limites. A menção a empresas ou produtos de fabricantes específicos, sejam ou não patenteados, não implica que estes tenham sido endossados ou recomendados pela FAO [NT: e pelo DDPA/SEAPI] em detrimento a outros de natureza semelhante que não são mencionados.
As opiniões expressas neste produto de informação são de responsabilidade do(s) autor(es) e não refletem necessariamente as opiniões ou políticas da FAO [NT: e do DDPA/SEAPI].

© Secretaria de Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação do Rio Grande do Sul, 2023
ISBN 978-65-84645-05-9 (tradução em português)

© FAO, 2014 (edição em inglês).
ISBN 978-92-5-108532-5 (original impresso)
E-ISBN 978-92-5-108533-2 (original em PDF)

A FAO incentiva o uso, reprodução e disseminação do material deste produto informativo. Exceto quando indicado de outra forma, o material pode ser copiado, baixado e impresso para fins particulares de estudo, pesquisa e ensino, ou para uso em produtos ou serviços, desde que o reconhecimento apropriado da FAO como fonte e detentor dos direitos autorais seja fornecido e que o endosso da FAO às opiniões, produtos ou serviços dos usuários não esteja implícito de forma alguma.
Todas as solicitações de direitos de tradução e adaptação, e de revenda e outros direitos de uso comercial devem ser feitas via www.fao.org/contact-us/licence-request ou endereçadas a copyright@fao.org.
Os produtos de informação da FAO estão disponíveis no site da FAO (www.fao.org/publications) e podem ser adquiridos através de publications-sales@fao.org.
Este documento em português pode ser obtido gratuitamente em formato digital também no site da SEAPI: www.agricultura.rs.gov.br/publicacoes

Preparo do documento original

Esta publicação técnica apresenta o conhecimento atual em aquaponia, com foco em pequena escala de produção. A publicação está dividida em nove capítulos e nove apêndices, com cada capítulo dedicado a uma faceta específica de um sistema aquapônico. O público-alvo são extensionistas agrícolas, pesquisadores e fiscais da área de aquicultura, organizações não governamentais, organizadores comunitários, empresas e indivíduos em todo o mundo. A intenção é trazer uma compreensão geral da aquaponia para pessoas que podem ter apenas conhecimento sobre um aspecto, ou seja, agentes de aquicultura sem experiência em hidroponia, e vice-versa. Esta publicação não fornece uma abordagem prescritiva e normativa para a aquaponia; ao invés disso é um documento de referência e inclui a descrição e discussão dos principais conceitos necessários para compreender a aquaponia. Uma ampla parcela da população pode encontrar interesse em aquaponia, especialmente aquelas cujo foco programático incorpora pelo menos um dos seguintes tópicos: agricultura sustentável, métodos resilientes de produção doméstica de alimentos ou segurança alimentar em áreas urbanas e periurbanas. Embora não seja estritamente necessário, alguma experiência com produção de vegetais e/ou produção de peixes seria vantajosa para o leitor. Esta publicação foi escrita em um estilo projetado para ser facilmente compreendida por um leitor não técnico. Esta publicação técnica inclui diversos assuntos, da aquicultura à hidroponia, química da água ao equilíbrio do ecossistema e aspectos técnicos de encanamentos e construções; o desafio tem sido criar uma ponte para o entendimento comum do amplo campo da aquaponia, usando detalhes técnicos com profundidade substancial, sem permitir que a publicação se torne pesada e inaproveitável.

Esta publicação é o produto da experiência prática com sistemas aquapônicos em pequena escala e comerciais, e foi desenvolvida para compartilhar lições e conhecimentos adquiridos para que os produtores iniciantes possam se beneficiar dessas experiências.

Esta publicação foi preparada em reconhecimento aos múltiplos objetivos estratégicos da FAO, principais áreas de trabalho e iniciativas regionais; os sistemas aquapônicos de pequena escala reforçam as intervenções da iniciativa regional sobre a escassez de água e apoiam a principal área de trabalho relacionada à intensificação sustentável da agricultura por meio do uso eficiente de recursos.

Resumo

Esta publicação técnica começa apresentando o conceito de aquaponia, incluindo um breve histórico de seu desenvolvimento e seu lugar dentro de uma categoria mais ampla de cultivos sem solo e agricultura moderna. Discute os principais conceitos teóricos da aquaponia, incluindo o ciclo do nitrogênio e o processo de nitrificação, o papel das bactérias e o conceito de balanceamento de uma unidade aquapônica. Em seguida, passa a cobrir considerações importantes de parâmetros de qualidade da água, teste de água e abastecimento de água para aquaponia, bem como métodos e teorias de design de unidades, incluindo os três métodos principais de sistemas aquapônicos: leitos de mídia, técnica do filme de nutrientes e cultivo em águas profundas.

A publicação discute em detalhes os três grupos de organismos vivos (bactérias, plantas e peixes) que compõem o ecossistema aquapônico. Também apresenta estratégias de manejo e práticas de solução de problemas, bem como tópicos relacionados, destacando especificamente fontes locais e sustentáveis de insumos aquapônicos.

A publicação também inclui nove apêndices que apresentam outros tópicos importantes: condições ideais para plantas comumente cultivadas em aquaponia; controles químicos e biológicos de pragas e doenças comuns, incluindo um guia de plantio compatível; doenças comuns em peixes e sintomas, causas e medicamentos relacionados; ferramentas para calcular a amônia produzida e mídia de biofiltração necessária para uma certa densidade de estocagem de peixes e quantidade de ração adicionada; produção de ração caseira para peixes; diretrizes e considerações para estabelecer unidades aquapônicas; uma análise de custo-benefício de uma unidade aquapônica de leito de mídia em pequena escala; um guia completo para a construção de versões em pequena escala de cada um dos três sistemas aquapônicos; e um breve resumo desta publicação concebido como uma apostila suplementar para divulgação, extensão e educação.

Conteúdo (índice)

Autores **iv**
Preparo do documento original **vi**
Resumo **vii**
Conteúdo (índice) **viii**
Agradecimentos **xiii**
Autores **xiv**
Abreviações e Acrônimos **xv**
Créditos das imagens **xvii**
1. INTRODUÇÃO À AQUAPONIA **19**
1.1 HIDROPONIA E CULTIVO SEM SOLO 20
1.2 AQUICULTURA 22
1.3 AQUAPONIA 23
1.4 APLICABILIDADES DA AQUAPONIA 24
1.5 UMA BREVE HISTÓRIA DA TECNOLOGIA AQUAPÔNICA MODERNA 27
1.6 APLICAÇÕES ATUAIS DA AQUAPONIA 28
1.6.1 Aquaponia doméstica - pequena escala 28
1.6.2 Aquaponia semicomercial e comercial 29
1.6.3 Educação 29
1.6.4 Ajuda humanitária e intervenções de segurança alimentar 30
2. COMPREENDENDO A AQUAPONIA **32**
2.1 COMPONENTES BIOLÓGICOS IMPORTANTES DA AQUAPONIA 32
2.1.1 O ciclo do nitrogênio 33
2.2 O BIOFILTRO 36
2.3 MANTENDO UMA COLÔNIA BACTERIANA SAUDÁVEL 36
2.3.1 Área de superfície 37
2.3.2 pH da água 37
2.3.3 Temperatura da água 38
2.3.4 Oxigênio dissolvido 38
2.3.5 Luz ultravioleta 38
2.4 EQUILIBRANDO O ECOSSISTEMA AQUAPÔNICO 39
2.4.1 Balanço de nitrato 39
2.4.2 Taxa de alimentação 42
2.4.3 Verificação da saúde de peixes e plantas 42
2.4.4 Teste de nitrogênio 43
2.5 RESUMO DO CAPÍTULO 44
3. QUALIDADE DA ÁGUA EM AQUAPONIA **45**
3.1 TRABALHANDO DENTRO DA FAIXA DE TOLERÂNCIA PARA CADA ORGANISMO 45
3.2 OS CINCO PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA MAIS IMPORTANTES 47
3.2.1 Oxigênio 47
3.2.2 pH 49
3.2.3 Temperatura 51
3.2.4 Nitrogênio total: amônia, nitrito, nitrato 51
3.2.5 Dureza da água 53
3.3 OUTROS COMPONENTES PRINCIPAIS DA QUALIDADE DA ÁGUA: ALGAS E PARASITAS 55
3.3.1 Atividade fotossintética de algas 55
3.3.2 Parasitas, bactérias e outros pequenos organismos que vivem na água 56
3.4 FONTES DE ÁGUA PARA AQUAPONIA 57
3.4.1 Água da chuva 57
3.4.2 Água de cisterna ou aquífero 58
3.4.3 Água de abastecimento público 58

3.4.4 Água filtrada 58
3.5 MANIPULANDO O pH 59
3.5.1 Baixando o pH com ácido 59
3.5.2 Aumento do pH com tampões ou bases 60
3.6 TESTES DE ÁGUA 61
3.7 RESUMO DO CAPÍTULO 62
4. PROJETO DE UNIDADES AQUAPÔNICAS 64
4.1 SELEÇÃO DE LOCAL 70
4.1.1 Estabilidade 71
4.1.2 Exposição ao vento, chuva, neve e geada 71
4.1.3 Exposição à luz solar e à sombra 72
4.1.4 Disponibilidade de serviços básicos, cercas e facilidade de acesso 73
4.1.5 Considerações especiais: aquaponia em terraços 73
4.1.6 Estufas e estruturas de tela de sombreamento 74
4.2 COMPONENTES ESSENCIAIS DE UMA UNIDADE AQUAPÔNICA 76
4.2.1 Tanque de peixes 77
4.2.2 Filtração - mecânica e biológica 79
4.2.3 Componentes hidropônicos - leitos de mídia, NFT, DWC 87
4.2.4 Movimento da água 90
4.2.5 Aeração 92
4.2.6 Tanque coletor ‘*sump*’ 94
4.2.7 Materiais de encanamento 95
4.2.8 Kits de testes de água 96
4.3 A TÉCNICA DO LEITO DE MÍDIA 96
4.3.1 Dinâmica do fluxo de água 97
4.3.2 Construção do leito de mídia 98
4.3.3 Escolha da mídia 99
4.3.4 Filtração 102
4.3.5 As três zonas dos leitos de mídia - características e processos 103
4.3.6 Irrigando os leitos de mídia 105
4.4 TÉCNICA DO FILME DE NUTRIENTES (NFT) 108
4.4.1 Dinâmica do fluxo de água 109
4.4.2 Filtração mecânica e biológica 110
4.4.3 Técnica do cultivo em filme de nutrientes (NFT) em tubos, construção e plantio 110
4.5 TÉCNICA DE CULTIVO EM ÁGUAS PROFUNDAS (DWC) 114
4.5.1 Dinâmica do fluxo de água 115
4.5.2 Filtração mecânica e biológica 116
4.5.3 Canais de cultivo DWC, construção e plantio 116
4.5.4 DWC sem filtros e baixa densidade de peixes 118
4.6 COMPARAÇÃO DE TÉCNICAS AQUAPÔNICAS 121
4.7 RESUMO DO CAPÍTULO 123
5. BACTÉRIAS EM AQUAPONIA 124
5.1 BACTÉRIAS NITRIFICANTES E O BIOFILTRO 124
5.1.1 Alta área de superfície específica 125
5.1.2 pH da água 125
5.1.3 Temperatura da água 125
5.1.4 Oxigênio dissolvido 126
5.1.5 Luz UV 126
5.1.6 Monitoramento da atividade bacteriana 126
5.2 BACTÉRIAS HETEROTRÓFICAS E MINERALIZAÇÃO 126
5.3 BACTÉRIAS INDESEJADAS 128
5.3.1 Bactérias redutoras de sulfato 128
5.3.2 Bactérias desnitrificantes 128
5.3.3 Bactérias patogênicas 129
5.4 CICLAGEM DO SISTEMA E INÍCIO DE UMA COLÔNIA DE BIOFILTRO 129

5.4.1 Adicionando peixes e plantas durante o processo de ciclagem 132
5.5 RESUMO DO CAPÍTULO 133
6. PLANTAS EM AQUAPONIA 134
6.1 PRINCIPAIS DIFERENÇAS ENTRE PRODUÇÃO AGRÍCOLA NO SOLO E SEM SOLO 134
6.1.1 Fertilizante 135
6.1.2 Uso de água 136
6.1.3 Utilização de terras não aráveis 136
6.1.4 Produtividade e rendimento 136
6.1.5 Carga de trabalho reduzida 137
6.1.6 Monocultura sustentável 137
6.1.7 Maior complexidade e alto investimento inicial 137
6.2 BIOLOGIA VEGETAL BÁSICA 139
6.2.1 Anatomia vegetal e funções 140
6.2.2 Fotossíntese 140
6.2.3 Exigências nutricionais 141
6.2.4 Fontes de nutrientes em aquaponia 144
6.3 QUALIDADE DA ÁGUA PARA PLANTAS 145
6.3.1 pH 145
6.3.2 Oxigênio dissolvido 146
6.3.3 Temperatura e sazonalidade 146
6.3.4 Amônia, nitrito e nitrato 147
6.4 SELEÇÃO DE PLANTAS 147
6.5 FITOSSANIDADE, CONTROLE DE PRAGAS E DOENÇAS 149
6.5.1 Produção integrada e manejo de pragas 149
6.5.2 Doenças de plantas e manejo integrado de doenças 155
6.6 PROJETO DE PLANTIO 158
6.7 RESUMO DO CAPÍTULO 160
7. PEIXES EM AQUAPONIA 161
7.1 ANATOMIA, FISIOLOGIA E REPRODUÇÃO DE PEIXES 161
7.1.1 Anatomia dos peixes 161
7.1.2 Reprodução e ciclo de vida dos peixes 163
7.2 ALIMENTAÇÃO DE PEIXES E NUTRIÇÃO 165
7.2.1 Componentes da ração para peixes e nutrição 165
7.2.2 Dietas peletizadas para peixes 166
7.2.3 Taxa de conversão alimentar para peixes e taxa de alimentação 167
7.3 QUALIDADE DA ÁGUA PARA PEIXES 168
7.3.1 Nitrogênio 168
7.3.2 pH 169
7.3.3 Oxigênio dissolvido 169
7.3.4 Temperatura 169
7.3.5 Luminosidade 170
7.4 SELEÇÃO DE PEIXES 171
7.4.1 Tilápia 171
7.4.2 Carpa 173
7.4.3 Catfish (Peixe-gato) 174
7.4.4 Truta 175
7.4.5 Largemouth bass 176
7.4.6 Camarões 177
7.5 ACLIMATAÇÃO DE PEIXES 178
7.6 SAÚDE E DOENÇAS DOS PEIXES 179
7.6.1 Saúde e bem-estar dos peixes 179
7.6.2 Estresse 179
7.6.3 Doenças em peixes 180
7.7 QUALIDADE DO PRODUTO 184

7.8 RESUMO DO CAPÍTULO 184
8. MANEJO E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS 185
8.1 CÁLCULOS E RELAÇÃO DE COMPONENTES 185
8.1.1 Área de cultivo das plantas, quantidade de ração para peixes e quantidade de peixes 185
8.1.2 Volume de água 187
8.1.3 Requisitos de filtração - biofiltro e separador mecânico 188
8.1.4 Resumo dos cálculos dos componentes 188
8.2 NOVOS SISTEMAS AQUAPÔNICOS E MANEJO INICIAL 190
8.2.1 Construindo e preparando a unidade 190
8.2.2 Ciclagem do sistema e estabelecimento do biofiltro 190
8.3 PRÁTICAS DE MANEJO PARA PLANTAS 191
8.3.1 Revisão das orientações de plantio 191
8.3.2 Estabelecendo um viveiro de mudas 192
8.3.3 Transplante de mudas 193
8.3.4 Colheita das hortaliças 196
8.3.5 Manejando plantas em sistemas ‘maduros’ 197
8.3.6 Plantas - resumo 198
8.4 PRÁTICAS DE MANEJO PARA PEIXES 198
8.4.1 Alimentação dos peixes e taxas de crescimento 198
8.4.2 Despesca e estoque escalonado 199
8.4.3 Peixes - resumo 202
8.5 PRÁTICAS DE MANEJO ROTINEIRAS 202
8.5.1 Atividades diárias 202
8.5.2 Atividades semanais 203
8.5.3 Atividades mensais 203
8.6 SEGURANÇA NO TRABALHO 203
8.6.1 Segurança elétrica 203
8.6.2 Segurança alimentar 204
8.6.3 Segurança geral 204
8.6.4 Segurança - resumo 204
8.7 RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS 205
8.8 RESUMO DO CAPÍTULO 210
9. TÓPICOS ADICIONAIS EM AQUAPONIA 211
9.1 ALTERNATIVAS LOCAIS SUSTENTÁVEIS PARA INSUMOS AQUAPÔNICOS 211
9.1.1 Fertilizantes orgânicos para plantas 211
9.1.2 Dieta alternativa para peixes 214
9.1.3 Coleta de sementes 218
9.1.4 Captação de água da chuva 219
9.1.5 Técnicas alternativas de construção para unidades aquapônicas 220
9.1.6 Energia alternativa para unidades aquapônicas 221
9.2 GARANTINDO NÍVEIS DE ÁGUA PARA UMA UNIDADE DE PEQUENA ESCALA 223
9.2.1 Boia de nível 223
9.2.2 Tubos de transbordamento (dreno/ ‘ladrão’) 224
9.2.3 Tubos verticais 224
9.2.4 Cercas para animais 225
9.3 INTEGRAÇÃO DA AQUAPONIA COM OUTROS CULTIVOS 225
9.3.1 Irrigação e fertilização 225
9.3.2 Irrigando leitos de absorção 226
9.4 EXEMPLOS DE CONFIGURAÇÕES AQUAPÔNICAS DE PEQUENA ESCALA 227
9.4.1 Aquaponia para sustento em Mianmar 227
9.4.2 Aquaponia salina 228
9.4.3 *Bumina* e *Yumina* 230

9.5 RESUMO DO CAPÍTULO 231
Leitura Adicional 232
Glossário 237
Apêndices 241
Apêndice 1 - Diretrizes de produção de hortaliças para 12 plantas aquapônicas comuns 242
Apêndice 2 - Controle de pragas e doenças de plantas 257
Apêndice 3 - Controle de pragas e doenças de peixes 266
Apêndice 4 - Calculando a quantidade de amônia e mídia do biofiltro para uma unidade aquapônica 273
Apêndice 5 - Fazendo ração caseira para peixes 276
Apêndice 6 - Principais considerações antes de projetar um sistema aquapônico 284
Apêndice 7 - Análise de custo-benefício para unidades aquapônicas de pequena escala 291
Apêndice 8 - Guia passo a passo para a construção de sistemas aquapônicos de pequena escala 295
Apostila de referência rápida sobre aquaponia 340

Agradecimentos

Os autores reconhecem com gratidão as contribuições vitais dos indivíduos que contribuíram durante o processo de preparação desta publicação.

Em particular, os autores desejam agradecer às seguintes pessoas que forneceram fotografias, fizeram a edição preliminar ou deram algum outro suporte técnico: Abu Ahmed, Iyad Al Attar, Yosi Bronfman, Rotem Bruner, Barak Cohen, Baruch Dach, Tim Evans, Mendy Falk, Eitan Hasman, Amit Hasman, Adar Marmur, Ayelet Ben Natan, Yoav Nevo, Irene Nurzia Humburg, Noga Perri, Nadav Reich, Valerie Rousselin, Tomr Sagee, Muhammad Shattali, Keren Taguri, Paolo Usseglio, Idan Ben Yaakov, Erez Yeruham and Efrat Zemer-Bronfman.

Os autores agradecem ainda as contribuições de Yogev Azulai, Akwak Geremew, Tal Pereg e Guy Rubinstein sobre tópicos relacionados à aquicultura (incluindo a produção em pequena escala de ração para peixes); e de Philip Jones, Michael Raviv, Nitzan Solan e lorena Viladomat por suas contribuições relacionadas a produção de alimentos hidropônicos e aquapônicos.

Os autores também gostariam de agradecer aos seguintes especialistas pelas suas contribuições e revisão durante todo o processo de elaboração do documento. Da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), Wilfried Baudoin e Allison Hodder da Divisão de Produção e Proteção de Plantas, Tony Jarrett do Departamento de Pesca e Aquicultura e James Ebeling dos Estados Unidos da América.

O desenvolvimento desta publicação só foi possível graças às contribuições de muitos agricultores, cientistas, profissionais da indústria, proprietários de empresas e técnicos que gentilmente compartilharam suas habilidades e experiência.

Esta publicação foi realizada com o apoio financeiro inicial da União Europeia através do Programa SmartFish da Comissão do Oceano Índico, e fundos regulares para programas da FAO.

Agradecimentos especiais a Hilla Noam por seus esforços nos desenhos técnicos incluídos nesta publicação. O *layout* da página foi preparado por José Luis Castilla Civit.

Autores

Chris Somerville
Consultor de agricultura urbana
Dublin, Irlanda
Trabalhou com organizações internacionais e não governamentais na implementação de projetos de agricultura urbana sustentável na Etiópia, Jordânia e Palestina com foco em aquaponia e hidroponia em pequena escala. Seus projetos atuais se concentram no desenvolvimento de sistemas inovadores e integrados de produção de alimentos em conjunto com a FAO na Cisjordânia e Faixa de Gaza.

Moti Cohen
Especialista em aquaponia
Hofit, Israel
Proprietário/diretor de uma empresa privada que fornece tecnologias agrícolas sustentáveis e soluções de tratamento de água no nível doméstico, especialmente com foco em aquaponia. Tem projetado e instalado várias unidades aquapônicas comerciais, ensinado e conduzido workshops sobre produção de alimentos em aquaponia além de fornecer suporte técnico para projetos internacionais.

Edoardo Pantanella
Agroecologista e Cientista Pesquisador em Aquaponia
Roma, Itália
Cientista pesquisador com foco em sistemas agrícolas integrados, especialmente aquaponia. Seu trabalho está focado no desenvolvimento da aquicultura, incluindo aquaponia de água doce e salina para sistemas sustentáveis de produção de alimentos e meios de subsistência em setores rurais e urbanos, especialmente em regiões áridas e ambientes salinos. Seus interesses incluem o desenvolvimento da aquaponia comercial para cultivos de reprodução de peixes, em água marinha e em águas residuais.

Austin Stankus
Consultor FAO
Roma, Itália
Seus estudos e experiência de trabalho são em sistemas integrados de aquicultura e agricultura, especificamente aquaponia e agricultura orgânica, mapeamento da silvicultura urbana e planejamento espacial usando sistemas de informação geográfica, biocompostagem usando moscas soldado negro para reciclar resíduos de alimentos como uma alimentação animal alternativa, e incorporando a agricultura sustentável no setor da educação a partir de projetos de ensino para jovens agricultores.

Alessandro Lovatelli
Diretor de Aquicultura da FAO
Roma, Itália
Biólogo marinho e aquicultor com vasta experiência em desenvolvimento da aquicultura global trabalhando com a FAO e outras organizações internacionais. Sua área de trabalho concentra-se principalmente no desenvolvimento da aquicultura marinha, transferência de tecnologias agrícolas e gestão de recursos. Tem sido ativo na promoção de tecnologias agrícolas aplicáveis para a produção de alimentos em áreas com escassez de água doce.

Abreviações e Acrônimos

AEE	Aminoácidos essenciais
ASE	Área de superfície específica (área superficial específica)
BOA	Bactéria oxidante de amônia
BON	Bactéria oxidante de nitrito
BPA	Boas práticas agrícolas
C:N	Relação carbono-nitrogênio
CA/CC	Corrente alternada/corrente contínua
CaO	Óxido de cálcio
$Ca(OH)_2$	Hidróxido de cálcio
$CaCO_3$	Carbonato de cálcio
CE	Condutividade elétrica
CO_2	Dióxido de carbono
CO_3^{2-}	Carbonato
DNA	Ácido desoxirribonucleico
DWC	*Deep Water Culture* - Cultivo em águas profundas
ED	Energia digestível
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
GE	Ácidos graxos essenciais
GH	Dureza geral
H^+	Íon hidrogênio
H_2CO_3	Ácido carbônico
H_2S	Sulfeto de hidrogênio
H_2SO_4	Ácido sulfúrico
H_3PO_4	Ácido fosfórico
HCl	Ácido clorídrico
HCO_{3-}	Bicarbonato
HNO_3	Ácido nítrico
IBC	*Intermediate Bulk Container* - contêiner intermediário para granel
K_2CO_3	Carbonato de potássio
Kg	Quilograma
KH	Dureza de carbonatos (carbonatada)
$KHCO_3$	Bicarbonato de potássio
KOH	Hidróxido de potássio
kWh	Quilowatt hora
L	Litro

LECA	Agregado leve de argila expandida
m^2	Metro quadrado
m^3	Metro cúbico
Mg	Magnésio
mg	Miligrama
mL	Mililitro
N	Nitrogênio
N_2	Nitrogênio molecular
NaCl	Cloreto de sódio
NAT	Nitrogênio amoniacal total
NFE	Extrato livre de nitrogênio
NFT	*Nutrient Film Technique* - Técnica do filme de nutrientes
NH_3	Amônia não ionizada (amônia tóxica)
NH_{4+}	Amônia ionizada ou amônio
NHO_3	Ácido nítrico
NO_{2-}	Nitrito
NO_{3-}	Nitrato
NT	Nota dos tradutores
OD	Oxigênio dissolvido
PB	Proteína bruta
pH	Potencial hidrogeniônico
ppm	Partes por milhão
PVC	Policloreto de vinil
RAS	*Recirculating Aquaculture Systems* - sistemas de recirculação aquícola
RCD	Dispositivo de corrente residual
SDT	Sólidos dissolvidos totais
TCA	Taxa de conversão alimentar
US$	Dólar
UV	Ultravioleta
W	Watt
µS/cm	microSiemens por centímetro

Créditos das imagens

Número da imagem	Créditos
1.1 - 1.3 - 1.4 - 1.5 - 2.1 - 2.2 - 2.3 - 2.4 - 2.5 - 2.6 - 2.7 - 2.8 - 2.9 - 2.10 - 2.11 - 2.12 - 2.13 - 2.14 - 3.1 - 3.2 - 3.3 - 3.4 - 3.5 - 3.6 - 3.7- 3.10 - 3.11 - 3.12 - 3.13 - 3.14 - 4.9 - 4.13 - 4.29 - 4.41 - 4.44 - 4.45 - 4.49 - 4.53 - 4.54 - 4.55 - 4.56 - 4.57 - 4.58 - 4.59 - 4.63 - 4.71- 4.73 - 5.1 -5.2 - 5.3 - 5.4 - 5.6 - 6.3 - 6.4 - 6.6 - 7.1(B) - 7.2 - 7.3 - 7.4 - 7.5 - 8.2(A) - 8.3 - 8.9 - 9.15 - A1.6 - A1.17	Hilla Noam
1.2 - 1.7 - 1.8 - 1.9 - 3.9 - 4.1 - 4.2 - 4.6 - 4.10 - 4.24 - 4.25 - 4.26 - 4.27- 4.28 - 4.33 - 4.38 - 4.46 - 4.47 - 4.50 - 4.60 - 4.62 - 4.66 - 4.67 - 4.68 - 4.69 - 4.72 - 4.74 - 4.76 - 6.5(D) - 6.8(C) - 6.10 - 6.11(B) - 7.13 - 8.7(B,C) - 9.1 - 9.8 - 9.11 - A1.5 -A1.13 - A1.22	Moti Cohen
1.6	Gilad Lugasy
1.10 - 3.8 - 4.5 - 4.17 - 4.18 - 4.22 - 4.31 - 4.35 - 4.36 - 4.37 - 4.52 - 5.5- 5.7 - 6.1 - 6.2 - 6.7 - 6.8(B) - 6.9 - 6.11(A) - 6.13 - 8.1 - 8.2(B) - 8.4-9.12(A) - 9.16 - A1.1 - A1.2 - A1.3 - A1.4 - A1.7 - A1.8 - A1.9 - A1.11 - A1.12 - A1.14 - A1.15 - A1.16 - A1.18 - A1.20 - A1.21	Christopher Somerville
4.3 - 4.43 - 9.14	Austin Stankus
4.4 - 4.51 - 6.12	Mosh Kasirer
4.7	Yizhak Ben Israel
4.8	Yaniv Fieldust
4.11	Yehuda Feingold
4.12 - 4.75	Mendi Falck
4.14 - 4.70	Alon Zimerman
4.15 - 4.64 - 4.65 - 6.8(A) - 8.5 - 8.6 - 8.7(A) - 8.8 - 9.3 - 9.7	Idan Ben Yakov
4.16 - A1.10	Iugene Korn
4.19	Fahad Saleh Ibrahim
4.20	Yuval Aliba
4.21	Tal Munchas
4.23	Yugav Azulai
4.30 - 4.32	Ethan Hasman
4.34 - 4.48	Amit Hasman
4.39 - 9.2 - 9.5 - 9.6	Irene Nurzia Humburg
4.40	Guy Tabak
4.42	Paolo Usseglio
4.61	James Ebeling
6.5(A,B,C) - 9.4	Nitzan Solan
7.1(A)	Livingreen Systems
7.6 - 7.7(A) - 7.9(A) - 7.10(A) - 7.11(A) - 7.12	FAO
7.7(B)	Ming Junchao

7.8	Koi on Demand Ltd
7.9(B)	Victor Pouomogne
7.10(B)	Produttori Ittici Trevigiani
7.11(B)	Marc Towers
7.14	Pierpaolo Patarnello
9.9	Yaniv Cohen
9.10	Karen Tagury
9.12(B) - 9.13	Itai Levi
9.17 - 9.18 - 9.19 - 9.20	Edoardo Pantanella
9.21	Slamet Widayadi
A1.19	Nir Kroshanivski

1. INTRODUÇÃO À AQUAPONIA

Este capítulo fornece uma descrição completa do conceito de aquaponia, uma técnica que combina as técnicas de hidroponia e aquicultura para cultivar plantas em um sistema de recirculação de água comumente utilizado em aquicultura (Figuras 1.1 e 1.2). O capítulo fornece breves relatos do desenvolvimento e da natureza de cultivos sem solo e aquicultura em geral. Há uma descrição, portanto, sobre o que é a aquaponia, observando como essas técnicas estão unidas, incluindo considerações adicionais e uma breve história de seu desenvolvimento. Um relato dos principais pontos fortes e fracos da produção aquapônica de alimentos é fornecido, bem como os locais e contextos onde a aquaponia é mais e menos apropriada. Finalmente, há uma breve descrição das principais aplicações de aquaponia vistas atualmente.

FIGURA 1.1. **Tilápia em um tanque de aquaponia**

FIGURA 1.2 **Plantas cultivadas em aquaponia**

1.1 HIDROPONIA E CULTIVO SEM SOLO

O cultivo sem solo é o método de cultivo de plantas agrícolas que, ao invés de solo, utiliza vários meios de cultivo inertes, também chamados de substratos. Esses substratos fornecem suporte à planta e retenção de umidade. Os sistemas de irrigação são integrados dentro deste meio, introduzindo assim uma solução nutritiva às zonas radiculares das plantas. Esta solução fornece todos os nutrientes necessários para o crescimento das plantas. O método mais comum de cultivo sem solo é a hidroponia, que inclui o cultivo de plantas em um substrato ou em um meio aquoso com raízes nuas. Existem muitos designs de sistemas hidropônicos, cada um servindo a um diferente propósito, mas todos os sistemas compartilham essas características básicas (Figura 1.3).

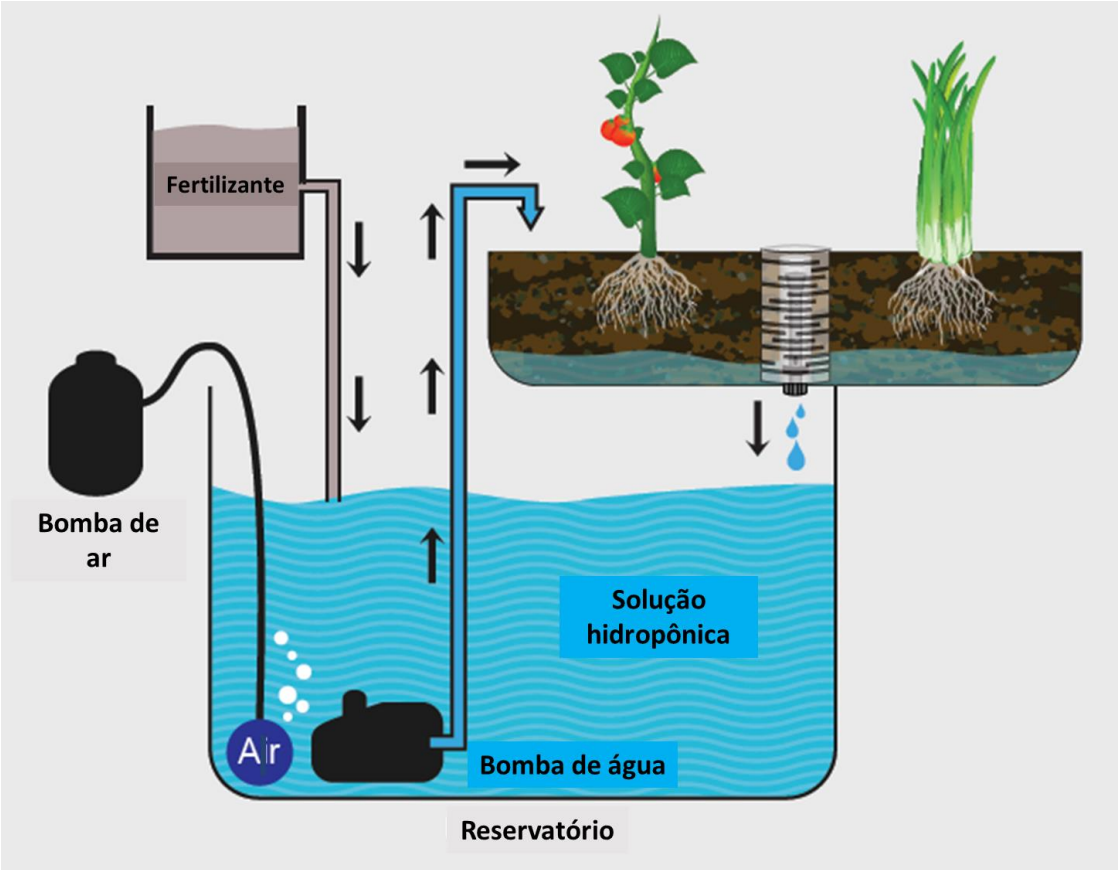


FIGURA 1.3 **Unidade hidropônica simples**

A agricultura sem solo tem sido usada para reduzir pragas e doenças de solo que afetam monoculturas. A hidroponia pode de fato controlar pragas e doenças de solo evitando o contato entre as plantas e o solo, e porque os substratos podem ser esterilizados e reutilizados entre as colheitas. Essa reutilização de substratos atende especialmente às demandas de produção intensiva. Alguns substratos são muito melhores do que o solo, particularmente em termos de capacidade de retenção de água e suprimento de oxigênio na zona da raiz. Os produtores que utilizam esse sistema têm também melhorado o desempenho das plantas cultivadas por meio de um maior controle sobre vários fatores cruciais para o crescimento da planta. A disponibilidade de nutrientes nas raízes das plantas é melhor manipulada, monitorada e controlada em tempo real, levando a maiores produtividades, tanto de forma quantitativa quanto

qualitativa. Além disso, a maioria dos métodos de cultivo sem solo usa uma fração da água necessária para a produção tradicional realizada no solo porque a solução nutritiva é reciclada.

A agricultura sem solo é um aspecto dos principais desenvolvimentos científicos, econômicos e tecnológicos no campo geral da agricultura nos últimos 200 anos. Em geral, mas predominantemente em nações desenvolvidas em climas temperados, tem havido um aumento da demanda por safras fora da estação e de alto valor. Em parte, isso é resultado de uma ampla melhoria nos padrões de vida. Esse aumento da demanda levou à expansão de muitos tipos de sistemas de cultivo protegidos para aumentar a capacidade produtiva e prolongar a oferta de safras ao longo do ano. Dentro desses sistemas protegidos, as culturas podem ser cultivadas no solo. No entanto, para se manter competitivos com a produtividade da agricultura em campo aberto, a intensidade teve que aumentar para compensar os maiores custos de produção associados à agricultura em ambiente controlado. Como resultado, houve uma mudança da produção em solo ao cultivo sem solo para atender às necessidades de mudança da agricultura. Esta abordagem fornece alternativas ao processo tóxico de esterilização do solo para controlar pragas e patógenos e pode ajudar a superar os problemas de exaustão do solo que as práticas da monocultura têm trazido.

Além de seus rendimentos significativamente maiores em comparação com a agricultura tradicional, a agricultura sem solo também é importante devido à sua maior eficiência no uso de recursos como água e fertilizantes, o que torna a hidroponia a técnica de cultivo mais adequada nas regiões áridas ou em qualquer lugar onde a dispersão de nutrientes seja um problema por razões ambientais e econômicas. A necessidade de substituição do solo torna a hidroponia uma solução indispensável em áreas onde a terra arável não está disponível. A agricultura sem solo pode ser desenvolvida em terras áridas, em áreas propensas a salinidade, bem como em ambientes urbanos e suburbanos ou em qualquer local em que exista competição por terra e água ou condições climáticas desfavoráveis exijam a adoção de sistemas intensivos de produção. A alta produtividade para o pequeno espaço necessário torna a agricultura sem solo um método interessante para a segurança alimentar ou para o desenvolvimento da agricultura em microescala para alimentos produzidos localmente.

Para resumir, as quatro principais razões pelas quais o cultivo sem solo é uma prática agrícola em expansão: diminuição da presença de doenças e patógenos transmitidas pelo solo devido às condições estéreis; melhores condições de cultivo que podem ser manipuladas para atender às necessidades ótimas da planta levando a maiores rendimentos; maior eficiência no uso de água e fertilizantes; e a possibilidade de desenvolver a agricultura onde não há disponibilidade de terras adequadas. Além do aumento da demanda por produtos livres de químicos e pesticidas e práticas agrícolas muito mais sustentáveis, pesquisas têm sido amplamente desenvolvidas com a produção de alimentos orgânicos e métodos de cultivo sem solo. A seção 6.1 discute essas diferenças com mais detalhes.

Uma grande preocupação com relação à sustentabilidade da agricultura moderna é a completa dependência de fertilizantes químicos manufaturados para produzir alimentos. Esses nutrientes e outros insumos podem ser caros e de difícil obtenção, e muitas vezes vêm de práticas ambientalmente agressivas sendo responsável por uma contribuição substancial de toda a emissão de dióxido de carbono (CO_2) da agricultura. O suprimento de muitos desses nutrientes essenciais está sendo esgotado em um ritmo rápido, com projeções de escassez global nas próximas décadas. A hidroponia é muito mais eficiente em termos de uso de água e nutrientes do que a agricultura baseada no solo, mas seu manejo é mais complexo e requer um conjunto diferente de insumos e recursos, especialmente durante a instalação. Geralmente, a eletricidade é necessária para circular ou oxigenar a água. No entanto, não requer combustível para arar o solo, não requer energia adicional para bombear volumes muito maiores de água para irrigação ou para realizar o controle de plantas daninhas, e não prejudica a matéria orgânica do solo por meio de práticas agrícolas intensivas. Os custos iniciais, materiais de construção e dependência de eletricidade e insumos também serão limitações importantes para a aquaponia, mas, neste caso, não há a necessidade de fertilizantes químicos.

1.2 AQUICULTURA

A aquicultura é a criação e produção em cativeiro de peixes e outros animais aquáticos e espécies de plantas em condições controladas. Muitas espécies aquáticas têm sido cultivadas, especialmente peixes, crustáceos e moluscos e plantas aquáticas e algas. Os métodos de produção em aquicultura têm sido desenvolvidos em várias regiões do mundo e tem sido, portanto, adaptado às condições ambientais e climáticas específicas dessas regiões. As quatro categorias principais de aquicultura incluem sistemas em ‘mar aberto’ (por exemplo, gaiolas, espinhel), viveiros/lagoas, canais de água (por exemplo, *raceways*) e sistemas de recirculação aquícola (RAS). Em um sistema RAS (Figura 1.4) a água é reutilizada pelos peixes após uma limpeza e um processo de filtragem. Embora um RAS não seja o sistema de produção mais barato devido aos seus maiores custos de investimento, energia e gerenciamento, pode aumentar consideravelmente a produtividade por unidade de terra e é a tecnologia de economia de água mais eficiente em piscicultura. Um RAS é o método mais aplicável para o desenvolvimento de sistemas integrados de aquicultura e agricultura devido a possibilidade do uso de subprodutos e as maiores concentrações de nutrientes na água para a produção de hortaliças. A aquaponia foi desenvolvida a partir do acúmulo benéfico de nutrientes que ocorrem em RASs e, portanto, é o foco principal deste manual.

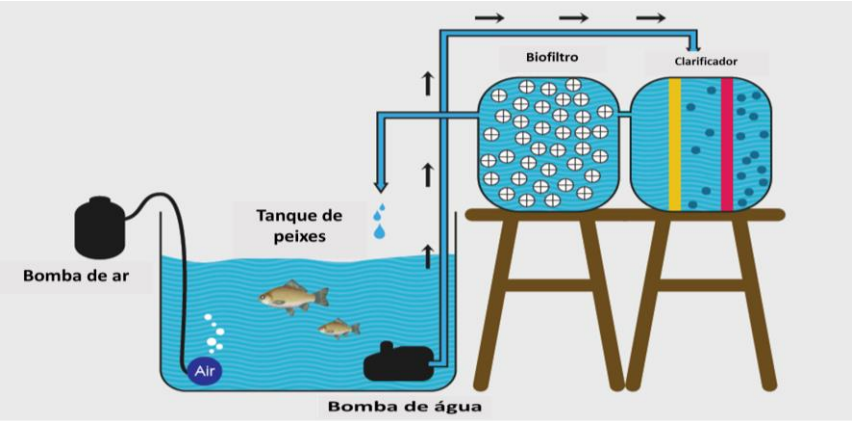


FIGURA 1.4 **Sistema de recirculação de aquicultura (RAS)**

A aquicultura é uma fonte cada vez mais importante de produção global de proteínas. De fato, a aquicultura responde por quase metade dos peixes consumidos no mundo, com a produção da aquicultura igualando os desembarques da pesca pela primeira vez em 2012. A aquicultura tem o potencial de diminuir a pressão sobre a pesca mundial e reduzir significativamente a 'pegada ecológica' de sistemas de criação de animais terrestres menos sustentáveis no fornecimento de proteína animal aos humanos. No entanto, dois aspectos da aquicultura podem ser abordados para melhorar a sustentabilidade desta técnica. Um grande problema para a sustentabilidade da aquicultura é o tratamento de águas residuais ricas em nutrientes, que é um subproduto de todos os métodos de aquicultura mencionados acima. Dependendo das regulamentações ambientais estabelecidas por cada país, os agricultores devem tratar ou descartar o efluente, que pode ser caro e prejudicial ao meio ambiente. Sem tratamento, a liberação de água rica em nutrientes pode levar à eutrofização e hipóxia na bacia hidrográfica e áreas costeiras locais, bem como ao crescimento excessivo de macroalgas nos recifes de coral e outros distúrbios ecológicos e econômicos. Cultivar plantas no fluxo de efluentes é uma forma de prevenir sua liberação no meio ambiente e de obter benefícios econômicos adicionais de safras que crescem com subprodutos gratuitos por meio de irrigação, áreas alagadas e outras técnicas. Outra preocupação com a sustentabilidade é que a aquicultura depende muito da farinha de peixe como principal ingrediente de rações para peixes. Do ponto de vista da conservação, isso é como pagar uma dívida incorrendo em outra, e ingredientes alternativos para rações devem ser considerados no futuro da aquicultura. A maior parte desta publicação é dedicada ao reúso de efluentes da aquicultura como um produto de valor agregado, enquanto alimentos alternativos para peixes e suas maneiras de contribuir para reduzir a pegada ecológica da aquicultura são discutidos na Seção 9.1.2.

1.3 AQUAPONIA

Aquaponia é a integração da recirculação da aquicultura e da hidroponia em um sistema de produção. Em uma unidade aquapônica, a água do tanque de peixes passa pelos filtros, canteiros de plantas e depois volta para os peixes (Figura 1.5). Nos filtros, os resíduos do pescado são retirados da água, primeiro por meio de um filtro mecânico que remove os resíduos sólidos e, a seguir, por um biofiltro que processa os resíduos dissolvidos. O biofiltro fornece um local para as bactérias que convertem a amônia, que é tóxica para os peixes, em nitrato, um nutriente mais acessível para as

plantas. Este processo é denominado nitrificação. Conforme a água (contendo nitrato e outros nutrientes) percorre os canteiros das plantas, estas absorvem esses nutrientes e, finalmente, a água retorna purificada para o tanque dos peixes. Esse processo permite que peixes, plantas e bactérias prosperem simbioticamente e trabalhem juntos, desde que o sistema esteja devidamente equilibrado.

Na aquaponia, o efluente da aquicultura é desviado através de canteiros e não é lançado no meio ambiente, ao mesmo tempo em que os nutrientes para as plantas são fornecidos de uma fonte sustentável, econômica e não química. Essa integração remove alguns dos fatores insustentáveis do funcionamento dos sistemas de aquicultura e hidroponia de forma independente. Além dos benefícios derivados dessa integração, a aquaponia mostrou que sua produção de plantas e peixes é comparável à hidroponia e aos sistemas de aqüicultura de recirculação. A aquaponia pode ser mais produtiva e economicamente viável em certas situações, especialmente onde a terra e a água são limitadas. No entanto, a aquaponia é complicada e requer custos iniciais substanciais. O aumento da produção deve compensar os custos de investimento mais altos necessários para integrar os dois sistemas. Por isso, antes de se comprometer com um sistema grande ou caro, deve-se fazer um plano de negócios completo considerando os aspectos econômicos, ambientais, sociais e logísticos.

Embora a produção de peixes e vegetais seja o resultado mais visível das unidades aquapônicas, é essencial entender que a aquaponia é o manejo de um ecossistema completo que inclui três grandes grupos de organismos: peixes, plantas e bactérias.

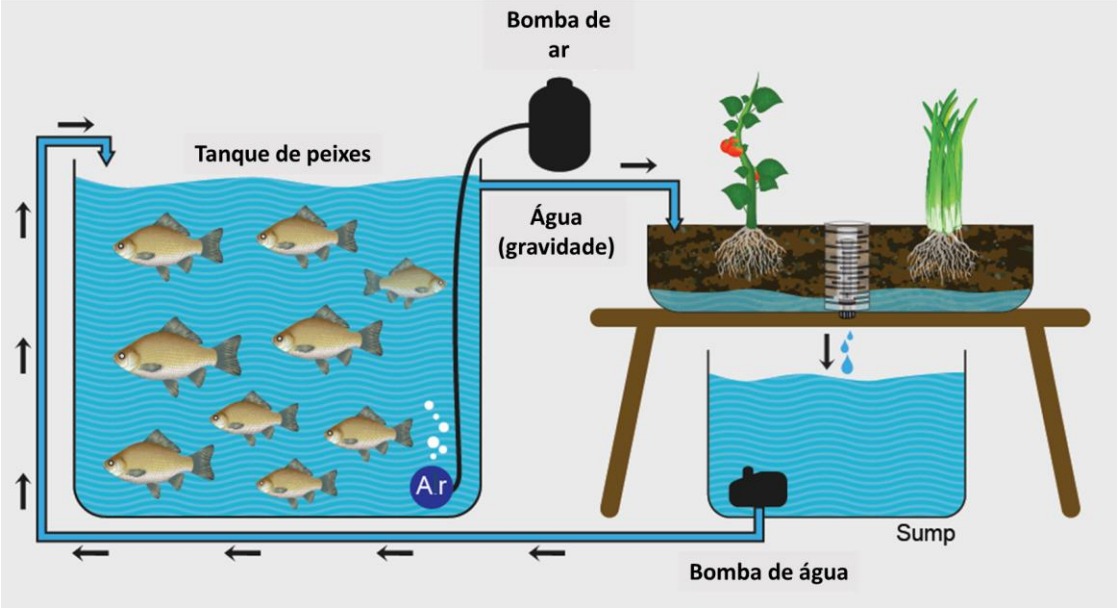


FIGURA 1.5 **Unidade aquapônica simples**

1.4 APLICABILIDADES DA AQUAPONIA

A aquaponia combina dois dos sistemas mais produtivos em seus respectivos campos. Os sistemas de recirculação em aquicultura e hidroponia tem tido ampla expansão no mundo, não apenas por seus rendimentos mais elevados, mas também por seu melhor uso da terra e da água, métodos mais simples de controle de poluição, gestão aprimorada de fatores produtivos, sua maior qualidade de produtos e maior

segurança alimentar (Quadro 1). No entanto, a aquaponia pode ser excessivamente complicada e cara e requer acesso consistente a alguns insumos.

Quadro 1

Vantagens e desvantagens da produção aquapônica de alimentos

Principais vantagens:

- Sistema de produção alimentar intensivo e sustentável.
- Dois produtos agropecuários (peixes e vegetais) são produzidos a partir de uma fonte de nitrogênio (ração de peixe).
- Extremamente eficiente no uso da água.
- Não requer solo.
- Não usa fertilizantes ou pesticidas químicos.
- Maiores rendimentos e produção qualitativa.
- Manejo e produção baseados em sistemas orgânicos.
- Maior nível de biossegurança e menores riscos de contaminantes externos.
- Maior controle da produção levando a menores perdas.
- Pode ser usado em terras não aráveis, como desertos, solo degradado, arenoso e salino.
- Gera pouco resíduo.
- Tarefas diárias, colheita e plantio economizam trabalho e, portanto, podem ser realizados por todos os gêneros e idades.
- Produção econômica, tanto da produção familiar de alimentos quanto de safras comerciais, em muitos locais.
- Materiais de construção e base de informações estão amplamente disponíveis.

Principais desvantagens:

- Custos iniciais de instalação altos em comparação com a produção de hortaliças no solo ou hidroponia.
- O conhecimento sobre peixes, bactérias e produção de plantas é necessário para que cada produtor seja bem-sucedido.
- Os requerimentos da produção de peixes e de plantas nem sempre correspondem perfeitamente.
- Não recomendado em locais onde peixes e plantas cultivados não possam ser mantidos em seus níveis ideais de temperatura.
- Opções de manejo reduzidas em comparação com aquicultura autônoma ou sistemas hidropônicos.
- Erros ou acidentes podem causar colapso do sistema.
- O manejo diário é obrigatório.
- Exigente em energia.
- Requer acesso confiável à eletricidade, alevinos e sementes de plantas.
- Sozinhos, os produtos da aquaponia não fornecem uma dieta completa.

A aquaponia é uma técnica que tem seu lugar dentro do contexto mais amplo da agricultura intensiva sustentável, especialmente em aplicações em escala familiar. Oferece métodos de apoio e colaboração para a produção de hortaliças e peixes e pode cultivar quantidades substanciais de alimentos em locais e situações onde a agricultura baseada no solo é difícil ou impossível. A sustentabilidade da aquaponia considera a dinâmica ambiental, econômica e social. Economicamente, esses sistemas requerem

um investimento inicial substancial, mas são seguidos por baixos custos recorrentes e retornos combinados de peixes e hortaliças. Ambientalmente, a aquaponia evita que o efluente da aquicultura seja lançado no ambiente e polua a bacia hidrográfica. Ao mesmo tempo, a aquaponia permite um maior controle da água e da produção. A aquaponia não depende de produtos químicos como fertilizantes ou os utilizados para o controle de pragas ou plantas daninhas, o que torna os alimentos mais seguros contra resíduos em potencial. Socialmente, a aquaponia pode oferecer melhorias de qualidade de vida porque o alimento é cultivado localmente e cultivos culturalmente apropriados podem ser produzidos. Ao mesmo tempo, a aquaponia pode integrar estratégias de subsistência para garantir alimentos e pequenos rendimentos para famílias pobres e sem terra. A produção doméstica de alimentos, o acesso aos mercados e a aquisição de habilidades são ferramentas inestimáveis para garantir o empoderamento e a emancipação das mulheres nos países em desenvolvimento, e a aquaponia pode fornecer a base para um crescimento socioeconômico justo e sustentável. A proteína do peixe é um complemento valioso para as necessidades dietéticas de muitas pessoas, visto que muitas vezes falta proteína na horticultura de pequena.

A aquaponia é mais apropriada onde a terra é cara, a água é escassa e o solo é pobre. Desertos e áreas áridas, ilhas arenosas e hortas urbanas são os locais mais apropriados para a aquaponia porque usa um mínimo absoluto de água. Não há necessidade de solo, e a aquaponia evita os problemas associados à compactação do solo, salinização, poluição, doenças, esgotamento e degradação. Da mesma forma, a aquaponia pode ser usada em ambientes urbanos e periurbanos onde nenhuma ou pouquíssima terra está disponível, fornecendo um meio de cultivar plantações densas em pequenas varandas, pátios, dentro de casa ou em terraços e lajes.

No entanto, esta técnica pode ser complicada e unidades em pequena escala nunca fornecerão todos os alimentos para uma família. Os sistemas aquapônicos são caros; o proprietário deve instalar um sistema de aquicultura completo e um sistema hidropônico, e este é o elemento mais importante a se considerar ao iniciar um sistema de aquaponia. Além disso, o manejo para ser bem-sucedido requer conhecimento e manutenção diária dos três grupos separados de organismos envolvidos (peixes, bactérias, plantas). A qualidade da água também precisa ser monitorada e manejada. São necessárias habilidades técnicas para construir e instalar os sistemas, especialmente no caso de encanamento e fiação. O sistema de aquaponia pode ser impraticável e até desnecessário em locais com acesso à terra, solo fértil, espaço adequado e água disponível. Comunidades agrícolas fortes podem achar que a aquaponia é excessivamente complicada quando o mesmo alimento pode ser cultivado diretamente no solo. Nesses casos, a aquaponia pode se tornar um hobby caro, em vez de um sistema dedicado à produção de alimentos. Além disso, a aquaponia requer acesso consistente a alguns insumos. A eletricidade é necessária para todos os sistemas aquapônicos descritos nesta publicação, e redes elétricas não confiáveis e/ou um alto custo de eletricidade pode tornar a aquaponia inviável em alguns locais. A alimentação dos peixes precisa ser comprada regularmente e deve haver acesso a alevinos e sementes/mudas de plantas. Esses insumos podem ser reduzidos (painéis solares, produção de ração para peixes, reprodução de peixes e propagação de plantas), mas essas tarefas requerem conhecimento adicional e aumentam o tempo de manejo diário, e podem ser muito onerosas e demoradas para um sistema de pequena escala.

Dito isso, o sistema aquapônico básico funciona em uma ampla gama de condições, e as unidades podem ser projetadas e dimensionadas para atender ao nível de habilidade e interesse de muitos produtores. Existe uma grande variedade de designs de sistemas aquapônicos, desde alta e baixa tecnologia, e desde níveis de

preços elevados a razoáveis. A aquaponia é bastante adaptável e pode ser desenvolvida com materiais locais e conhecimento doméstico, e para se adequar às condições culturais e ambientais locais. Sempre exigirá uma pessoa dedicada e interessada, ou grupo de pessoas, para manter e manejar o sistema diariamente. Informações substanciais sobre treinamento estão disponíveis em livros, artigos e comunidades online, bem como em cursos de treinamento, agentes de extensão rural e consultoria especializada. Aquaponia é um sistema combinado, o que significa que os custos e os benefícios são ampliados. O sucesso é derivado da produção local, sustentável e intensiva de peixes e plantas e, possivelmente, estes poderiam ser maiores do que os dois componentes considerados separadamente, desde que a aquaponia seja usada em locais apropriados, considerando suas limitações.

1.5 UMA BREVE HISTÓRIA DA TECNOLOGIA AQUAPÔNICA MODERNA

O conceito de usar dejetos fecais de peixes para fertilizar plantas existe há milênios, com as primeiras civilizações na Ásia e na América do Sul aplicando esse método. Por meio do trabalho pioneiro do New Alchemy Institute e de outras instituições acadêmicas norte-americanas e europeias no final dos anos 1970, e pesquisas adicionais nas décadas seguintes, essa forma básica de aquaponia evoluiu para os modernos sistemas de produção de alimentos de hoje. Antes dos avanços tecnológicos da década de 1980, a maioria das tentativas de integrar a hidroponia e a aquicultura teve sucesso limitado. As décadas de 1980 e 1990 testemunharam avanços em desenho de sistemas, biofiltração e identificação das proporções ideais entre peixes e plantas, o que levou à criação de sistemas fechados que permitem a reciclagem de água e o acúmulo de nutrientes para o crescimento das plantas. Em seus primeiros sistemas aquapônicos, a Universidade do Estado da Carolina do Norte - North Carolina State University (Estados Unidos da América) demonstrou que o consumo de água em sistemas integrados era de apenas 5 % do utilizado para o cultivo de tilápia em viveiros. Este desenvolvimento, entre outras iniciativas importantes, apontou para a adequação dos sistemas integrados de aquicultura e hidroponia para a criação de peixes e hortaliças, especialmente em regiões áridas e pobres em água.

Embora em uso desde a década de 1980, a aquaponia ainda é um método relativamente novo de produção de alimentos, com apenas um pequeno número de centros de pesquisa e prática com ampla experiência em aquaponia em todo o mundo. James Rakocy é um líder do setor de pesquisa e desenvolvimento por meio de seu trabalho na Universidade das Ilhas Virgens - University of the Virgin Islands (Estados Unidos da América). Ele desenvolveu proporções e cálculos vitais para maximizar a produção de peixes e hortaliças enquanto mantém um ecossistema equilibrado. Na Austrália, Wilson Lenard também produziu cálculos importantes e planos de produção para outros tipos de sistemas. Em Alberta, Canadá, a pesquisa de Nick Savidov durante um período de dois anos produziu resultados que mostram que as unidades aquapônicas tiveram uma produção significativamente superior de tomate e pepino quando alguns níveis de nutrientes essenciais foram atingidos. Mohammad Abdus Salam, da Universidade Agrícola de Bangladesh - Bangladesh Agricultural University avançou no campo da agricultura de subsistência em escala doméstica com aquaponia. Essas descobertas de pesquisa, assim como muitas outras, abriram caminho para vários grupos de profissionais e empresas de suporte/treinamento que estão

começando a surgir em todo o mundo. Leituras sugeridas das obras-chave em aquaponia são fornecidas no final desta publicação.

1.6 APLICAÇÕES ATUAIS DA AQUAPONIA

Esta seção final discute brevemente algumas das principais aplicações da aquaponia vistas ao redor do mundo. O Apêndice 6 inclui mais explicações sobre onde e em que contextos a aquaponia é mais aplicável.

1.6.1 Aquaponia doméstica - pequena escala

As unidades aquapônicas com um tanque de peixes de cerca de 1.000 L e espaço de cultivo de cerca de 3 m^2 são consideradas de pequena escala e são apropriadas para a produção doméstica de uma família (Figura 1.6). Unidades deste tamanho foram testadas com grande sucesso em muitas regiões do mundo. O objetivo principal dessas unidades é a produção de alimentos para subsistência e uso doméstico, pois muitas unidades podem ter vários tipos de hortaliças e ervas crescendo ao mesmo tempo. Nos últimos cinco anos, grupos, sociedades e fóruns aquapônicos desenvolveram-se consideravelmente e serviram para disseminar recomendações e lições aprendidas nessas unidades de pequena escala.

FIGURA 1.6 **Unidade aquapônica doméstica de quintal em uma área árida**

1.6.2 Aquaponia semicomercial e comercial

Devido ao alto custo inicial de implantação e à experiência abrangente limitada com esta escala, os sistemas aquapônicos comerciais e/ou semicomerciais são poucos em número (Figura 1.7). Muitos empreendimentos comerciais fracassaram porque os lucros não atenderam às demandas do plano de investimento inicial. A maioria dos que existem usa práticas de monocultura, normalmente a produção de alface ou manjericão. Embora muitos institutos acadêmicos nos Estados Unidos da América, Europa e Ásia tenham construído grandes unidades, a maioria foi destinada à pesquisa acadêmica, e não à produção de alimentos, e não se destina ou foi projetada para competir com outros produtores do setor privado. Existem várias fazendas de sucesso em todo o mundo. Um grupo de especialistas no Havaí criou um sistema comercial completo, além de também obter a certificação orgânica para sua unidade, o que lhes permitiu obter um maior retorno financeiro para sua produção. Outra operação aquapônica de grande escala e comercialmente bem-sucedida está localizada em Newburgh, Nova York (Estados Unidos da América), e obtêm lucros por meio de vários fluxos de receita de diversas espécies de peixes e vegetais e uma estratégia de marketing bem-sucedida para restaurantes locais, mercearias, feiras e locais de vendas de alimentos saudáveis e mercados de agricultores.

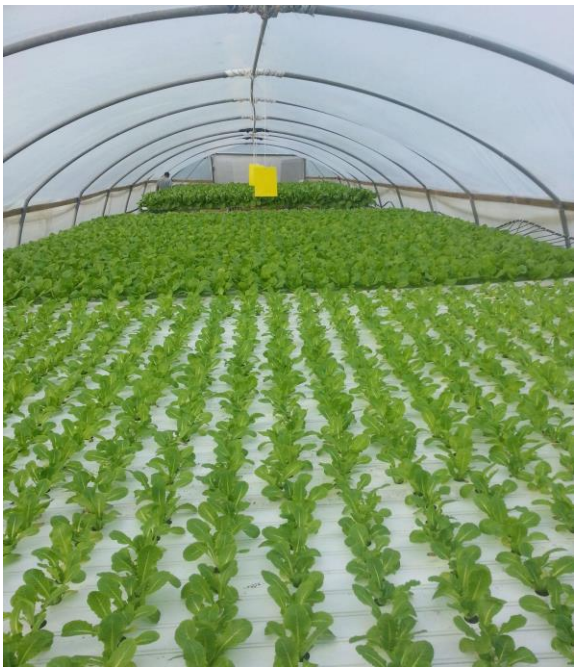


FIGURA 1.7 **Sistema aquapônico comercial de porte médio**

Planos de negócios detalhados com pesquisa de mercado completa sobre vegetais e peixes mais lucrativos nos mercados locais e regionais são essenciais para qualquer empreendimento de sucesso, assim como as experiências com aquaponia em pequena escala, aquicultura comercial e hidroponia comercial.

1.6.3 Educação

Unidades aquapônicas de pequena escala estão sendo propostas em vários institutos educacionais, incluindo escolas primárias e secundárias, faculdades e universidades, centros de educação especial e de adultos, bem como organizações

comunitárias (Figura 1.8). A aquaponia está sendo utilizada como um veículo para preencher a lacuna entre a população em geral e as técnicas agrícolas sustentáveis, incluindo atividades sustentáveis congruentes, como coleta de água da chuva, reciclagem de nutrientes e produção de alimentos orgânicos, que podem ser integradas aos planos de ensino. Além disso, esta natureza integrada da aquaponia fornece experiência prática de aprendizado de tópicos abrangentes, como anatomia e fisiologia, biologia e botânica, física e química, bem como ética, culinária e estudos gerais de sustentabilidade.

FIGURA 1.8 **Unidade aquapônica combinada para fins educacionais. (A) técnica do filme de nutrientes; (B) leito de mídia; (C) cultivo em águas profundas; (D) tanque de peixes**

1.6.4 Ajuda humanitária e intervenções de segurança alimentar

Com o advento de sistemas aquapônicos altamente eficientes, tem havido interesse em descobrir como o conceito se sobressai em países em desenvolvimento. Exemplos de iniciativas aquapônicas podem ser vistos em Barbados, Brasil, Botswana, Etiópia, Gana, Guatemala, Haiti, Índia, Jamaica, Malásia, México, Nigéria, Panamá, Filipinas, Tailândia e Zimbábue (Figura 1.9). À primeira vista, parece haver uma quantidade considerável de instalações de unidades aquapônicas na esfera humanitária. Além disso, as unidades aquapônicas de pequena escala são componentes de algumas iniciativas de agricultura urbana ou periurbana, particularmente com organizações não governamentais e outros envolvidos em segurança alimentar e nutricional urbana, devido à sua capacidade de serem instaladas em muitas paisagens urbanas diferentes. Em particular, a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) desenvolveu unidades aquapônicas de pequena escala em terraços e lajes de casas na Cisjordânia e Faixa de Gaza - em resposta aos problemas crônicos de

segurança alimentar e nutricional observados em toda a região (Figura 1.10). Até o momento, este projeto-piloto e o subsequente aumento de escala são exemplos de um número crescente de exemplos em todo o mundo onde a aquaponia está sendo integrada com sucesso em intervenções emergenciais de segurança alimentar de média escala. No entanto, muitas tentativas são realizadas conforme a necessidade surge, em muitos casos levando a intervenções autônomas de baixo impacto, portanto, deve-se ter cuidado ao avaliar o sucesso da aquaponia humanitária.

Nos últimos anos, houve uma onda de conferências sobre aquaponia em todo o mundo. Além disso, a aquaponia é cada vez mais uma parte das conferências sobre aquicultura e hidroponia. Muitos desses paineis descrevem as preocupações crescentes entre pesquisadores de diferentes origens e especializações, formuladores de políticas e partes interessadas para encontrar soluções sustentáveis para garantir um crescimento duradouro e garantir o aumento da produção de alimentos para uma população mundial em crescimento.

FIGURA 1.9 **Unidade aquapônica de pequena escala**

FIGURA 1.10 **Unidade aquapônica de pequena escala em um terraço**

2. COMPREENDENDO A AQUAPONIA

A partir da explicação inicial sobre aquaponia no Capítulo 1, este capítulo discute os processos biológicos que ocorrem dentro de uma unidade aquapônica. Primeiro, o capítulo explica os principais conceitos e processos envolvidos, incluindo o processo de nitrificação. Em seguida, examina o papel vital das bactérias e seus principais processos biológicos. Finalmente, há uma discussão sobre a importância de equilibrar o ecossistema aquapônico que consiste de peixes, plantas e bactérias, incluindo como isso pode ser alcançado mantendo uma unidade aquapônica ao longo do tempo.

2.1 COMPONENTES BIOLÓGICOS IMPORTANTES DA AQUAPONIA

Conforme descrito no Capítulo 1, a aquaponia é uma forma de agricultura integrada que combina duas técnicas principais, aquicultura e hidroponia. Em uma unidade de recirculação contínua, a água sai do tanque de peixes contendo os resíduos metabólicos destes. A água passa primeiramente por um filtro mecânico, que retém os resíduos sólidos e, em seguida, passa por um biofiltro que oxida a amônia em nitrato. A água, então, passa pelos canteiros de plantas onde estas absorvem os nutrientes e, finalmente, a água retorna, purificada, para o tanque de peixes (Figura 2.1). O biofiltro fornece um habitat para as bactérias que convertem os resíduos de peixes em nutrientes acessíveis para as plantas. Esses nutrientes, que são dissolvidos na água, são então absorvidos pelas plantas. Esse processo de remoção de nutrientes limpa a água, evitando que ela se torne tóxica com formas prejudiciais de nitrogênio (amônia e nitrito) e permite que peixes, plantas e bactérias prosperem simbioticamente. Assim, todos os organismos trabalham juntos para criar um ambiente de cultivo saudável para o outro, desde que o sistema esteja devidamente equilibrado.

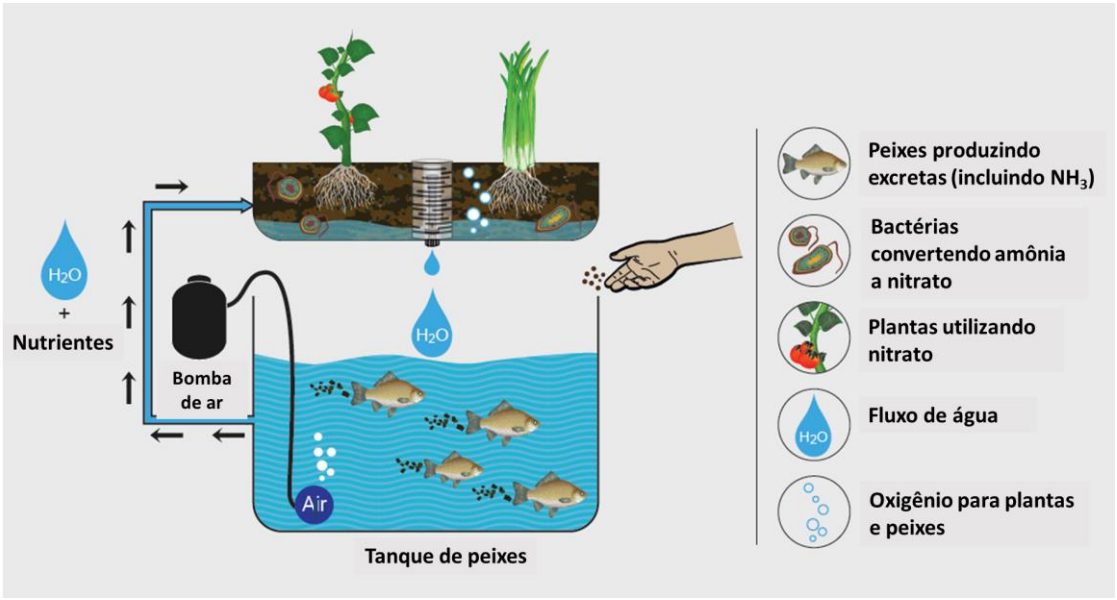


FIGURA 2.1 **Os componentes biológicos do processo aquapônico: peixes, plantas e bactérias**

2.1.1 O ciclo do nitrogênio

O processo biológico mais importante em aquaponia é o processo de nitrificação, que é um componente essencial do ciclo geral do nitrogênio visto na natureza. O nitrogênio (N) é um elemento químico essencial para todas as formas de vida. Está presente em todos os aminoácidos, que constituem todas as proteínas essenciais para muitos processos biológicos essenciais para os animais, como a regulação enzimática, a sinalização celular e a construção de estruturas. O nitrogênio é o nutriente inorgânico mais importante para todas as plantas. O nitrogênio, na forma de gás, é na verdade o elemento mais abundante presente na atmosfera da Terra, constituindo aproximadamente 78 % dela, com o oxigênio representando apenas 21 %. No entanto, apesar de o nitrogênio ser tão abundante, ele está presente na atmosfera apenas como nitrogênio molecular (N_2), que é uma ligação tripla muito estável de átomos de nitrogênio e é inacessível às plantas. Portanto, o nitrogênio em sua forma N_2 deve ser alterado antes para que as plantas o utilizem para o crescimento. Este processo é chamado de fixação de nitrogênio. É parte do ciclo do nitrogênio (Figura 2.2), visto em toda a natureza (Figura 2.3). A fixação do nitrogênio é facilitada por bactérias que alteram quimicamente o N_2 adicionando outros elementos como hidrogênio ou oxigênio, criando assim novos compostos químicos como amônia (NH_3) e nitrato (NO_3^-) que as plantas podem usar facilmente. Além disso, o nitrogênio atmosférico pode ser fixado por meio de um processo de fabricação conhecido como Processo Haber, que consome muita energia, usado para produzir fertilizantes sintéticos.

O animal representado na Figura 2.3 produz resíduos (fezes e urina) que são em grande parte constituídos por amônia (NH_3). Essa amônia é metabolizada por um grupo específico de bactérias, muito importante para a aquaponia, chamadas de bactérias nitrificantes. Essas bactérias, primeiramente, convertem a amônia em compostos de nitrito (NO_2^-) e finalmente em compostos de nitrato (NO_3^-). Plantas são capazes de utilizar amônia e nitrato para realizar seus processos de crescimento, mas o nitrato é mais facilmente assimilado por suas raízes.

FIGURA 2.2 **O ciclo do nitrogênio (simplificado)**

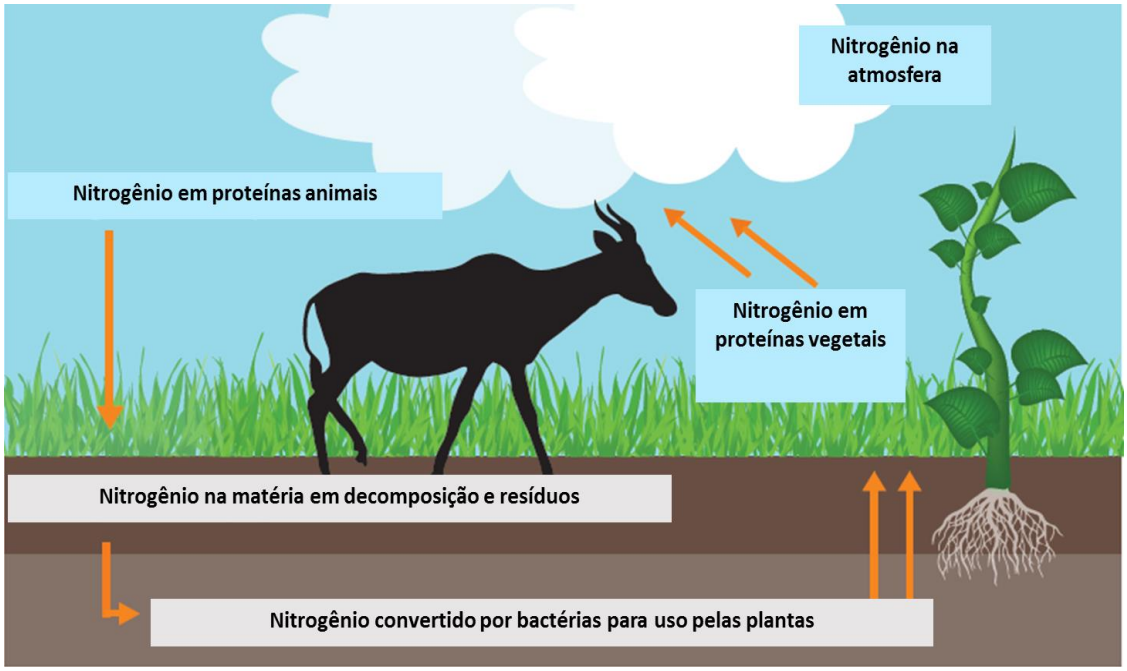


FIGURA 2.3 **Fluxograma de nitrogênio na natureza**

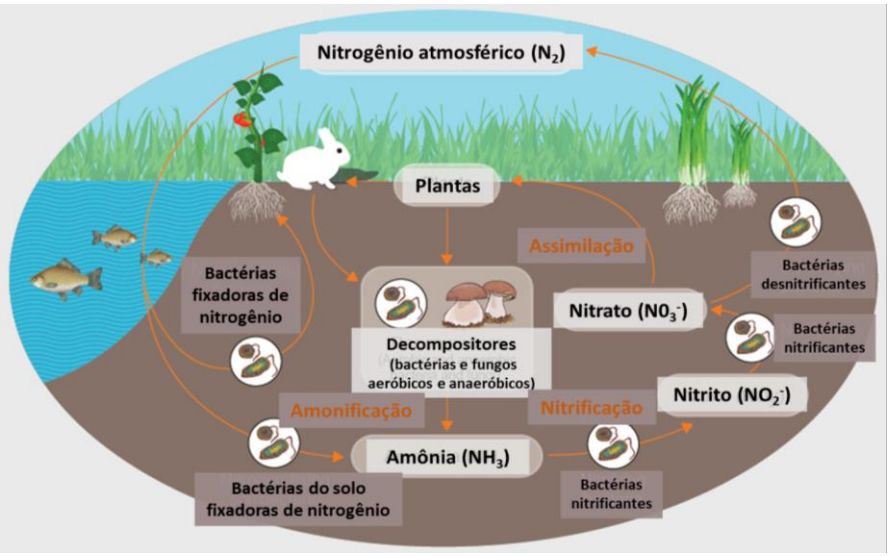


FIGURA 2.4 **Fluxograma de nitrogênio no solo**

As bactérias nitrificantes, que vivem em diversos ambientes como solo, areia, água e ar, são um componente essencial da nitrificação, processo que converte resíduos vegetais e animais em nutrientes acessíveis para as plantas. A Figura 2.4 mostra o mesmo processo ilustrado na Figura 2.3, mas inclui um fluxograma mais complexo mostrando todas as etapas do ciclo do nitrogênio.

Esse processo natural de nitrificação por bactérias que acontece no solo também ocorre na água da mesma forma. Na aquaponia, os dejetos animais são os excrementos de peixes liberados nos tanques de cultivo. As mesmas bactérias nitrificantes que vivem em terra também se estabelecerão naturalmente na água ou em todas as superfícies molhadas, convertendo a amônia dos resíduos dos peixes em nitrato facilmente assimilável para as plantas usarem. A nitrificação em sistemas aquapônicos fornece nutrientes para as plantas e elimina amônia e nitrito que são tóxicos (Figura 2.5).

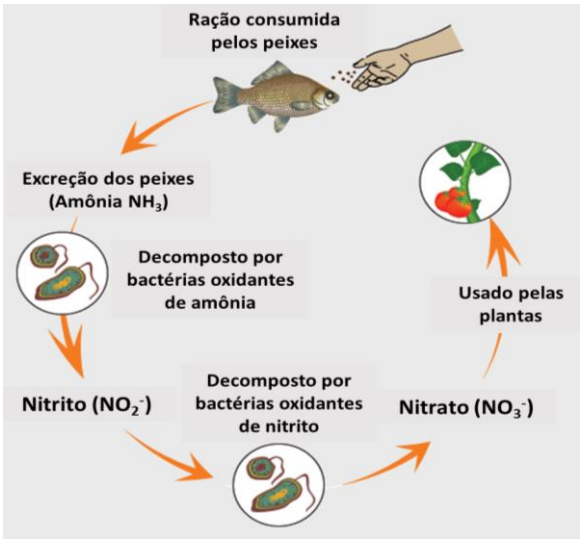


FIGURA 2.5 **Fluxograma de nitrogênio em um sistema aquapônico**

2.2 O BIOFILTRO

Bactérias nitrificantes são vitais para o funcionamento geral de uma unidade aquapônica. O Capítulo 4 descreve como funciona o componente do biofiltro para cada método aquapônico, e o Capítulo 5 descreve os diferentes grupos de bactérias que operam em uma unidade aquapônica. Dois grupos principais de bactérias nitrificantes estão envolvidos no processo de nitrificação (Figura 2.6), na seguinte ordem: 1) as bactérias oxidantes de amônia (BOA), que convertem amônia (NH_3) em nitrito (NO_2^-); 2) as bactérias oxidantes de nitrito (BON), que convertem nitrito (NO_2^-) em nitrato (NO_3^-).

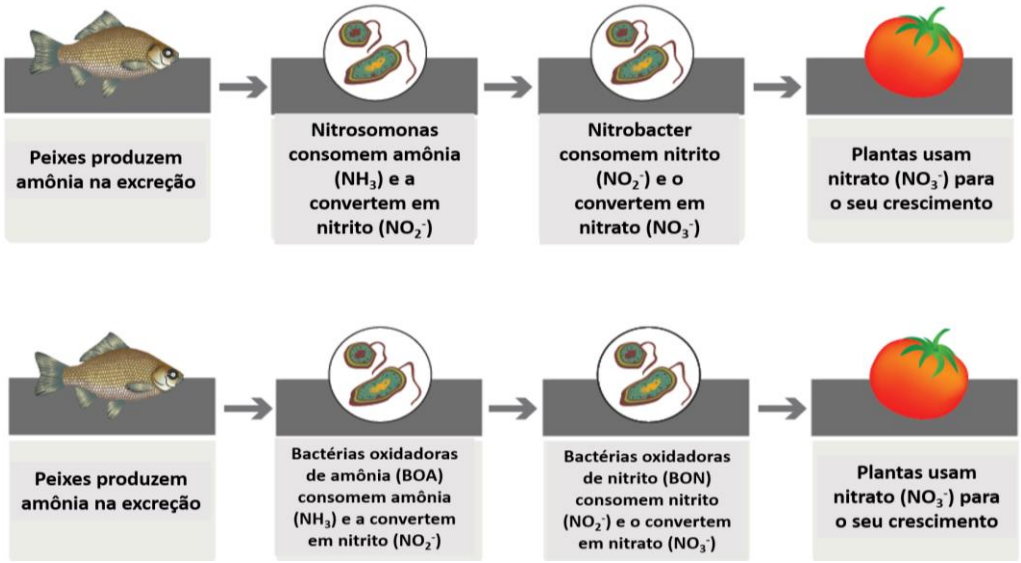


FIGURA 2.6 **O processo de nitrificação em um sistema aquapônico**

Conforme mostrado nos símbolos químicos, BOA oxidam (adicionam oxigênio) a amônia e criam nitrito (NO_2^-) e BON oxidam o nitrito (NO_2^-) em nitrato (NO_3^-). O gênero *Nitrosomonas* é a BOA mais comum em aquaponia, e o gênero *Nitrobacter* é a BON mais comum; esses nomes são frequentemente usados alternadamente na literatura e são usados ao longo desta publicação.

Em resumo, o ecossistema dentro da unidade aquapônica é totalmente dependente de bactérias. Se as bactérias não estiverem presentes ou se não estiverem atuando adequadamente, as concentrações de amônia na água matarão os peixes. É vital manter e gerenciar uma colônia bacteriana saudável no sistema o tempo todo para manter os níveis de amônia próximos à zero.

2.3 MANTENDO UMA COLÔNIA BACTERIANA SAUDÁVEL

Os principais parâmetros que afetam o crescimento das bactérias que devem ser considerados ao manter um biofiltro saudável são a área de superfície específica e as condições de água adequadas.

2.3.1 Área de superfície

As colônias de bactérias se desenvolvem em qualquer material, como raízes de plantas, ao longo das paredes do tanque de peixes e dentro de cada tubo/perfil/canteiro de cultivo. A área de superfície total (área de superfície específica) disponível para essas bactérias determinará a quantidade de amônia que elas são capazes de metabolizar. Dependendo da biomassa dos peixes e do projeto do sistema, as raízes das plantas e as paredes do tanque podem fornecer uma área adequada. Sistemas com alta densidade de estocagem de peixes requerem um componente de biofiltração separado, onde está contido um material com uma alta área superficial específica, como meio de cultivo inerte - cascalho, tufo, argila expandida ou outras mídias biofiltrantes (Figura 2.7).

FIGURA 2.7 **Sistema aquapônico de leito de mídia com argila expandida fornece uma grande área superficial para o crescimento bacteriano**

2.3.2 pH da água

O pH é o quão ácida ou básica a água é, e tem um impacto nas atividades biológicas das bactérias nitrificantes e sua capacidade para converter amônia e nitrito (Figura 2.8). Os intervalos para os dois grupos de bactérias nitrificantes no quadro abaixo foram identificados como ideais, mas a literatura sobre crescimento de bactérias também sugere uma maior faixa de tolerância (6,0-8,5) devido à capacidade das bactérias de se adaptarem ao ambiente.

No entanto, para sistemas aquapônicos, uma faixa de pH mais apropriada é de 6 a 7 porque essa faixa é melhor para as plantas e peixes (o Capítulo 3 discute o comprometimento dos parâmetros de qualidade da água). Além disso, uma perda de eficiência bacteriana pode ser compensada por ter mais bactérias, portanto, os biofiltros devem ser dimensionados adequadamente.

Bactérias nitrificantes	**pH ótimo**
Nitrosomonas spp.	7,2 - 7,8
Nitrobacter spp.	7,2 - 8,2

2.3.3 Temperatura da água

A temperatura da água é um parâmetro importante para as bactérias e para a aquaponia em geral. A faixa de temperatura ideal para o crescimento e produtividade das bactérias é de 17 a 34 °C. Se a temperatura da água cair abaixo de 17 °C, a produtividade das bactérias diminuirá. Abaixo de 10 °C, a produtividade pode ser reduzida em 50 % ou mais. As baixas temperaturas têm grandes impactos no manejo da unidade durante o inverno (ver Capítulo 8).

FIGURA 2.8 **Medidor digital de pH e temperatura**

2.3.4 Oxigênio dissolvido

As bactérias nitrificantes precisam de um nível adequado de oxigênio dissolvido (OD) na água o tempo todo para manter altos níveis de produtividade. A nitrificação é uma reação oxidativa, onde o oxigênio é usado como reagente; sem oxigênio, a reação cessa. A concentração de oxigênio dissolvido na água é expressa em miligramas por litro (mg/L de OD). Os níveis ideais de OD estão entre 4,0 e 8,0 mg/L. A nitrificação diminuirá se as concentrações de OD caírem abaixo de 2,0 mg/L. Além disso, sem concentrações suficientes de OD, outros tipos de bactérias podem crescer, que converterão os valiosos nitratos de volta em nitrogênio molecular inutilizável em um processo anaeróbico conhecido como desnitrificação.

2.3.5 Luz ultravioleta

Bactérias nitrificantes são organismos fotossensíveis, o que significa que a luz ultravioleta (UV) do sol é uma ameaça. Este é particularmente o caso durante a formação inicial das colônias de bactérias, quando um novo sistema aquapônico é instalado. Uma vez que as bactérias colonizam uma superfície (três a cinco dias), a luz ultravioleta não representa um grande problema. Uma maneira simples de evitar essa ameaça é cobrir o tanque de peixes e os componentes de filtração com material de proteção contra os raios ultravioleta e, ao mesmo tempo, garantir que nenhuma água do componente hidropônico seja exposta ao sol, pelo menos até que as colônias de bactérias estejam totalmente formadas.

As bactérias nitrificantes crescerão em material com uma grande área superficial específica (Figura 2.9), protegido com material de proteção UV e em condições de água adequadas (Tabela 2.1).

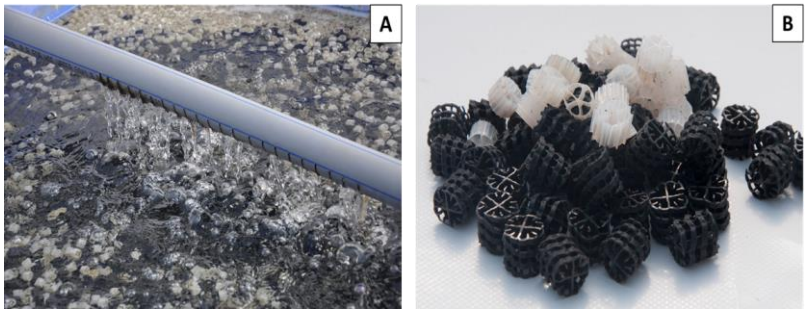


FIGURA 2.9 **Biofiltro aerado (A) contendo mídia filtrante plástica (B)**

TABELA 2.1
Faixas de tolerância de parâmetros de qualidade de água para bactérias nitrificantes

Faixa de tolerância	Temp. (°C)	pH	Amônia (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	OD (mg/L)
	17-34	6,0-8,5	< 3,0	< 3,0	< 400	4,0-8,0

2.4 EQUILIBRANDO O ECOSSISTEMA AQUAPÔNICO

O termo ‘balanceamento’ é usado para descrever todas as medidas que um produtor aquapônico toma para garantir que o ecossistema de peixes, plantas e bactérias esteja em um equilíbrio dinâmico. Um sistema de aquaponia bem-sucedido trata principalmente da manutenção de um ecossistema equilibrado. Simplificando, significa que há um equilíbrio entre a quantidade de peixes, a quantidade de plantas e o tamanho do biofiltro, o que significa, também, a quantidade de bactérias. Existem razões determinadas experimentalmente entre o tamanho do biofiltro, a densidade de plantas e a densidade de estocagem de peixes para aquaponia. É insensato e muito difícil operar além dessas proporções ótimas sem arriscar consequências desastrosas para o ecossistema aquapônico. Os praticantes de aquaponia mais experientes podem testar e ajustar essas proporções, mas é recomendado começar a aquaponia seguindo as proporções recomendadas. Esta seção fornece uma introdução breve, mas essencial, para equilibrar um sistema de aquaponia. Os tamanhos dos biofiltros e as densidades de estocagem são abordados com muito mais profundidade no Capítulo 8.

2.4.1 Balanço de nitrato

O equilíbrio em um sistema aquapônico pode ser comparado a uma escala de equilíbrio onde peixes e plantas são os pesos posicionados em lados opostos da balança. Os ‘braços’ da balança são feitos de bactérias nitrificantes. Portanto, é fundamental que a biofiltração seja robusta o suficiente para suportar os outros dois componentes. Isso corresponde à espessura da alavanca na Figura 2.10. Observe que os braços não eram fortes o suficiente para suportar a quantidade de resíduos de peixes e que o braço se quebrou. Isso significa que a biofiltração foi insuficiente.

Se a biomassa do peixe e o tamanho do biofiltro estiverem em equilíbrio, a unidade aquapônica processará adequadamente a amônia em nitrato. No entanto, se o componente ‘plantas’ for subdimensionado, o sistema começará a acumular nutrientes (Figura 2.11). Em termos práticos, concentrações mais altas de nitrato, por exemplo,

não são prejudiciais aos peixes nem às plantas, mas é uma indicação de que o sistema está com baixo desempenho do lado da planta.

Um erro de manejo comum é quando muitas plantas e poucos peixes são usados, como visto no terceiro cenário mostrado na Figura 2.12. Neste caso, a amônia é processada por bactérias nitrificantes, mas a quantidade de nitrato e outros nutrientes resultantes são insuficientes para cobrir as necessidades das plantas. Essa condição acaba levando a uma redução progressiva nas concentrações de nutrientes e, consequentemente, na produtividade das plantas.

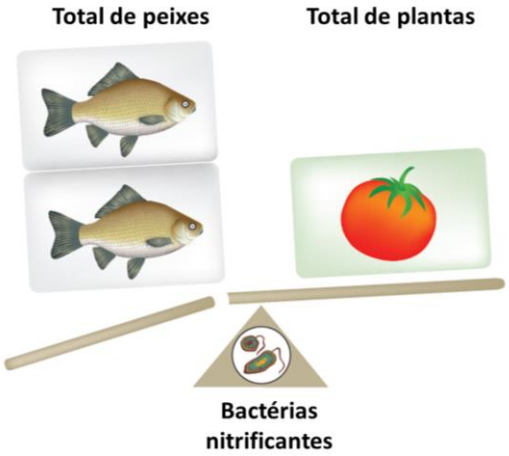


FIGURA 2.10 **Biomassa de peixes excede a capacidade de carga do biofiltro e, portanto, ocorre um acúmulo de amônia tóxica e nitrito**

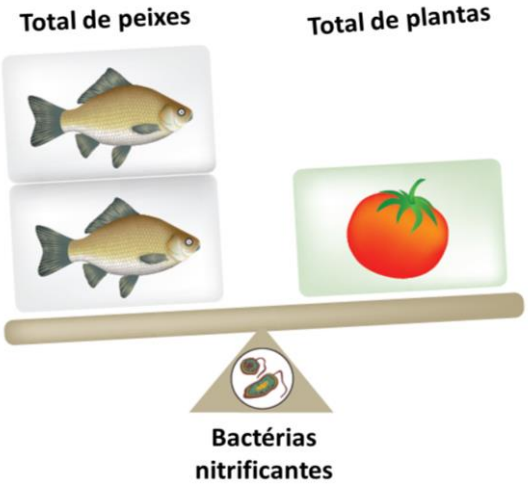


FIGURA 2.11 **Biomassa de peixes e biofiltro estão em proporções corretas, mas o sistema está desequilibrado com poucas plantas e, portanto, excesso de nitrato**

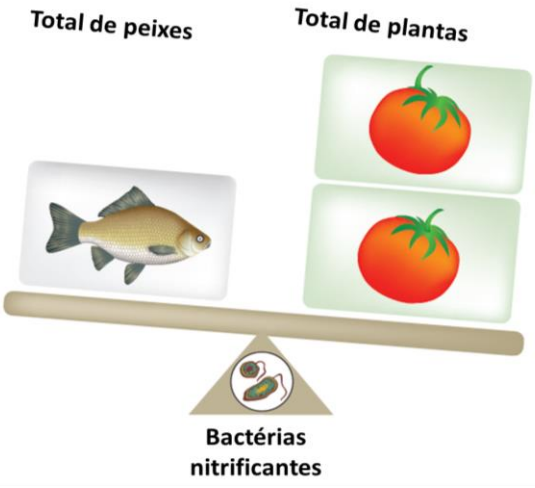


FIGURA 2.12 **Biomassa de peixes e biofiltro estão em proporções corretas, mas o sistema está desequilibrado com muitas plantas e, portanto, insuficiente nível de nitrato**

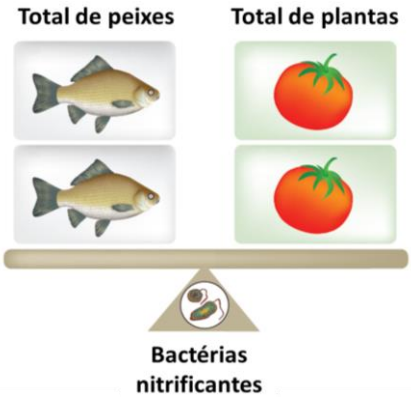


FIGURA 2.13 **Um sistema equilibrado onde peixes, plantas e bactérias estão em equilíbrio dinâmico**

A principal lição demonstrada nos exemplos anteriores é que atingir a produção máxima de um sistema de aquaponia requer a manutenção de um equilíbrio apropriado entre os resíduos de peixes e a demanda de nutrientes pelos vegetais, garantindo uma área de superfície específica adequada para cultivar uma colônia bacteriana capaz de converter todos os resíduos de peixes. Esse cenário equilibrado é mostrado na Figura 2.13. Esse equilíbrio entre peixes e plantas também é conhecido como proporção de biomassa. Unidades aquapônicas bem-sucedidas têm uma biomassa adequada de peixes em relação ao número de plantas ou, mais precisamente, a proporção entre a alimentação dos peixes e a demanda por nutrientes das plantas é balanceada. Embora seja importante seguir as proporções sugeridas para uma boa produção aquapônica de alimentos, há uma ampla gama de proporções viáveis, e os produtores mais experientes já notaram como a aquaponia se torna um sistema autorregulável. Além disso, o sistema aquapônico fornece a um agricultor/produtor mais atento, sinais de alerta à medida que o sistema começa a se desequilibrar, na forma de métricas de qualidade da água e saúde dos peixes e plantas, todos discutidos em detalhes ao longo desta publicação.

2.4.2 Taxa de alimentação

Muitas variáveis são consideradas ao equilibrar um sistema (veja o Quadro 2), mas uma extensa pesquisa simplificou o método de equilibrar uma unidade em uma única razão, chamada razão da taxa de alimentação. A proporção da taxa de alimentação é uma soma das três variáveis mais importantes, que são: a quantidade diária de ração para peixes em gramas por dia, o tipo de planta (vegetativa *vs*. frutificação) e o espaço de crescimento da planta em metros quadrados. Esta proporção sugere a quantidade de alimentação diária de peixes para cada metro quadrado de espaço de cultivo. É mais útil equilibrar um sistema quanto à quantidade de alimento que entra no sistema do que calcular a quantidade de peixes diretamente. Usando a quantidade de ração, é possível calcular quantos peixes com base em seu consumo médio diário.

A taxa de alimentação proporcionará um ecossistema equilibrado para peixes, plantas e bactérias, desde que haja um processo de biofiltração adequado. Use esta proporção ao projetar um sistema aquapônico. É importante notar que a razão da taxa de alimentação é apenas um guia para equilibrar uma unidade aquapônica, pois outras variáveis podem ter impactos maiores em diferentes estágios da estação, como mudanças sazonais na temperatura da água. A taxa de alimentação mais alta para hortaliças frutíferas é responsável pela maior quantidade de nutrientes necessários para essas plantas produzirem flores e frutas em comparação com hortaliças verdes folhosas.

Junto com a proporção da taxa de alimentação, existem dois outros métodos simples e complementares para garantir um sistema equilibrado: verificação de saúde e teste de nitrogênio.

Quadro 2

As principais variáveis a considerar ao equilibrar uma unidade

- Com que capacidade o sistema funcionará.
- Método de produção aquapônica.
- Tipo de peixe (carnívoro *vs*. onívoro, nível de atividade).
- Tipo de alimento para peixes (nível de proteína).
- Tipo de planta (folhas verdes, tubérculos ou frutos).
- Tipo de produção vegetal (uma ou várias espécies).
- Condições ambientais e de qualidade da água.
- Método de filtração.

As taxas diárias recomendadas de fornecimento de ração aos peixes são:

- para hortaliças folhosas: **40-50 g de ração/m^2/dia**
- para hortaliças frutíferas: **50-80 g de ração/m^2/dia**

2.4.3 Verificação da saúde de peixes e plantas

Peixes ou plantas não saudáveis costumam ser um aviso de que o sistema está desequilibrado. Os sintomas de deficiências nas plantas geralmente indicam que não estão sendo produzidos nutrientes suficientes a partir dos dejetos dos peixes. As deficiências de nutrientes geralmente se manifestam como crescimento deficiente, folhas amarelas e desenvolvimento deficiente da raiz, todos discutidos no Capítulo 6. Nesse caso, a densidade de estocagem de peixes, a alimentação (se consumida por

peixes) e o biofiltro podem ser aumentados, ou as plantas podem ser removidas. Da mesma forma, se os peixes apresentarem sinais de estresse, como engasgar com o alimento, 'boquearem' a superfície ou se manterem muito tempo na superfície, com movimentos lentos, esfregando seu corpo nas laterais do tanque, ou apresentando áreas vermelhas ao redor das nadadeiras, olhos e brânquias, ou em casos extremos, morrendo, isso pode ser devido ao acúmulo nas concentrações de amônia tóxica ou de nitrito na água. O aumento nos níveis destes compostos nitrogenados tóxicos, amônia e nitrito, acontece quando há um excesso de resíduos dissolvidos para o componente do biofiltro processar. Qualquer um desses sintomas nos peixes ou plantas indica que o produtor precisa investigar ativamente e corrigir a causa, ou seja, manejar adequadamente o sistema de modo a contornar rapidamente a situação.

2.4.4 Teste de nitrogênio

Este método envolve testar os níveis de nitrogênio na água usando kits de teste de água simples e baratos (Figura 2.14). Se a amônia ou o nitrito estiverem altos (> 1 mg/L), isso indica que a biofiltração é inadequada e a área de superfície específica do biofiltro disponível deve ser aumentada. A maioria dos peixes é intolerante a esses níveis por mais de alguns dias e mortalidades podem ocorrer se os níveis não forem corrigidos. Um nível crescente de nitrato é desejado e implica níveis suficientes dos outros nutrientes necessários para o crescimento vegetal. Os peixes podem tolerar níveis elevados de nitrato, mas se os níveis permanecerem altos (> 150 mg/L) por várias semanas, parte da água deve ser removida e usada para irrigar outras culturas, de modo a otimizar o uso dos nutrientes.

Se os níveis de nitrato forem baixos (< 10 mg/L) por um período de várias semanas, a alimentação dos peixes pode ser aumentada ligeiramente para garantir nutrientes suficientes para os vegetais. No entanto, nunca deixe ração não consumida no tanque de aquicultura. Se isso estiver ocorrendo com frequência, pode ser necessário aumentar a densidade de estocagem dos peixes. Alternativamente, uma parcela das plantas pode ser removida para que haja nutrientes suficientes para as que sobraram. É recomendável testar os níveis de nitrogênio todas as semanas para garantir que o sistema esteja devidamente balanceado. Além disso, os níveis de nitrato são um indicador do nível de outros nutrientes na água.

Novamente, todos os cálculos e proporções mencionados anteriormente, incluindo densidade de estocagem de peixes, capacidade de plantio e tamanhos de biofiltro, são explicados com mais profundidade nos capítulos seguintes (especialmente no Capítulo 8). O objetivo desta seção foi fornecer uma compreensão de quão vital é equilibrar o ecossistema dentro da aquaponia e destacar os métodos e estratégias simples para fazê-lo.

FIGURA 2.14 **Kit de teste de nitrato**

2.5 RESUMO DO CAPÍTULO

- Aquaponia é um sistema de produção que combina a piscicultura com a produção de hortaliças sem solo em um sistema de recirculação.
- Bactérias nitrificantes convertem resíduos de peixes (amônia) em nutrientes para as plantas (nitrato).
- O mesmo processo de nitrificação que ocorre no solo também ocorre no sistema aquapônico.
- A parte mais importante do sistema de aquaponia, as bactérias, é invisível a olho nu.
- Os principais fatores para manter as bactérias saudáveis são a temperatura da água, o pH, o oxigênio dissolvido e a área de superfície específica adequada na qual as bactérias podem se desenvolver.
- Os sistemas aquapônicos bem-sucedidos são equilibrados. A proporção da taxa de alimentação é a principal diretriz para equilibrar a quantidade de ração para peixes em relação à área de cultivo da planta, que é medida em gramas de ração diária por metro quadrado de área de cultivo da planta.
- A taxa de alimentação para hortaliças folhosas é de 40 a 50 g/m^2/dia; As hortaliças frutíferas requerem 50 a 80 g/m^2/dia.
- O monitoramento diário da saúde dos peixes e das plantas fornece um feedback sobre o equilíbrio do sistema. Doenças, deficiências nutricionais e mortes são sintomas de um sistema desequilibrado.
- O teste da água fornecerá informações sobre o equilíbrio do sistema. Amônia alta ou nitrito indica biofiltração insuficiente; nitrato baixo indica muitas plantas ou quantidade de peixes ou ração insuficiente; aumento do nitrato é desejável e indica nutrientes disponíveis para as plantas, embora a água precise ser trocada quando o nitrato for maior que 150 mg/L.

3. QUALIDADE DA ÁGUA EM AQUAPONIA

Este capítulo descreve os conceitos básicos de manejo da água de um sistema aquapônico. O capítulo começa definindo a estrutura e comentários sobre a importância da boa qualidade da água para o sucesso da produção aquapônica de alimentos. Em seguida, os principais parâmetros de qualidade da água são discutidos em detalhes. O gerenciamento e a manipulação de alguns dos parâmetros são discutidos, especialmente no que diz respeito ao fornecimento de água ao reabastecer uma unidade aquapônica.

A água é como o 'fluído vital' de um sistema aquapônico. É o meio pelo qual todos os macro e micronutrientes essenciais são transportados para as plantas e o meio pelo qual os peixes recebem oxigênio. Portanto, é um dos tópicos mais importantes para se compreender. Cinco parâmetros-chave de qualidade da água são discutidos: oxigênio dissolvido (OD), pH, temperatura, nitrogênio total e alcalinidade da água. Cada parâmetro tem impacto sobre todos os três organismos da unidade (peixes, plantas e bactérias), e entender os efeitos de cada parâmetro é crucial. Embora alguns aspectos do conhecimento necessários para a aquaponia parecem complicados, tais como sobre a qualidade da água e a química da água, o manejo é relativamente simples com a ajuda de kits de teste simples (Figura 3.1). A análise da qualidade da água é essencial para manter a boa qualidade do sistema.

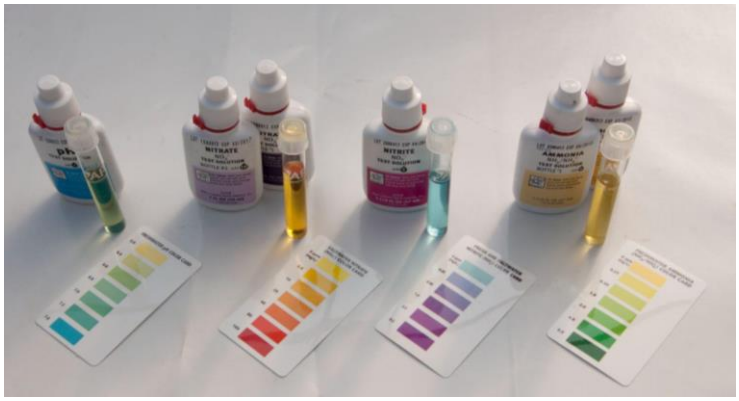


FIGURA 3.1 **Suprimentos essenciais de testes de água**

3.1 TRABALHANDO DENTRO DA FAIXA DE TOLERÂNCIA PARA CADA ORGANISMO

Conforme discutido no Capítulo 2, a aquaponia trata principalmente do equilíbrio de um ecossistema de três grupos de organismos: peixes, plantas e bactérias (Figura 3.2). Cada organismo em uma unidade aquapônica possui uma faixa de tolerância específica para cada parâmetro de qualidade da água (Tabela 3.1). As faixas de tolerância são relativamente semelhantes para todos os três organismos, mas há necessidade de ajuste e, portanto, alguns organismos não se desenvolverão em seu nível ideal.

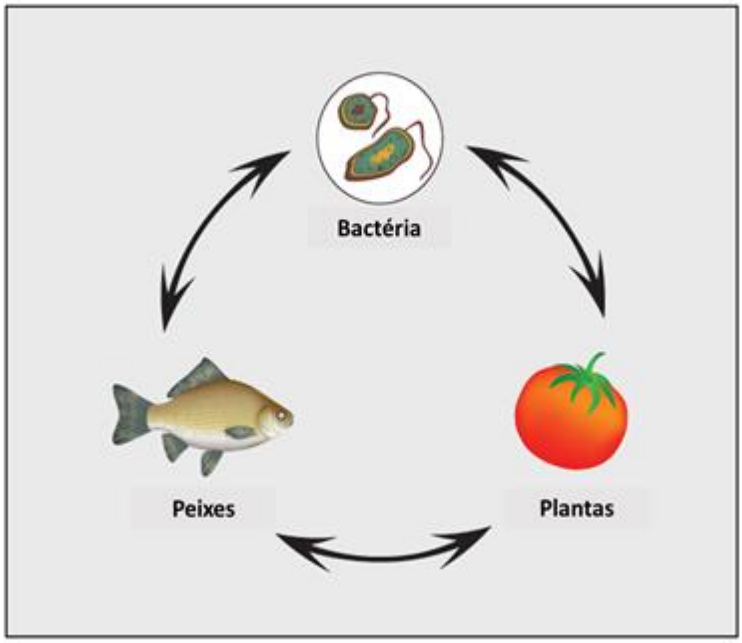


FIGURA 3.2 **O ecossistema aquapônico**

TABELA 3.1
Faixas de tolerância aos principais parâmetros de qualidade de água para peixes (água quente ou fria), plantas hidropônicas e bactérias nitrificantes

Tipo de organismo	Temp. (°C)	pH	Amônia (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	OD (mg/L)
Peixes tropicais	22-32	6,0-8,5	< 3,0	< 1,0	< 400	4,0-6,0
Peixes de água fria	10-18	6,0-8,5	< 1,0	< 0,1	< 400	6,0-8,0
Vegetais	16-30	5,5-7,5	< 30,0	< 1,0	-	> 3,0
Bactérias	14-34	6,0-8,5	< 3,0	< 1,0	-	4,0-8,0

A Tabela 3.2 ilustra o ajuste ideal para a aquaponia que é necessário para os principais parâmetros de qualidade da água. Os dois parâmetros mais importantes e que devem ser mantidos em equilíbrio são o pH e a temperatura. Recomenda-se que o pH seja mantido em um nível de 6 a 7, ou ligeiramente ácido.

TABELA 3.2
Parâmetros ideais para um sistema de aquaponia equilibrado entre os três organismos

Aquaponia	Temp. (°C)	pH	Amônia (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	OD (mg/L)
	18-30	6,0-7,0	< 1,0	< 1,0	5,0-150,0	> 5,0

A faixa geral de temperatura é de 18 a 30 °C e deve ser administrada em relação ao peixe alvo ou espécies de plantas cultivadas; as bactérias prosperam em toda essa faixa. É importante escolher pares adequados de espécies de peixes e plantas que combinem bem com as condições ambientais no sistema. O Capítulo 7 e o Apêndice 1 descrevem as temperaturas ideais comuns de crescimento de peixes e plantas.

O objetivo geral é manter um ecossistema saudável com parâmetros de qualidade da água que satisfaçam os requisitos para o cultivo de peixes, vegetais e bactérias simultaneamente. Há ocasiões em que a qualidade da água precisará ser ativamente manejada para atender a esses critérios e manter o sistema funcionando adequadamente.

3.2 OS CINCO PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA MAIS IMPORTANTES

3.2.1 Oxigênio

O oxigênio é essencial para todos os três organismos envolvidos na aquaponia; plantas, peixes e bactérias nitrificantes precisam de oxigênio para viver. O nível de oxigênio dissolvido (OD) descreve a quantidade de oxigênio molecular na água e é medido em miligramas por litro. É o parâmetro de qualidade da água que tem efeito mais imediato e drástico na aquaponia. Na verdade, os peixes podem morrer em poucas horas quando expostos a baixa concentração de OD dentro dos tanques de peixes. Assim, garantir níveis adequados de OD é crucial para a aquaponia. Embora o monitoramento dos níveis de OD seja muito importante, pode ser um desafio porque dispositivos de medição de OD precisos podem ser muito caros ou difíceis de encontrar. Muitas vezes, é suficiente para unidades de pequena escala, em vez disso, confiar no monitoramento frequente do comportamento dos peixes e do crescimento das plantas, garantindo que as bombas de água e ar estejam constantemente circulando e aerando a água.

O oxigênio se dissolve diretamente na superfície da água vindo da atmosfera. Em condições naturais, os peixes podem sobreviver nessas águas, mas em sistemas de produção intensiva com maior densidade de peixes, essa quantidade de difusão de OD é insuficiente para atender às demandas de peixes, plantas e bactérias. Assim, o OD precisa ser complementado por meio de estratégias de manejo. As duas estratégias para aquaponia em pequena escala são usar bombas de água para criar um fluxo de água dinâmico e usar aeradores que produzem bolhas de ar na água. O movimento da água e a aeração são aspectos críticos de cada unidade de aquaponia, e sua importância não pode ser subestimada. Esses tópicos, incluindo métodos de projeto, são discutidos mais detalhadamente no Capítulo 4. Os níveis ideais de OD para cada organismo prosperar são de 5 a 8 mg/L (Figura 3.3). Algumas espécies de peixes, incluindo carpas e tilápias, podem tolerar níveis de OD tão baixos quanto 2-3 mg/L, mas é muito mais seguro ter níveis mais altos para aquaponia, já que todos os três organismos se utilizam do OD disponível da água.

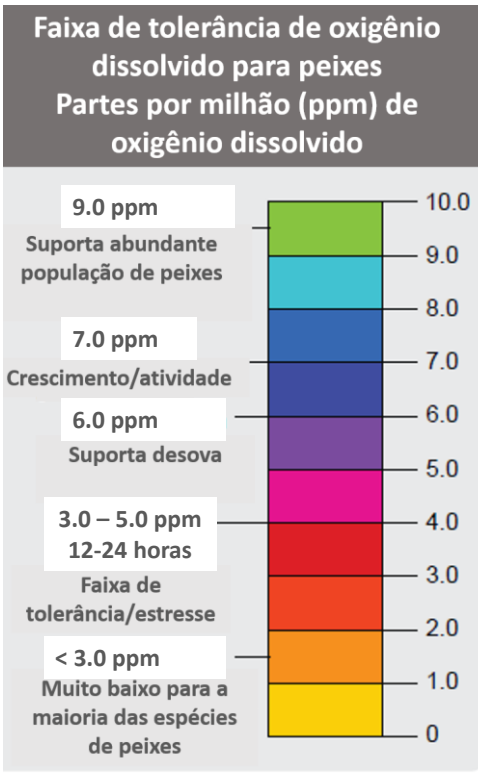


FIGURA 3.3 **Faixas de tolerância de oxigênio dissolvido para peixes**

A temperatura da água e o OD têm uma relação única que pode afetar a produção aquapônica de alimentos. Conforme a temperatura da água sobe, a solubilidade do oxigênio diminui. Dito de outra forma, a capacidade da água de reter OD diminui à medida que a temperatura aumenta; a água quente retém menos oxigênio do que a água fria (Figura 3.4). Como tal, recomenda-se que a aeração seja aumentada usando bombas de ar em locais quentes ou nas épocas mais quentes do ano, especialmente se criar peixes delicados.

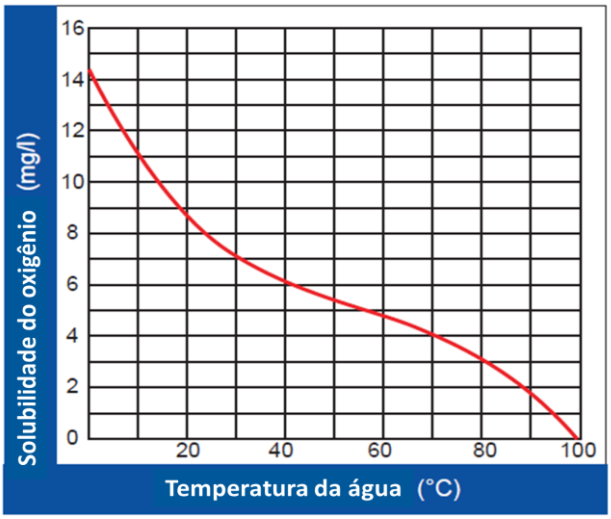


FIGURA 3.4 **Solubilidade de oxigênio em água em diferentes temperaturas**

3.2.2 pH

Um conhecimento geral de pH é útil para o manejo de sistemas aquapônicos. O pH de uma solução é uma medida de quão ácida ou básica a solução é em uma escala que varia de 1 a 14. Um pH de 7 é neutro; qualquer valor abaixo de 7 é ácido, enquanto qualquer valor acima de 7 é básico. O termo pH é definido como a quantidade de íons de hidrogênio (H^+) em uma solução; quanto mais íons de hidrogênio, mais ácido.

Dois aspectos importantes da escala de pH são ilustrados na Figura 3.5.

- A escala de pH é negativa; um pH de 7 tem menos íons de hidrogênio do que um pH de 6.
- A escala de pH é logarítmica; um pH de 7 tem 10 vezes menos íons de hidrogênio do que um pH de 6, 100 vezes menos que um pH de 5 e 1.000 vezes menos do que um pH de 4.

Por exemplo, se o pH de uma unidade aquapônica é registrado como 7 e, posteriormente, o valor é registrado como 8, a água agora tem dez vezes menos íons H^+ associados livremente porque a escala é negativa e logarítmica. É importante estar ciente da natureza logarítmica da escala de pH porque ela não é necessariamente intuitiva. Para o exemplo anterior, se uma leitura posterior mostrasse que o pH era 9, o problema seria 100 vezes pior e, portanto, hipercrítico, em vez de ser apenas duas vezes pior.

Importância do pH

O pH da água tem um grande impacto em todos os aspectos da aquaponia, especialmente nas plantas e bactérias. Para as plantas, o pH controla o acesso das plantas a micro e macronutrientes. Em um pH de 6,0 a 6,5, todos os nutrientes estão prontamente disponíveis, mas fora dessa faixa os nutrientes tornam-se difíceis para as plantas acessarem. Na verdade, um pH de 7,5 pode levar a deficiências nutricionais de ferro, fósforo e manganês. Esse fenômeno é conhecido como bloqueio de nutrientes e é discutido no Capítulo 6.

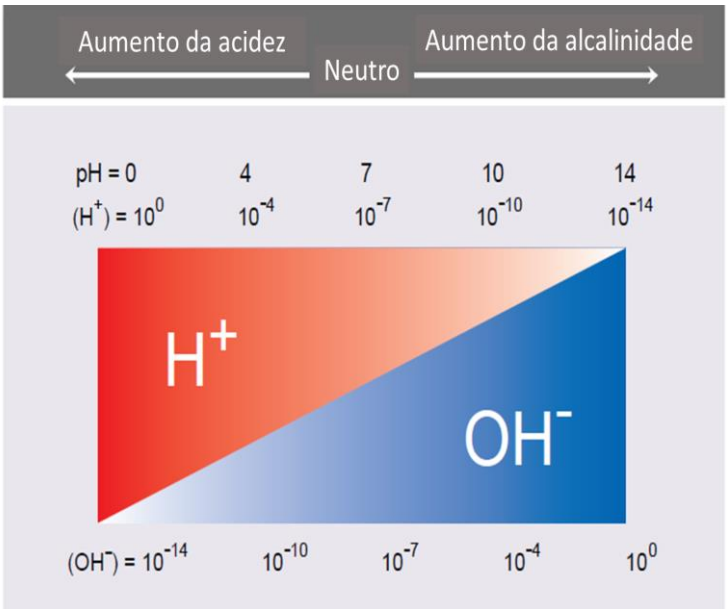


FIGURA 3.5 **Representação visual da escala de pH**

Bactérias nitrificantes experimentam dificuldades abaixo de um pH de 6, e a capacidade bacteriana de converter amônia em nitrato é reduzida em condições ácidas de baixo pH. Isso pode levar à redução da biofiltração e, como resultado, as bactérias diminuem a conversão de amônia para nitrato, e os níveis de amônia podem começar a aumentar, levando a um sistema desequilibrado e estressante para os outros organismos.

Os peixes também têm faixas de tolerância específicas para o pH, mas a maioria dos peixes usados em aquaponia tem uma faixa de tolerância de pH de 6,0 a 8,5. No entanto, o pH afeta a toxicidade da amônia para os peixes, com pH mais alto levando a maior toxicidade. Este conceito é mais amplamente discutido na Seção 3.4. Em conclusão, a água ideal em um sistema de aquaponia é ligeiramente ácida, com uma faixa de pH ideal de 6 a 7. Essa faixa manterá as bactérias atuando em alta capacidade, permitindo às plantas acesso total a todos os micro e macronutrientes essenciais. Valores de pH entre 5,5 e 7,5 requerem atenção e manejo lento e mensurado, discutido na Seção 3.5 e no Capítulo 6. No entanto, um pH inferior a 5 ou superior a 8 pode rapidamente se tornar um problema crítico para todo o ecossistema e, portanto, atenção imediata é necessária.

Existem muitos processos biológicos e químicos que ocorrem em um sistema aquapônico que afetam o pH da água, alguns mais significativamente do que outros, incluindo: o processo de nitrificação; densidade de estocagem de peixes; e fitoplâncton.

O processo de nitrificação

O processo de nitrificação das bactérias reduz naturalmente o pH de um sistema aquapônico. Baixas concentrações de ácido nítrico são produzidas a partir do processo de nitrificação à medida que as bactérias liberam íons de hidrogênio durante a conversão de amônia em nitrato. Com o tempo, o sistema aquapônico se tornará gradualmente mais ácido, principalmente como resultado desta atividade bacteriana.

Densidade de estocagem de peixes

A respiração dos peixes reduz o pH ao liberar dióxido de carbono (CO_2) na água. Este dióxido de carbono reduz o pH porque o dióxido de carbono se converte naturalmente em ácido carbônico (H_2CO_3) ao entrar em contato com a água. Quanto maior for a densidade de estocagem de peixes da unidade, mais dióxido de carbono será liberado, reduzindo assim o nível geral de pH. Este efeito é aumentado quando os peixes estão mais ativos, como em temperaturas mais quentes.

Fitoplâncton

A respiração dos peixes reduz o pH ao liberar dióxido de carbono na água. Inversamente, a fotossíntese do plâncton, algas e plantas aquáticas remove o dióxido de carbono da água e aumenta o pH. O efeito das algas no pH segue um padrão diário, em que o pH aumenta durante o dia à medida que as plantas aquáticas fotossintetizam e removem o ácido carbônico, e então cai durante a noite quando as plantas respiram e liberam ácido carbônico. Portanto, o pH é ‘mínimo’ ao nascer do sol e ‘máximo’ ao pôr do sol. Em RAS padrão ou sistemas aquapônicos, os níveis de fitoplâncton são geralmente baixos e, portanto, o ciclo diário de pH não é afetado. No entanto, algumas técnicas de aquicultura, como a aquicultura em viveiros e algumas técnicas de criação de peixes, usam deliberadamente o fitoplâncton, portanto, o momento do monitoramento deve ser cuidadosamente escolhido.

3.2.3 Temperatura

A temperatura da água afeta todos os aspectos dos sistemas aquapônicos. No geral, a faixa de tolerância é entre 18 e 30 °C. A temperatura tem efeito sobre o OD e também sobre a toxicidade (ionização) da amônia; altas temperaturas têm menos OD e mais amônia não ionizada (tóxica). Além disso, as altas temperaturas podem restringir a absorção de cálcio em plantas. A combinação de peixes e plantas deve ser escolhida para combinar com a temperatura ambiente para a localização dos sistemas, e mudar a temperatura da água pode consumir muita energia e ser caro. Peixes de água quente (por exemplo, tilápia, carpa comum, bagre) e bactérias nitrificantes prosperam em águas de temperaturas mais altas (22-29 °C), assim como algumas hortaliças populares como quiabo, repolho asiático e manjericão. Ao contrário, algumas hortaliças comuns como alface, acelga e pepino crescem melhor em temperaturas mais frias de 18 a 26 °C, e peixes de água fria, como a truta, não toleram temperaturas superiores a 18 °C. Para obter mais informações sobre as faixas de temperatura ideais para plantas e peixes individuais, consulte os Capítulos 6 e 7 sobre a produção de plantas e peixes, respectivamente, e o Apêndice 1 para obter informações importantes sobre o cultivo de 12 hortaliças populares.

Embora seja melhor escolher plantas e peixes já adaptados ao clima local, existem técnicas de manejo que podem minimizar as flutuações de temperatura e estender o período de cultivo. Os sistemas também são mais produtivos se as flutuações de temperatura diárias, do dia para a noite, forem mínimas. Portanto, a própria superfície da água, em todos os tanques de peixes, unidades hidropônicas e biofiltros, deve ser protegida do sol por meio de estruturas de sombra. Da mesma forma, a unidade pode ser protegida termicamente com isolamento contra baixas temperaturas noturnas, onde quer que ocorram. Alternativamente, existem métodos para aquecer passivamente unidades aquapônicas usando estufas ou energia solar com tubos agrícolas em espiral, que são mais úteis quando as temperaturas são inferiores a 15 °C; esses métodos são descritos com mais detalhes nos Capítulos 4 e 9.

Também é possível adotar uma estratégia de produção de peixes para atender às diferenças de temperatura entre o inverno e o verão, principalmente se o inverno tiver temperaturas médias inferiores a 15 °C por mais de três meses. Geralmente, isso significa que peixes e plantas adaptados ao frio são cultivados durante o inverno, e o sistema é alterado para peixes e plantas de água quente conforme as temperaturas sobem novamente na primavera. Se esses métodos não forem viáveis durante as estações frias do inverno, também é possível simplesmente colher as plantas e os peixes no início do inverno e desligar os sistemas até a primavera. Durante as estações de verão com temperaturas extremamente quentes (mais de 35 °C), é essencial selecionar os peixes e plantas apropriados para crescer nestas temperaturas (ver Capítulos 6 e 7) e sombrear todos os recipientes e o espaço de cultivo das plantas.

3.2.4 Nitrogênio total: amônia, nitrito, nitrato

O nitrogênio é o quarto parâmetro crucial de qualidade da água. É exigido por toda a vida e parte de todas as proteínas. O nitrogênio entra originalmente no sistema aquapônico a partir da ração dos peixes, geralmente rotulado como percentual de proteína bruta. Parte dessa proteína é usada pelos peixes para crescimento e o restante é liberado pelos peixes como resíduo. Esses resíduos são principalmente na forma de amônia (NH_3) liberada pelas brânquias e como urina. Resíduos sólidos também são

liberados, e uma parte acaba sendo convertida em amônia por atividade microbiana. Essa amônia, a partir do processo de nitrificação realizado pelas bactérias, discutido na Seção 2.1, é convertida em nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-). Resíduos nitrogenados são tóxicos para peixes em certas concentrações, embora a amônia e o nitrito sejam aproximadamente 100 vezes mais tóxicos do que o nitrato. Contudo, os compostos de nitrogênio são nutrientes para as plantas e, de fato, é o componente básico dos fertilizantes vegetais. Todas as três formas de nitrogênio (amônia - NH_3, nitrito - NO_2^- e nitrato - NO_3^-) podem ser utilizadas pelas plantas, mas o nitrato é de longe o mais acessível. Em uma unidade aquapônica em pleno funcionamento com biofiltração adequada, os níveis de amônia e nitrito devem ser próximos a zero, ou no máximo 0,25-1,0 mg/L. As bactérias presentes no biofiltro devem converter quase toda a amônia e nitrito em nitrato antes que qualquer acúmulo possa ocorrer.

Impactos do teor de amônia elevado

A amônia é tóxica para os peixes. A tilápia e a carpa podem apresentar sintomas de toxicidade por amônia em níveis tão baixos quanto 1 mg/L. A exposição prolongada neste nível ou acima disso causará danos ao sistema nervoso central e brânquias dos peixes, resultando em perda de equilíbrio, respiração prejudicada e convulsões. O dano às brânquias, frequentemente evidenciado por coloração vermelha e inflamação nas brânquias, restringe o funcionamento correto de outros processos fisiológicos, levando à supressão do sistema imunológico e possível morte. Outros sintomas incluem manchas vermelhas no corpo, letargia e falta de ar na superfície. Em níveis mais elevados de amônia, os efeitos são imediatos e grandes mortalidades podem ocorrer rapidamente. No entanto, níveis mais baixos durante um longo período ainda podem resultar em estresse para os peixes, aumento da incidência de doenças e mais perda de peixes.

Conforme discutido acima, a toxicidade da amônia é na verdade dependente tanto do pH quanto da temperatura, onde pH e temperatura da água mais altos tornam a amônia mais tóxica. Quimicamente, a amônia pode existir em duas formas na água: ionizada e não ionizada. Juntas, essas duas formas são chamadas de nitrogênio amoniacal total (NAT). Em condições ácidas, a amônia se liga aos íons de hidrogênio em excesso (pH baixo significa alta concentração de H^+) e se torna menos tóxica. Essa forma ionizada é chamada de amônio. Porém, em condições básicas (pH alto, acima de 7), não há íons de hidrogênio suficientes e a amônia permanece em seu estado mais tóxico, e mesmo baixos níveis de amônia podem ser altamente estressantes para os peixes. Este problema é agravado em águas de temperaturas mais elevadas.

A atividade das bactérias nitrificantes diminui drasticamente com altos níveis de amônia. A amônia pode ser usada como um agente antibacteriano e, em níveis superiores a 4 mg/L, inibirá e reduzirá drasticamente a eficácia das bactérias nitrificantes. Isso pode resultar em uma situação de deterioração exponencial quando um biofiltro subdimensionado é dominado pela amônia, as bactérias morrem e a amônia aumenta ainda mais.

Impactos do teor de nitrito elevado

O nitrito é tóxico para os peixes. Semelhante à amônia, podem surgir problemas com a saúde dos peixes com concentrações tão baixas quanto 0,25 mg/L. Níveis elevados de NO_2^- podem rapidamente levar à morte de peixes. Novamente, mesmo níveis baixos por um longo período podem resultar em maior estresse, doenças e morte dos peixes.

Níveis tóxicos de NO_2^- prejudicam o transporte de oxigênio na corrente sanguínea dos peixes, que faz com que o sangue fique com uma cor castanho/marrom e às vezes é conhecida como 'doença do sangue marrom'. Este efeito também pode ser observado nas brânquias dos peixes. Os peixes afetados exibem sintomas semelhantes à intoxicação por amônia, particularmente onde os peixes parecem ser privados de oxigênio, vistos ofegantes na superfície, mesmo em água com alta concentração de OD. A saúde dos peixes é abordada com mais detalhes no Capítulo 7.

Impactos do teor de nitrato elevado

O nitrato é muito menos tóxico do que as outras formas de nitrogênio. É a forma de nitrogênio mais acessível para as plantas, e a produção de nitrato é o objetivo do biofiltro. Os peixes podem tolerar níveis de até 300 mg/L, com alguns peixes tolerando níveis de até 400 mg/L. Níveis elevados (> 250 mg/L) terão um impacto negativo nas plantas, levando a um crescimento vegetativo excessivo e acúmulo perigoso de nitrato nas folhas, o que é perigoso para a saúde humana. Recomenda-se manter os níveis de nitrato entre 5 e 150 mg/L e trocar a água quando os níveis se tornarem mais altos.

3.2.5 Dureza da água

O parâmetro final de qualidade da água é a dureza da água. Existem dois tipos principais de dureza: dureza geral (GH) e dureza carbonatada (KH). A dureza geral é uma medida de íons positivos na água. A dureza do carbonato, também conhecida como alcalinidade, é uma medida da capacidade tampão da água. O primeiro tipo de dureza não tem grande impacto no processo aquapônico, mas a KH tem uma relação com o pH que merece maiores explicações.

Dureza geral

A dureza geral é essencialmente a quantidade de íons cálcio (Ca^+), magnésio (Mg^+) e, em menor grau, ferro (Fe^+) presentes na água. É medido em partes por milhão (equivalente a miligramas por litro). Altas concentrações de GH são encontradas em fontes de água, como aquíferos baseados em calcário e/ou leitos de rios, uma vez que o calcário é essencialmente composto por carbonato de cálcio ($CaCO_3$). Os íons Ca^{2+} e Mg^{2+} são nutrientes essenciais para as plantas e são absorvidos pelas plantas à medida que a água flui através dos componentes hidropônicos. A água da chuva tem baixa dureza porque esses íons não são encontrados na atmosfera. A água dura pode ser uma fonte útil de micronutrientes para a aquaponia e não tem efeitos sobre a saúde dos organismos. Na verdade, a presença de cálcio na água pode evitar que os peixes percam outros sais e leva a um estoque mais saudável.

Dureza de carbonato ou alcalinidade

A dureza do carbonato é a quantidade total de carbonatos (CO_3^{2-}) e bicarbonatos (HCO_3^-) dissolvidos na água. Também é medido em miligramas de $CaCO_3$ por litro. Em geral, a água é considerada com alto KH em níveis de 121 a 180 mg/L. Água proveniente de poços/aquíferos de rocha calcária normalmente apresenta uma alta dureza de carbonato de cerca de 150 a 180 mg/L.

A dureza do carbonato na água tem impacto no nível de pH. Simplificando, o KH atua como um tampão (ou uma resistência) para a redução do pH. O carbonato e o bicarbonato presentes na água se ligam aos íons H^+ liberados por qualquer ácido, removendo, assim, esses íons H^+ livres da água. Portanto, o pH permanecerá constante mesmo quando novos íons H^+ do ácido forem adicionados à água. Este efeito tampão

de KH é importante, porque mudanças rápidas no pH são estressantes para todo o ecossistema aquapônico. O processo de nitrificação gera ácido nítrico (HNO_3), conforme discutido na Seção 3.2.2, que é dissociado em água em seus dois componentes, íons hidrogênio (H^+) e nitrato (NO_3^-), sendo este último utilizado como fonte de nutrientes para as plantas. No entanto, com o KH adequado, a água não se torna realmente mais ácida. Se nenhum carbonato e bicarbonato estivessem presentes na água, o pH cairia rapidamente na unidade aquapônica. Quanto maior a concentração de KH na água, por mais tempo ele atuará como um tampão de pH para manter o sistema estável contra a acidificação causada pelo processo de nitrificação.

A próxima seção descreve esse processo com mais detalhes. É um processo bastante complicado, mas é importante ser compreendido pelos praticantes de aquaponia (ou outro cultivo sem solo), onde a água disponível é naturalmente muito dura (normal em regiões com calcário ou rocha calcária), já que a manipulação do pH irá tornar-se uma parte vital do manejo da unidade. A seção 3.5 contém técnicas específicas de manipulação de pH. O resumo após a descrição estendida listará o que é essencial para todos os profissionais saberem sobre a dureza da água.

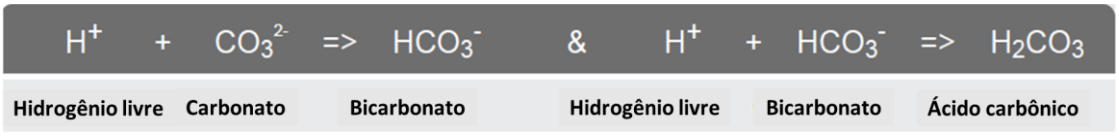


FIGURA 3.6 **Ligação de íons hidrogênio e carbonato**

Como mencionado acima, a nitrificação constante em uma unidade aquapônica produz ácido nítrico e aumenta o número de íons H^+, o que diminui o pH da água. Se nenhum carbonato ou bicarbonato estiver presente para tamponar os íons H^+ na água, o pH cai rapidamente à medida que mais íons H^+ são adicionados à água. Carbonatos e bicarbonatos, como mostrado na Figura 3.6, ligam os íons de hidrogênio (H^+) liberados do ácido nítrico e mantêm um pH constante equilibrando o excesso de H^+ com a produção de ácido carbônico, que é um ácido muito fraco. Os íons H^+ permanecem ligados ao composto e não estão livres na água. A Figura 3.7 mostra com mais detalhes o processo de ligação que ocorre com o ácido nítrico.

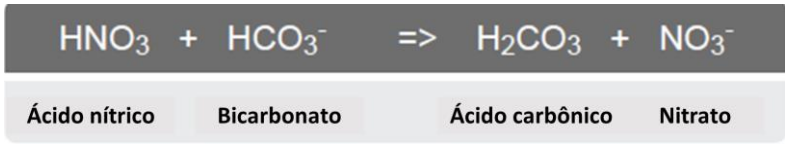


FIGURA 3.7 **Bicarbonato e ligação de ácido nítrico em aquaponia**

É essencial para a aquaponia que uma determinada concentração de KH esteja presente o tempo todo na água, pois pode neutralizar os ácidos criados naturalmente e manter o pH constante. Sem KH adequado, a unidade de aquaponia poderia ser submetida a mudanças rápidas de pH que teriam impactos negativos em todo o sistema, especialmente nos peixes. No entanto, o KH está presente em muitas fontes de água. Abastecer a unidade com água dessas fontes também irá repor os níveis de KH. No entanto, a água da chuva é baixa em KH, e em sistemas pluviais é útil adicionar fontes externas de carbonato, conforme explicado abaixo.

Resumo dos pontos essenciais sobre dureza

Dureza geral (GH) é a medição de íons positivos, especialmente cálcio e magnésio. A dureza carbonatada (KH) mede a concentração de carbonatos e bicarbonatos que

tamponam o pH (criam resistência à mudança de pH). A dureza pode ser classificada junto à escala de dureza da água conforme mostrado abaixo:

O nível ótimo de ambos os tipos de dureza para aquaponia é de cerca de 60-140 mg/L. Não é vital verificar os níveis na unidade, mas é importante que a água que está sendo usada para abastecer a unidade tenha concentrações adequadas de KH para continuar neutralizando o ácido nítrico produzido durante o processo de nitrificação e para tamponar o pH em seu nível ideal (6-7).

Classificação da dureza da água	**mg/L**
macia	0-60
moderadamente dura	60-120
dura	120-180
muito dura	> 180

3.3 OUTROS COMPONENTES PRINCIPAIS DA QUALIDADE DA ÁGUA: ALGAS E PARASITAS

3.3.1 Atividade fotossintética de algas

O crescimento e a atividade fotossintética de algas em unidades aquapônicas afetam os parâmetros de qualidade da água de pH, OD e níveis de nitrogênio. As algas são uma classe de organismos fotossintéticos semelhantes às plantas e crescem rapidamente em qualquer corpo d'água rico em nutrientes e exposto à luz solar. Algumas algas são organismos microscópicos unicelulares chamados fitoplâncton, que podem deixar a água verde (Figura 3.8). As macroalgas são muito maiores, comumente formando tapetes filamentosos presos ao fundo e às laterais dos tanques (Figura 3.9).

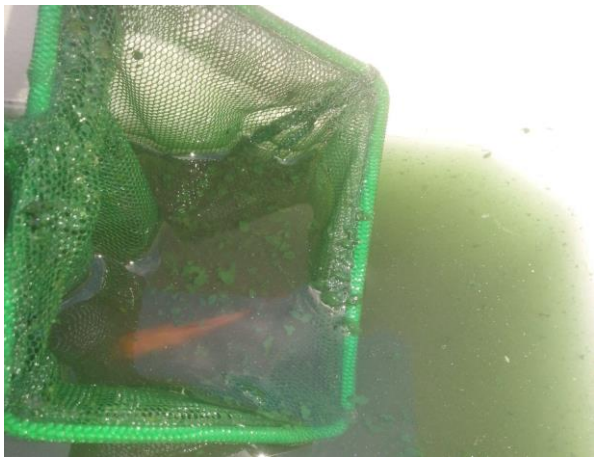


FIGURA 3.8 **Crescimento de algas no sistema aquapônico**

FIGURA 3.9 **Algas crescendo em tubo de plástico**

Para a aquaponia, é importante evitar o crescimento de algas porque elas são problemáticas por várias razões. Primeiramente, o fitoplâncton vai consumir os nutrientes da água e competir com os vegetais-alvo. Além disso, as algas atuam como fonte e sumidouro de OD, produzindo oxigênio durante o dia por meio da fotossíntese e consumindo oxigênio à noite durante a respiração. Eles podem reduzir drasticamente os níveis de OD na água à noite, causando a morte de peixes. Esta produção e consumo de oxigênio estão relacionados à produção e consumo de dióxido de carbono, o que causa mudanças diárias no pH à medida que o ácido carbônico é removido (fotossíntese durante o dia - maior pH da água) ou devolvido (respiração a noite - menor pH da água) para o sistema. Finalmente, algas filamentosas podem entupir os ralos e bloquear os filtros dentro da unidade, causando problemas com a circulação da água. Algas filamentosas marrons também podem crescer nas raízes das plantas hidropônicas, especialmente em cultivo em águas profundas, e afetam negativamente o crescimento das plantas. No entanto, algumas operações de aquicultura se beneficiam muito da cultura de algas para alimentação, conhecida como cultura de água verde, incluindo criação de tilápia, cultura de camarão e produção de biodiesel, mas esses tópicos não estão diretamente relacionados à aquaponia e não são discutidos aqui.

A prevenção contra algas é relativamente fácil. Todas as superfícies de água devem ser sombreadas. Telas de sombreamento, lonas, folhas de palmeira trançadas ou tampas de plástico devem ser usados para cobrir tanques de peixes e biofiltros, de forma que a água não entre em contato direto com a luz solar. Isso inibirá o surgimento de algas na unidade.

3.3.2 Parasitas, bactérias e outros pequenos organismos que vivem na água

Aquaponia é um ecossistema composto, principalmente, de peixes, bactérias nitrificantes e plantas. No entanto, com o tempo, pode haver muitos outros organismos contribuindo para esse ecossistema. Alguns desses organismos podem ser úteis, como as minhocas, e facilitar a decomposição de dejetos de peixes. Outros são benignos, não ajudando nem prejudicando o sistema, como vários crustáceos que vivem nos biofiltros. Outros são ameaças; parasitas, pragas e bactérias são impossíveis de evitar completamente porque a aquaponia não é um empreendimento estéril. A melhor prática de manejo para evitar que essas pequenas ameaças se tornem infestações perigosas é cultivar peixes e plantas saudáveis e livres de estresse, garantindo condições altamente aeróbicas com acesso a todos os nutrientes essenciais. Dessa forma, os organismos podem evitar infecções ou doenças usando seus próprios sistemas imunológicos saudáveis. Os capítulos 6 e 7 discutem o manejo adicional de

doenças de peixes e plantas, e o Capítulo 8 cobre a segurança alimentar e outras ameaças biológicas com mais detalhes.

3.4 FONTES DE ÁGUA PARA AQUAPONIA

Em média, um sistema aquapônico usa de 1 a 3 % de seu volume total de água por dia, dependendo do tipo de planta que está sendo cultivada e da localização. A água é utilizada pelas plantas através da evapotranspiração natural e também retida nos tecidos vegetais. Mais um pequeno volume adicional de água é perdido por evaporação direta e respingos. Por este motivo, a unidade precisará ser reabastecida periodicamente, ainda que seja apenas para repor o volume de água utilizado/perdido. A fonte de água utilizada terá impacto na química da água da unidade. Abaixo está uma descrição de algumas fontes de água mais comuns e sua composição química geral. Novas fontes de água devem sempre ser testadas para pH, dureza, salinidade, cloro e quaisquer poluentes, a fim de garantir que a água seja segura para uso.

Aqui é importante considerar um parâmetro adicional de qualidade da água: salinidade. A salinidade indica a concentração de sais na água, que inclui o cloreto de sódio - NaCl (sal de cozinha), bem como os nutrientes das plantas, que também são sais. Os níveis de salinidade terão uma grande influência ao decidir qual água usar, porque a salinidade alta pode afetar negativamente a produção de vegetais, especialmente se for de origem de cloreto de sódio, já que o sódio é tóxico para as plantas. A salinidade da água pode ser medida com um medidor de condutividade elétrica (CE), um medidor de sólidos dissolvidos totais (SDT), um refratômetro ou um hidrômetro ou os operadores podem consultar os relatórios de autoridades locais sobre a qualidade da água. A salinidade é medida como condutividade, ou quanta eletricidade passará pela água, como unidades de microSiemens por centímetro (µS/cm), ou em SDT como partes por mil ($‰_0$) ou partes por milhão (ppm ou mg/L). Para referência, a água do mar tem uma condutividade de 50.000 µS/cm e SDT de 35.000 ppm. Embora o impacto da salinidade no crescimento das plantas varie muito entre as plantas (Seção 9.4.2, Apêndice 1), é recomendado o uso de fontes de água de baixa salinidade. A salinidade, geralmente, é muito alta se a água de origem tiver uma condutividade superior a 1.500 µS/cm ou uma concentração de SDT superior a 800 ppm. Embora os medidores de CE e SDT sejam comumente usados para hidroponia para medir a quantidade total de sais nutrientes na água, estes medidores não fornecem uma leitura precisa dos níveis de nitrato, que podem ser melhor monitorados com kits de teste de nitrogênio.

3.4.1 Água da chuva

A água da chuva coletada é uma excelente fonte de água para a aquaponia. A água normalmente terá um pH neutro e concentrações muito baixas de ambos os tipos de dureza (KH e GH) e salinidade quase zero, o que é ideal para reabastecer o sistema e evitar o acúmulo de salinidade a longo prazo. No entanto, em algumas áreas afetadas pela chuva ácida, conforme registrado em várias localidades no leste da Europa, leste dos Estados Unidos da América e áreas do sudeste da Ásia, a água da chuva terá um pH ácido. Geralmente, é uma boa prática tamponar a água da chuva e aumentar o KH conforme indicado na Seção 3.5.2. Além disso, a coleta de água da chuva reduzirá os custos indiretos de funcionamento da unidade e será mais sustentável.

3.4.2 Água de cisterna ou aquífero

A qualidade da água retirada de poços ou cisternas dependerá em grande parte do material da cisterna e do leito rochoso do aquífero. Se o alicerce for calcário, então a água provavelmente terá concentrações de dureza bastante altas, o que pode ter um impacto no pH da água. A dureza da água não é um grande problema na aquaponia, pois a alcalinidade é consumida naturalmente pelo ácido nítrico produzido pelas bactérias nitrificantes. No entanto, se os níveis de dureza forem muito altos e a nitrificação for mínima por causa da pequena biomassa de peixes, a água pode permanecer ligeiramente básica (pH 7-8) e resistir à tendência natural dos sistemas aquapônicos de se tornarem ácidos através do ciclo de nitrificação e respiração dos peixes. Nesse caso, pode ser necessário usar quantidades muito pequenas de ácido para reduzir a alcalinidade antes de adicionar água ao sistema para evitar oscilações de pH dentro do sistema. Os aquíferos nas ilhas de coral geralmente têm intrusão de água salgada nas fontes de água doce e podem ter níveis de salinidade muito altos para aquaponia, então o monitoramento é necessário e a coleta de água da chuva ou filtração por osmose reversa podem ser as melhores opções.

3.4.3 Água de abastecimento público

A água de abastecimento municipal é frequentemente tratada com diferentes produtos químicos para remover os patógenos. Os produtos químicos mais comuns usados para tratamento de água são cloro e cloraminas. Esses produtos químicos são tóxicos para peixes, plantas e bactérias; esses produtos químicos são usados para matar bactérias na água e, como tal, são prejudiciais à saúde de todo o ecossistema aquapônico. Kits de teste de cloro estão disponíveis, e se forem detectados altos níveis de cloro, a água precisa ser tratada antes de ser usada. O método mais simples é armazenar a água antes do uso, permitindo assim que todo o cloro se dissipe na atmosfera. Isso pode levar mais de 48 horas, mas pode ocorrer mais rápido se a água for fortemente aerada com pedras de ar. As cloraminas são mais estáveis e não emitem gases tão facilmente. Se o município faz uso de cloraminas na água de abastecimento público, pode ser necessário usar técnicas de tratamento químico, como filtração de carvão ativado ou outros produtos químicos anticloro. Mesmo assim, a liberação de gás geralmente é suficiente em unidades de pequena escala que usam água municipal. Uma boa diretriz é nunca repor mais de 10 % da água sem antes testar e remover o cloro. Além disso, a qualidade da água dependerá da base rochosa de onde a água inicial é obtida. Sempre verifique novas fontes de água para níveis de dureza e pH, e use ácido se apropriado e necessário para manter o pH dentro dos níveis ótimos indicados acima.

3.4.4 Água filtrada

Dependendo do tipo de filtração (ou seja, osmose reversa ou filtragem com carvão ativado), a água filtrada terá a maioria dos metais e íons removidos, tornando a água muito segura de usar e relativamente fácil de manipular. No entanto, como a água da chuva, a água deionizada da osmose reversa terá baixos níveis de dureza e deve ser tamponada.

3.5 MANIPULANDO O pH

Existem métodos simples para manipular o pH em unidades aquapônicas. Em regiões com rocha calcária ou calcário, a água natural costuma ser dura com pH alto. Portanto, podem ser necessárias adições periódicas de ácido para diminuir o pH. Em regiões com rocha vulcânica, a água natural frequentemente será mole ou levemente dura, com alcalinidade muito baixa, indicando que precisa adicionar periodicamente uma base ou um tampão de carbonato à água para neutralizar a acidificação natural da unidade aquapônica. Adições de base e tampão também são necessárias para sistemas alimentados por água da chuva.

3.5.1 Baixando o pH com ácido

A água aquapônica acidifica naturalmente por causa da nitrificação e da respiração. Com paciência, os níveis de pH geralmente diminuem para a faixa desejada.

No entanto, a adição de ácido pode ser necessária se a água da fonte tiver um KH alto e um pH alto, e houver uma alta taxa de evaporação. Nesses casos incomuns e excepcionais, o volume de água para reabastecer o sistema é tal que aumenta significativamente o pH acima das faixas ideais e supera a acidificação natural. A adição de ácido também é necessária se a quantidade de peixes estocados não for suficiente para produzir resíduos dissolvidos o suficiente para conduzir a nitrificação e a acidificação resultante. Nestes casos, o reabastecimento de água resultará em um reabastecimento dos agentes tamponadores, carbonatos. A produção de ácido natural não será suficiente para reagir com os agentes tamponantes e subsequentemente baixar o pH. Só adicione ácido se a fonte de água for muito dura e básica e se não houver água da chuva que possa fornecer ao sistema água livre de KH para ajudar as bactérias nitrificantes a abaixar naturalmente o pH.

Adicionar ácido a um sistema aquapônico pode ser perigoso. O risco é que a princípio o ácido reage com os tampões e nenhuma mudança de pH é notada. Mais e mais ácido é adicionado sem alteração do pH, até que finalmente todos os tampões tenham reagido e o pH caia drasticamente, frequentemente resultando em um choque terrível e estressante para o sistema. A melhor prática, se necessário adicionar ácido, é tratar um reservatório dessa água de reabastecimento com ácido e, em seguida, adicionar a água tratada ao sistema (Figura 3.10). Isso remove o risco para o sistema se muito ácido for usado. O ácido deve sempre ser adicionado a um volume de água de reabastecimento, e extremo cuidado deve ser tomado para não adicionar muito ácido ao sistema. Se o sistema for projetado com uma linha de abastecimento de água automática, pode ser necessário adicionar ácido diretamente ao sistema, mas o risco aumenta.

FIGURA 3.10 **Verificar o nível de pH da água usando um medidor digital**

O ácido fosfórico (H_3PO_4) pode ser usado para diminuir o pH. O ácido fosfórico é um ácido relativamente fraco. Pode ser encontrado em grau alimentício em lojas de suprimentos hidropônicos ou agrícolas com vários nomes comerciais. O fósforo é um macronutriente importante para as plantas, mas o uso excessivo de ácido fosfórico pode levar a uma concentração tóxica de fósforo no sistema. Em situações com fonte de água extremamente dura e básica (KH alto, pH alto), ácido sulfúrico (H_2SO_4) pode ser utilizado. No entanto, devido à sua alta corrosividade e nível de risco ainda maior, seu uso não é recomendado para iniciantes. O ácido nítrico (HNO_3) também tem sido usado como um ácido relativamente neutro. O ácido cítrico, embora tentador de usar, é antimicrobiano e pode matar as bactérias no filtro biológico, e por este motivo não deve ser utilizado.

Os ácidos concentrados são perigosos, tanto para o sistema como para o operador. Precauções de segurança adequadas devem ser usadas, incluindo equipamentos de proteção individual como óculos e luvas de segurança (Figura 3.11). Nunca adicione água ao ácido, sempre adicione o ácido à água.

FIGURA 3.11 **Ácido fosfórico (H_3PO_4 - concentração de 85 %) usado para baixar o pH**

3.5.2 Aumento do pH com tampões ou bases

Se o nível de pH cair abaixo de 6,0, é necessário adicionar uma base e/ou aumentar a dureza do carbonato. As bases comumente usadas são o hidróxido de potássio (KOH) e o hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$). Essas bases são fortes e devem ser adicionadas da mesma forma que os ácidos, sempre mudando o pH lentamente. No entanto, uma solução mais segura e fácil é adicionar carbonato de cálcio ($CaCO_3$) ou carbonato de potássio (K_2CO_3), o que aumentará o KH e o pH. Existem muitas fontes naturais e baratas de carbonato de cálcio que podem ser adicionadas ao sistema. Alguns deles incluem cascas de ovo trituradas, conchas do mar finamente trituradas, grãos de calcário grosseiro e giz triturado. O método recomendado é colocar o material em uma bolsa porosa suspensa no tanque coletor (Figura 3.12). Continue testando o

pH nas próximas semanas para monitorar o aumento do pH. Remova a bolsa se o pH aumentar acima de 7. Como alternativa, adicione dois a três punhados desses materiais por 1.000 L diretamente nos leitos de mídia ou no componente do biofiltro. Se estiver usando conchas do mar, certifique-se de enxaguar o sal residual antes de adicionar ao sistema. A escolha das bases e tampões também pode ser determinada pelo tipo de planta que cresce no sistema, já que cada um desses compostos adiciona um macronutriente importante. Os vegetais folhosos podem ser favorecidos por bases de cálcio para evitar queimaduras nas folhas; enquanto o potássio é ideal em plantas frutíferas para favorecer a floração, o vingamento dos frutos e o amadurecimento ideal.

O bicarbonato de sódio é frequentemente usado para aumentar a dureza do carbonato em RASs, mas nunca deve ser usado em aquaponia por causa do aumento na concentração de sódio, que é prejudicial para as plantas.

FIGURA 3.12 **Adicionar conchas em uma bolsa de tela para liberar carbonato na unidade aquapônica**

3.6 TESTES DE ÁGUA

Para manter a boa qualidade da água nas unidades aquapônicas, é recomendável realizar testes de água uma vez por semana para certificar-se de que todos os parâmetros estão dentro dos níveis ideais. No entanto, unidades aquapônicas maduras e experientes terão química da água consistente e não precisam ser testadas com frequência. Nestes casos, o teste de água é necessário apenas se houver suspeita de um problema. Além disso, o monitoramento diário da saúde dos peixes e das plantas que crescem na unidade indicará se algo está errado, embora esse método não substitua o teste da água. O acesso a testes simples de água é altamente recomendado para todas as unidades aquapônicas.

Os kits colorimétricos de teste de água doce (com código de cores) estão prontamente disponíveis e são fáceis de usar (Figura 3.13). Esses kits incluem testes de pH, amônia, nitrito, nitrato, GH e KH. Cada teste envolve a adição de algumas gotas de um reagente em aproximadamente 5 mL de água do sistema aquapônico, e em poucos minutos o resultado do teste é concluído. Outros métodos incluem pHmetro digital ou medidores de nitrato (relativamente caros e muito precisos) ou tiras de teste de água (mais baratos e moderadamente precisos, Figura 3.14).

FIGURA 3.13 **Kit de teste de água doce para pH, amônia, nitrito e nitrato. Os valores são determinados comparando a cor da água de teste com a do cartão de referência**

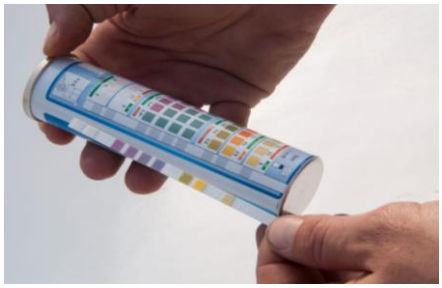


FIGURA 3.14 **Tiras de teste de qualidade da água com código de cores**

Os testes mais importantes a serem realizados semanalmente são pH, nitrato, dureza do carbonato e temperatura da água, pois esses resultados indicam se o sistema está em equilíbrio. Os resultados devem ser registrados a cada semana em uma planilha detalhada para que as tendências e mudanças possam ser monitoradas ao longo das estações de cultivo. O teste de amônia e nitrito também é extremamente útil para diagnosticar problemas na qualidade de água da unidade, especialmente em unidades novas ou se um aumento na mortalidade de peixes aumentar as preocupações de toxicidade em um sistema em andamento. Embora não sejam essenciais para o monitoramento semanal em unidades estabelecidas, eles podem fornecer indicadores muito fortes de quão bem as bactérias estão convertendo os resíduos de peixes e da saúde do biofiltro. O teste de amônia e nitrato é a primeira ação se houver problemas nos peixes ou nas plantas.

3.7 RESUMO DO CAPÍTULO

- A água é o ‘fluído vital’ de um sistema aquapônico. É o meio pelo qual as plantas recebem seus nutrientes e os peixes recebem seu oxigênio. É muito importante entender a qualidade da água e a química básica da água para gerenciar adequadamente a aquaponia.
- Existem cinco parâmetros-chave de qualidade da água para aquaponia: oxigênio dissolvido (OD), pH, temperatura da água, concentrações totais de nitrogênio e dureza (KH). Conhecer os efeitos de cada parâmetro em peixes, plantas e bactérias é crucial.
- São feitos ajustes para que alguns parâmetros de qualidade da água atendam às necessidades de cada organismo em aquaponia.
- Os intervalos ideais para cada parâmetro são os seguintes:

pH	6-7
Temperatura da água	18-30 °C
OD	5-8 mg/L
Amônia	0 mg/L
Nitrito	0 mg/L
Nitrato	5-150 mg/L
KH	60-140 mg/L

- Existem maneiras simples de ajustar o pH. As bases e, com menos frequência, os ácidos, podem ser adicionados em pequenas quantidades à água para aumentar ou diminuir o pH, respectivamente. Ácidos e bases devem sempre ser adicionados de forma lenta, deliberada e cuidadosa. A água da chuva pode ser usada alternativamente para permitir que o sistema abaixe naturalmente o pH por meio de bactérias nitrificantes que consomem a alcalinidade do sistema. Carbonato de cálcio do calcário, conchas do mar ou cascas de ovos aumentam o KH e amortecem o pH contra a acidificação natural.
- Alguns aspectos da qualidade da água e do conhecimento da química da água necessários para a aquaponia podem ser complicados, em particular a relação entre pH e dureza, mas testes básicos de água são usados para simplificar o manejo da qualidade da água.
- O teste da água é essencial para manter a boa qualidade da água no sistema. Teste e registre os seguintes parâmetros de qualidade da água a cada semana: pH, temperatura da água, dureza, nitrato e carbonato. Os testes de amônia e nitrito devem ser usados especialmente na inicialização do sistema e se a mortalidade anormal de peixes aumentar a toxicidade.

4. PROJETO DE UNIDADES AQUAPÔNICAS

Este capítulo discute a teoria e o projeto de sistemas aquapônicos. Existem muitos aspectos de design a serem levados em consideração, pois praticamente todos os fatores ambientais e biológicos terão um impacto no ecossistema aquapônico. O objetivo deste capítulo é apresentar esses aspectos da maneira mais acessível e fornecer uma explicação completa de cada componente dentro de uma unidade aquapônica.

A seção 4.1 discute os fatores a serem considerados ao selecionar um local para uma unidade aquapônica, incluindo acesso à luz solar, exposição ao vento e à chuva, temperatura média e outros. A seção 4.2 discute os componentes aquapônicos gerais essenciais para qualquer método de aquaponia, incluindo o tanque de peixes, bombas de água e ar, o biofiltro, o método de cultivo da planta e materiais de encanamento associados. O componente hidropônico é discutido em mais detalhes, enfocando os três métodos mais comuns usados em aquaponia: o método de leito de mídia [NT: ou leito de substratos] (Figuras 4.1-4.5); o método da técnica do filme de nutrientes (*nutriente film technique* - NFT) [NT: também conhecido como técnica de fluxo laminar] (Figuras 4.6-4.9); e o método de cultivo em águas profundas (DWC) [NT: também chamado de técnica de fluxo profundo, jangadas ou também de *floating*] (Figuras 4.10-4.13).

[NT: 'Mídias' são os substratos utilizados em aquaponia para a fixação de microrganismos e/ou plantas.]

Método	**Abreviação**	**Outros nomes**	**Nome da área de plantio**	**Seção**
Cultivo em águas profundas	DWC	'jangada' flutuante/'balsa'	Canal/bandejas	4.3
Técnica do filme de nutrientes	NFT	Técnica do fluxo laminar	Cano/calha	4.4
Leito de mídia	n/a	Cama de cultivo	Leito/cama de cultivo	4.5

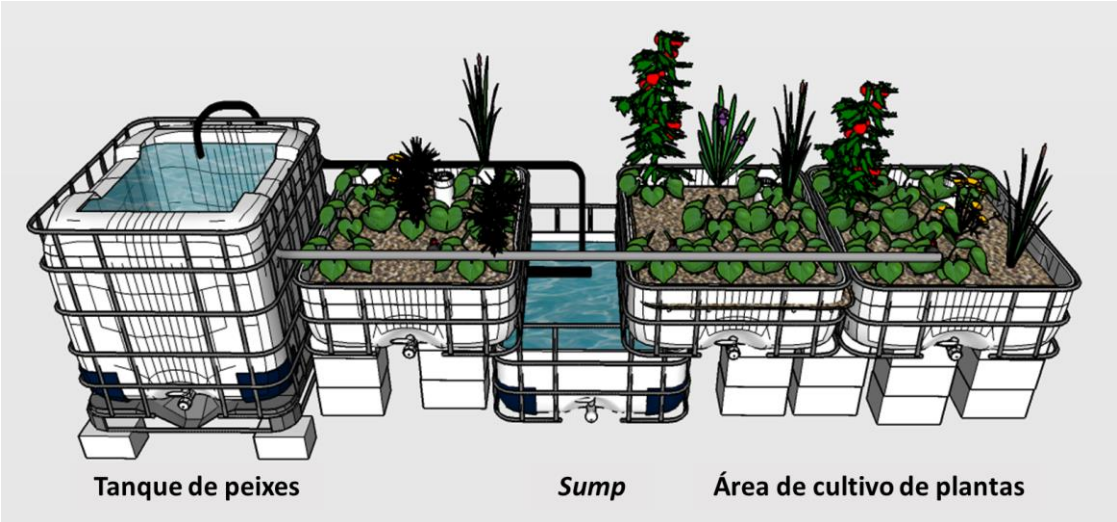


FIGURA 4.1 **Ilustração de uma pequena unidade aquapônica de leito de mídia**

Uma seção específica então apresenta um tipo particular de DWC com baixa densidade de estocagem. Um resumo final de cada método é fornecido em uma tabela para comparar e contrastar esses três métodos.

Este capítulo destina-se apenas a explicar os componentes essenciais da unidade e os diferentes métodos de aquaponia. Para obter mais informações sobre as proporções de dimensionamento e projeto para diferentes componentes da unidade, consulte o Capítulo 8, que fornece informações mais detalhadas, figuras e planos de projeto necessários para projetar e construir unidades aquapônicas de pequena escala. Além disso, o Apêndice 8 fornece um guia passo a passo completo para construir uma versão em pequena escala de cada um dos três métodos explicados neste capítulo usando materiais amplamente disponíveis.

FIGURA 4.2 **Exemplo de uma unidade aquapônica de leito de mídia recém-montada usando contêineres IBC**

FIGURA 4.3 **Plantas de taro (*Colocasia esculenta*) crescendo em uma unidade de leito de mídia semicomercial construída em madeira e forrada com polietileno/plástico resistente**

FIGURA 4.4 **Vegetação exuberante em meio à unidade de leito de mídia de quintal**

FIGURA 4.5 **Uma unidade de leito de mídia com pimenta (*Capsicum* spp.)**

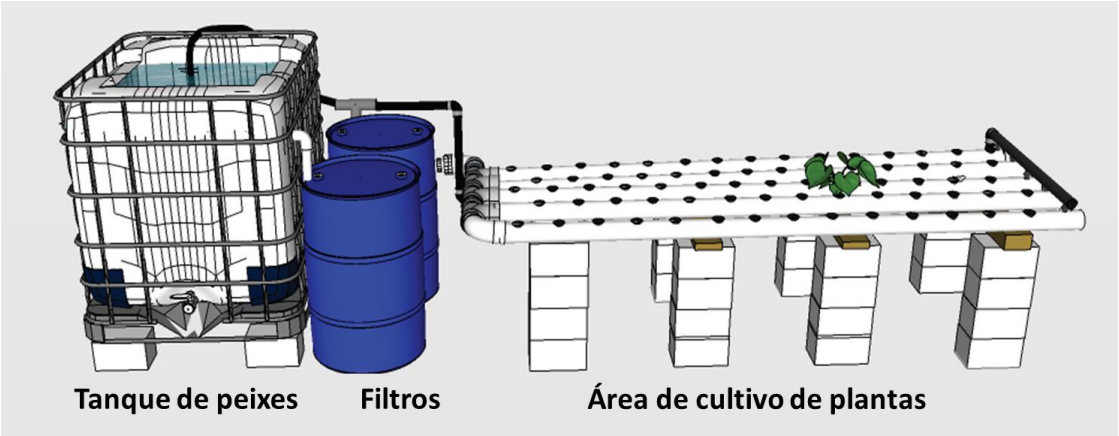


FIGURA 4.6 **Ilustração de uma pequena unidade de técnica do filme de nutrientes**

FIGURA 4.7 **Salsa (*Petroselinum* sp.) crescendo em uma pequena unidade de técnica do filme de nutrientes**

FIGURA 4.8 **Agricultores manejando plantas jovens de tomate em uma unidade de técnica do filme de nutrientes. Os copos utilizados nas plantas são feitos de garrafas de plástico recicladas com orifícios feitos no fundo**

FIGURA 4.9 **Uma unidade de técnica do filme de nutrientes usando espaço vertical**

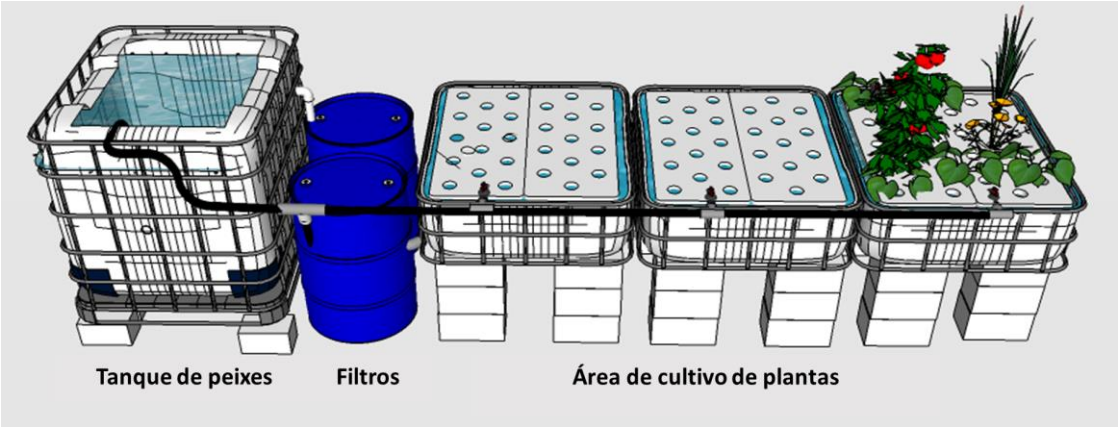


FIGURA 4.10 **Ilustração de uma pequena unidade de cultivo em águas profundas**

FIGURA 4.11 **Alface crescendo em uma unidade de cultivo em águas profundas**

FIGURA 4.12 **Múltiplas variedades de alface crescendo em uma unidade de cultivo em águas profundas**

FIGURA 4.13 **Raízes de couve crespa (*Brassica* sp.) crescendo em uma unidade de cultivo em águas profundas**

4.1 SELEÇÃO DE LOCAL

A seleção do local é um aspecto importante que deve ser considerado antes de instalar uma unidade aquapônica. Esta seção geralmente se refere a unidades aquapônicas construídas ao ar livre sem uma estufa. No entanto, há breves comentários sobre estufas e estruturas de tela de sombreamento para unidades maiores. É importante lembrar que alguns dos componentes do sistema, especialmente a água e a mídia de pedra, são pesados e difíceis de mover, por isso vale a pena construir o sistema em sua localização definitiva. Os locais selecionados devem estar em uma superfície estável e nivelada, em uma área protegida de clima severo, mas exposta à luz solar significativa.

4.1.1 Estabilidade

Certifique-se de escolher um local estável e nivelado. Alguns dos principais componentes de um sistema aquapônico são pesados, levando ao risco potencial de as pernas (ou bases) da estrutura do sistema afundarem no solo. Isso pode levar à interrupção do fluxo de água, inundações ou colapso do sistema. Encontre o terreno mais plano e sólido disponível. As lajes de concreto são adequadas, mas não permitem que nenhum componente seja enterrado, o que pode causar riscos de tropeço. Se o sistema for construído no solo, é útil nivelar o solo e colocar material para mitigar as plantas daninhas. Além disso, coloque blocos de concreto ou cimento sob as pernas dos canteiros para melhorar a estabilidade. Lascas de pedra são frequentemente usadas para nivelar e estabilizar locais de solo. Além disso, é importante colocar os tanques de peixes em uma base; isso ajudará a fornecer estabilidade, proteger o tanque, permitir o encanamento e drenos no fundo do tanque e isolá-lo termicamente do solo.

4.1.2 Exposição ao vento, chuva, neve e geada

Condições ambientais extremas podem causar estresse nas plantas e destruir estruturas (Figura 4.14). Ventos fortes predominantes podem ter um impacto negativo considerável na produção das plantas e podem causar danos aos caules e partes reprodutivas. Além disso, chuvas fortes podem prejudicar plantas e danificar tomadas elétricas desprotegidas. Grandes quantidades de chuva podem diluir a água rica em nutrientes e podem inundar um sistema se nenhum mecanismo de transbordamento estiver integrado na unidade. A neve causa os mesmos problemas que as chuvas fortes, com o ameaça adicional de danos causados pelo frio. Recomenda-se que o sistema esteja localizado em uma zona protegida do vento. Se chuvas fortes forem comuns, pode valer a pena proteger o sistema com uma casa em arco forrada de plástico, embora isso possa não ser necessário em todos os locais. Em regiões onde é comum a ocorrência de geadas no período de inverno, é recomendada a utilização de estruturas protegidas como estufas com controle de temperatura e espécies adaptadas ao frio.

FIGURA 4.14 **Sistema de cultivo em águas profundas danificado pela neve**

4.1.3 Exposição à luz solar e à sombra

A luz solar é crucial para as plantas e, como tal, as plantas precisam receber a quantidade ideal de luz solar durante o dia. A maioria das plantas comuns para aquaponia crescem bem em condições de pleno sol; entretanto, se a luz do sol for muito intensa, uma estrutura de sombra simples pode ser instalada sobre os canteiros. Algumas plantas mais sensíveis à luz, incluindo alface, repolho e saladas verdes, quando ficam expostas demais ao sol, germinam e se tornam amargas e com gosto desagradável. Outras plantas tropicais, como a cúrcuma e certas plantas ornamentais, podem apresentar queimaduras nas folhas quando expostas ao sol excessivo, e produzem melhor com alguma sombra. Por outro lado, com luz solar insuficiente, algumas plantas podem ter taxas de crescimento lentas. Esta situação pode ser evitada colocando a unidade aquapônica em um local ensolarado. Se uma área sombreada for o único local disponível, recomenda-se o plantio de espécies tolerantes à sombra.

Os sistemas devem ser projetados para aproveitar a direção do sol. Os canteiros arranjados espacialmente de forma que o lado mais longo fique no eixo norte-sul, torna mais eficiente o uso do sol durante o dia. Alternativamente, se for preferível menos luz, oriente os leitos, tubos e canais seguindo o eixo Leste-Oeste. Considere também onde e quando há sombras que se cruzam com o local escolhido. Tenha cuidado com o arranjo das plantas de modo que elas não façam sombras umas às outras inadvertidamente. No entanto, é possível usar plantas altas que preferem sol para sombrear plantas baixas e sensíveis à luz do sol intenso da tarde, colocando as plantas altas a oeste ou alternando as duas em uma distribuição dispersa.

Ao contrário das plantas, os peixes não precisam de luz solar direta. Na verdade, é importante que os tanques de peixes fiquem na sombra. Normalmente, os tanques de peixes são cobertos com um material de sombreamento removível que é colocado sobre o tanque (Figura 4.15). No entanto, sempre que possível, é melhor isolar os tanques de peixes da luz solar utilizando uma estrutura de sombreamento separada. Isso dificulta o crescimento de algas (ver Capítulo 3) e ajuda a manter uma temperatura estável da água durante o dia. Também é importante evitar que folhas e detritos orgânicos entrem nos tanques dos peixes, uma vez que a matéria em decomposição das folhas pode escurecer a água, alterar a química da água e entupir canos. Posicione o sistema longe de vegetação que possa derrubar folhas, flores ou galhos dentro dos tanques ou mantenha o tanque coberto com uma tela. Além disso, os tanques de peixes são vulneráveis a predadores. O uso de redes, telas, sombrites, lonas ou outra proteção sobre os tanques de peixes evitará todas essas ameaças.

FIGURA 4.15 **Tela de sombreamento (azul) filtrando a luz do sol no tanque de peixes**

4.1.4 Disponibilidade de serviços básicos, cercas e facilidade de acesso

Na seleção do local, é importante considerar a disponibilidade de serviços básicos como energia elétrica. Tomadas elétricas são necessárias para bombas de água e ar. Essas tomadas devem ser protegidas contra água e equipadas com um dispositivo de corrente residual (RCD) para reduzir o risco de choque elétrico, os quais podem ser adquiridos em lojas de ferragens padrão. Além disso, a fonte de água deve ser facilmente acessível, quer se trate de unidades municipais de abastecimento de água ou de unidades de coleta de água da chuva. Da mesma forma, considere para onde iria qualquer efluente do sistema. Embora extremamente eficientes em termos de água, os sistemas aquapônicos ocasionalmente requerem trocas de água e os filtros e clarificadores precisam ser enxaguados. É conveniente ter algumas plantas em solo localizadas nas proximidades que possam se beneficiar desse efluente. O sistema deve ser localizado em um local de fácil acesso diário, pois é necessário monitoramento e alimentação diária frequentes. Finalmente, considere se é necessário cercar toda a propriedade. Algumas vezes, são necessárias cercas para evitar furto e vandalismo, predadores e para atender a alguns regulamentos de segurança alimentar.

4.1.5 Considerações especiais: aquaponia em terraços

Os telhados planos, terraços ou lajes costumam ser locais adequados para a aquaponia porque são nivelados, estáveis, expostos à luz do sol e ainda não são usados para a agricultura (Figuras 4.16-4.18). No entanto, ao construir um sistema em um terraço, é muito importante considerar o peso do sistema e se o telhado/laje é capaz de suportá-lo ou não. É essencial consultar um arquiteto ou engenheiro civil antes de construir um sistema de aquaponia no terraço. Além disso, é necessário certificar-se de que os materiais podem ser transportados com segurança e eficácia para o local.

FIGURA 4.16 **Uma pequena unidade de leito de mídia em um terraço**

FIGURA 4.17 **Vários sistemas aquapônicos em um terraço**

FIGURA 4.18 **Hortaliças crescendo em um terraço no sistema 'técnica do filme de nutrientes'**

4.1.6 Estufas e estruturas de tela de sombreamento

As estufas não são essenciais para unidades aquapônicas de pequena escala, mas podem ser úteis para estender a estação de cultivo em algumas regiões (Figuras 4.19 e 4.20). Isso é particularmente comum em regiões temperadas e outras regiões mais

frias, pois as estufas podem ser usadas para manter a temperatura da água quente durante os meses frios, permitindo assim a produção durante todo o ano.

FIGURA 4.19 **Pequenas unidades aquapônicas em uma estufa**

FIGURA 4.20 **Unidades aquapônicas recém-montadas em uma estufa**

Uma estufa é uma estrutura de metal, madeira ou plástico que é coberta por náilon transparente, plástico ou vidro. O objetivo dessa estrutura é permitir que a luz solar (radiação solar) entre na estufa, aquecendo o ar dentro da estufa. Quando o sol começa a se pôr, o calor é retido na estufa, permitindo uma temperatura do ar mais quente e estável durante um período de 24 horas. As estufas fornecem, ainda, proteção contra vento, neve, geada e chuva forte. As estufas estendem a estação de crescimento, mantendo o calor solar do ambiente, mas também podem ser aquecidas por dentro. As estufas podem manter afastados animais e outras pragas e servir como segurança contra furtos. As estufas são confortáveis para trabalhar durante as estações mais frias e fornecem ao produtor proteção contra as intempéries. As estruturas da estufa podem ser usadas para apoiar plantas trepadeiras ou para suportar a estrutura de sombreamento. Juntas, essas vantagens de uma estufa resultam em maior produtividade e em uma estação de cultivo prolongada.

No entanto, esses benefícios precisam ser comparados às desvantagens das estufas. Os custos de capital inicial para uma estufa podem ser altos, dependendo do grau de tecnologia e sofisticação desejada. As estufas também exigem custos operacionais adicionais porque ventiladores são necessários para criar circulação de ar para evitar superaquecimento e condições de umidade excessiva. Algumas doenças, incluindo as provenientes de insetos, são mais comuns em estufas e precisam ser manejadas adequadamente (ou seja, uso de telas contra insetos nas portas e janelas), embora o ambiente confinado possa favorecer o uso de certos controles de pragas.

Em algumas regiões tropicais, estufas com telas são mais adequadas do que estufas convencionais cobertas com plástico de polietileno ou vidro (Figura 4.21). Isso ocorre porque os climas quentes nos trópicos e subtrópicos aumentam a necessidade de melhor ventilação para evitar altas temperaturas e umidade. Estufas de telas consistem em uma estrutura sobre os canteiros cobertos com rede de malha ao longo das quatro paredes e uma cobertura de plástico por cima. A cobertura de plástico é particularmente importante para evitar a entrada de chuva, especialmente em áreas com chuvas intensas, pois as unidades podem transbordar em questão de dias. Estufas de tela são usadas para evitar muitas pragas nocivas associadas aos trópicos, bem como pássaros e animais maiores. O tamanho ideal da malha da tela para as quatro paredes depende das pragas locais. Para insetos grandes, o tamanho da malha deve ser de 0,5 mm. Para os menores, que muitas vezes são vetores de doenças virais, o tamanho da malha deve ser mais espesso (ou seja, malha 50). Estufas de tela podem fornecer alguma sombra se a luz do sol for muito intensa. Os materiais de sombreamento mais comuns variam de 25 a 60 % de proteção solar.

FIGURA 4.21 **Estrutura de tela para abrigar uma pequena unidade aquapônica**

4.2 COMPONENTES ESSENCIAIS DE UMA UNIDADE AQUAPÔNICA

Todos os sistemas aquapônicos compartilham vários componentes comuns e essenciais, que incluem: um tanque de peixes, um filtro mecânico, um biofiltro, e recipientes hidropônicos. Todos os sistemas usam energia para circular a água através de tubos e canais enquanto arejam a água. Conforme apresentado acima, existem três projetos principais das áreas de cultivo de plantas, incluindo: canteiros, tubos e canais de cultivo. Esta seção discute os componentes obrigatórios, incluindo os tanques de peixes, filtro mecânico, biofiltro, encanamento e bombas. As seções a seguir são

dedicadas às técnicas hidropônicas separadas e uma comparação é feita para determinar a combinação mais apropriada de técnicas para diferentes circunstâncias.

4.2.1 Tanque de peixes

Os tanques de peixes são um componente crucial em todas as unidades. Como tal, os tanques de peixes podem responder por até 20 % do custo total de uma unidade aquapônica. Os peixes requerem certas condições para sobreviver e desenvolverem-se e, portanto, o tanque deve ser muito bem escolhido. Existem vários aspectos importantes a serem considerados, incluindo a forma, o material e a cor.

Forma do tanque

Embora qualquer formato de tanque de peixes funcione, tanques redondos com fundo plano são recomendados. O formato redondo permite que a água circule uniformemente e transporte os resíduos sólidos em direção ao centro do tanque por força centrípeta. Tanques quadrados com fundo plano são perfeitamente aceitáveis, mas requerem uma remoção mais ativa de resíduos sólidos. O formato do tanque afeta muito a circulação da água e é muito arriscado ter um tanque com má circulação. Tanques de formato artístico com formas não geométricas com muitas curvas e dobras podem criar pontos mortos na água sem circulação. Essas áreas podem acumular resíduos e criar condições anóxicas e tóxicas para os peixes. Se um tanque de formato estranho for usado, pode ser necessário adicionar bombas de água ou bombas de ar para garantir a circulação adequada e remover os sólidos. É importante escolher um tanque que se adapte às características das espécies aquáticas criadas, pois muitas espécies de peixes de fundo apresentam melhor crescimento e menos estresse com espaço horizontal adequado.

Material do tanque

Plástico inerte forte ou fibra de vidro são recomendados por causa de sua durabilidade e vida útil longa. O metal não é possível por causa da ferrugem. Plástico e fibra de vidro são fáceis de instalar (também pela questão de encanamento) e são bastante leves e manobráveis. Bebedouros para animais são comumente usados, pois tendem a ser baratos. Se estiver usando recipientes de plástico, certifique-se de que sejam resistentes aos raios ultravioleta, pois a luz solar direta pode destruir o plástico. Em geral, os tanques de polietileno de baixa densidade são preferíveis por causa de sua alta resistência e os materiais devem ser atóxicos e seguros para entrar em contato com produtos alimentícios. Na verdade, esse é o material mais comumente usado para tanques de armazenamento de água para uso civil. Outra opção é um tanque escavado no solo. Lagoas naturais são muito difíceis de gerenciar para a aquaponia porque os processos biológicos naturais, que já ocorrem no substrato e na lama no fundo, podem ser difíceis de manejar e os nutrientes muitas vezes já são usados pelas plantas aquáticas. Tanques revestidos de cimento ou plástico são muito mais aceitáveis e podem ser uma opção econômica. Tanques de terra podem dificultar as operações de encanamento, e o projeto do encanamento deve ser cuidadosamente considerado antes de embarcar nesta opção. Um dos tanques de peixes mais simples é um buraco cavado no solo, forrado com tijolos ou blocos de concreto e, em seguida, revestido com um forro à prova d'água, como plástico de polietileno. Outras opções incluem contêineres de segunda mão, como banheiras, barris ou contêineres intermediários para granel (IBCs). É muito importante certificar-se de que o recipiente não tenha sido usado anteriormente para armazenar material tóxico. Contaminantes, como produtos químicos à base de solvente, penetram no plástico poroso e são impossíveis de

remover com a lavagem. Assim, é importante escolher cuidadosamente os recipientes usados e, se possível, conhecer o vendedor.

Cor do tanque

O branco ou outras cores claras são fortemente recomendados, pois permitem uma visualização mais fácil dos peixes para verificar facilmente o comportamento e a quantidade de resíduos depositados no fundo do tanque (Figuras 4.22-4.24). Os tanques brancos também refletem a luz do sol e mantêm a água fria. Alternativamente, a parte externa dos tanques de cores mais escuras pode ser pintada de branco. Em áreas muito quentes ou frias, pode ser necessário isolar termicamente ainda mais os tanques.

Coberturas e sombreamento

Todos os tanques de peixes devem ser cobertos. As coberturas de sombreamento evitam o crescimento de algas. Além disso, as tampas evitam que os peixes saltem (geralmente ocorre com peixes recém-adicionados ou se a qualidade da água for abaixo do ideal), evitam que folhas e detritos entrem nos tanques e previnem que predadores como gatos e pássaros ataquem os peixes. Frequentemente, telas de sombreamento agrícolas que bloqueiam 80 a 90 % da luz solar são usadas. A tela de sombreamento pode ser presa a uma moldura de madeira simples para fazer peso e facilitar a remoção da tampa.

Condições de segurança

Não deixe o tanque perder água; peixes morrerão se a água do tanque de peixes for drenada acidentalmente. Embora alguns acidentes sejam inevitáveis (por exemplo, uma árvore caindo no tanque), a maioria das mortes catastróficas de peixes é o resultado de erro humano. É preciso garantir que não seja possível drenar o tanque sem uma escolha deliberada do operador. Se a bomba de água estiver localizada no tanque de peixes, é importante certificar-se de levantar a bomba do fundo para que o tanque não seja bombeado até esvaziar-se. Use um tubo vertical dentro do tanque para garantir um nível mínimo de água. Isto é discutido mais detalhadamente na Seção 4.2.6.

FIGURA 4.22 **Um tanque de 1.000 L feito de um tambor de polietileno**

FIGURA 4.23 **Peixes jovens em um tanque aquapônico cilíndrico. Linha de retorno (superior) e dreno inferior claramente visíveis**

FIGURA 4.24 **Dois grandes tanques retangulares de 1.000 L cada mantendo coortes separadas de peixes juvenis**

4.2.2 Filtração - mecânica e biológica

Filtração mecânica

Para RASs, a filtragem mecânica é indiscutivelmente o aspecto **mais importante** do projeto. A filtragem mecânica é a separação e remoção de resíduos sólidos e suspensos dos peixes nos tanques. É essencial remover esses resíduos para a saúde do sistema, porque gases nocivos são liberados por bactérias anaeróbias se os resíduos sólidos forem deixados para se decompor dentro dos tanques de peixes. Além disso, os resíduos podem obstruir os sistemas e interromper o fluxo de água, causando condições anóxicas nas raízes das plantas. Aquaponia em pequena escala normalmente têm densidades de estocagem mais baixas do que os métodos RAS intensivos para os quais esses filtros mecânicos foram originalmente projetados, mas algum nível de filtração mecânica é essencial para tanques aquapônicos saudáveis, independentemente do tipo de método hidropônico usado.

Existem vários tipos de filtros mecânicos. O método mais simples é uma tela ou filtro localizado entre o tanque de peixes e o canteiro. Essa tela coleta resíduos sólidos e precisa ser enxaguada com frequência. Da mesma forma, a água que sai do tanque de peixes pode passar por um pequeno recipiente de material particulado, separado do leito de mídia; este recipiente é mais fácil de lavar periodicamente. Esses métodos são válidos para algumas unidades aquapônicas de pequena escala, mas são insuficientes em sistemas maiores com mais peixes, onde a quantidade de resíduos sólidos é relevante. Existem muitos tipos de filtros mecânicos, incluindo tanques de sedimentação, clarificadores de fluxo radial, filtros de areia ou de mídias filtrantes, ou filtros defletores; cada um deles pode ser utilizado de acordo com a quantidade de resíduos sólidos que precisa ser removida. No entanto, como esta publicação se concentra em sistemas aquapônicos em pequena escala, clarificadores ou separadores mecânicos são os filtros mais apropriados. Clarificadores, em geral, podem remover até 60 % do total de sólidos removíveis. Para obter mais informações sobre os diferentes métodos de filtração mecânica, consultar a seção Leitura Adicional no final desta publicação.

Separadores mecânicos (clarificadores)

Um clarificador é um reservatório que usa as propriedades da água para separar as partículas. Geralmente, a água que se move mais devagar é incapaz de transportar tantas partículas quanto a água que flui mais rápido. Portanto, o clarificador é construído de forma a acelerar e desacelerar a água para que as partículas se concentrem no fundo e possam ser removidas. Em um clarificador com água em espiral, a água do tanque de peixes entra próximo à metade inferior do clarificador por meio de um tubo. Este tubo é posicionado tangencialmente ao recipiente, forçando assim a água a girar em um movimento circular dentro do recipiente. A força centrípeta criada pelo movimento circular da água força os resíduos sólidos da água para o centro e para o fundo do recipiente, porque a água no centro do vórtice é mais lenta do que no exterior. Uma vez que esses resíduos são coletados no fundo, um tubo ou cano preso ao fundo do recipiente pode ser aberto periodicamente, permitindo que os resíduos sólidos sejam escoados para fora do recipiente. A água sai do clarificador na parte superior, através de um grande cano de saída com fenda coberta com um filtro de malha secundária, e flui para o biofiltro ou para os leitos de mídia. As Figuras 4.25 e 4.27 mostram exemplos de separadores mecânicos simples para unidades pequenas a grandes. Os resíduos sólidos capturados e removidos contêm nutrientes e são muito úteis para os sistemas ou para plantas de jardins em geral. A mineralização de resíduos sólidos é discutida na seção seguinte. Uma orientação geral para unidades de pequena escala é dimensionar o recipiente do separador mecânico para cerca de um sexto do volume do tanque de peixes, mas isso depende da densidade de estocagem e do projeto exato. O Apêndice 8 contém instruções detalhadas passo a passo sobre a construção de cada parte desses sistemas.

A filtragem mecânica preliminar adequada é especialmente importante para unidades NFT e DWC usadas para reter e remover resíduos sólidos. Sem esse processo preliminar, resíduos sólidos e suspensos irão se acumular nos tubos e canais de cultivo e poderão obstruir as superfícies das raízes. O acúmulo de resíduos sólidos pode causar obstrução nas bombas e nos componentes do encanamento. Finalmente, os resíduos não filtrados também criarão pontos anaeróbios perigosos no sistema. Esses pontos anaeróbios podem abrigar bactérias que produzem sulfeto de hidrogênio, um gás tóxico e letal para peixes, produzido a partir da fermentação de resíduos sólidos, que muitas vezes pode ser detectado como cheiro de ovo podre.

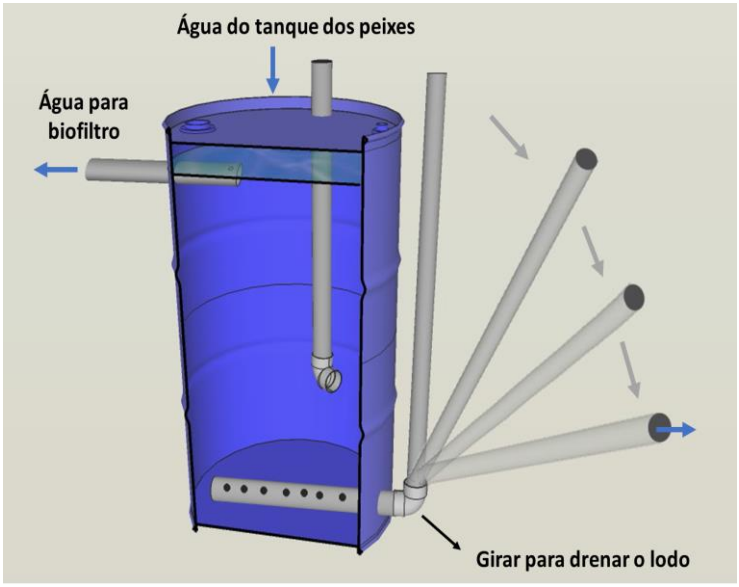


FIGURA 4.25 **Diagrama de um separador mecânico de sólidos**

FIGURA 4.26 **Imagem de um separador mecânico de sólidos**

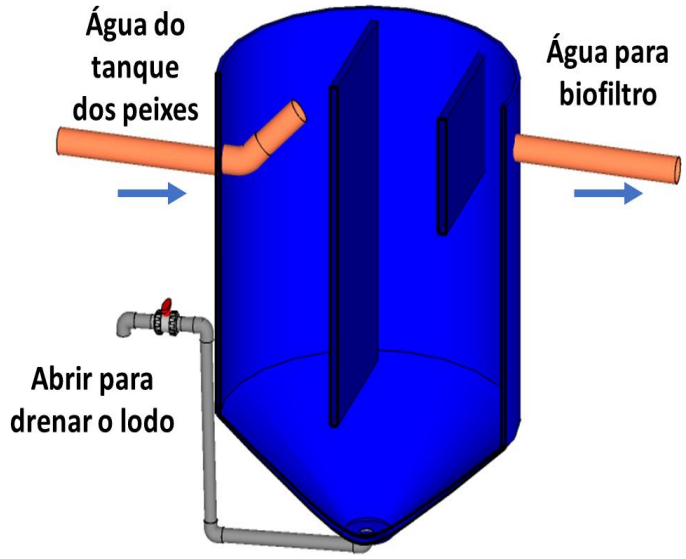


FIGURA 4.27 **Diagrama de um separador mecânico de sólidos**

Biofiltração

Biofiltração é a conversão de amônia e nitrito em nitrato por bactérias vivas. A maioria dos resíduos de peixes não é filtrável usando um filtro mecânico porque os resíduos são dissolvidos diretamente na água, e o tamanho dessas partículas é muito pequeno para ser removido mecanicamente. Portanto, para processar esses resíduos microscópicos, um sistema aquapônico usa bactérias microscópicas. A biofiltração é essencial na aquaponia porque a amônia e o nitrito são tóxicos mesmo em baixas concentrações, enquanto as plantas precisam de nitrato para crescer. Em uma unidade aquapônica, o biofiltro é um componente deliberadamente instalado para abrigar a maioria das bactérias vivas. Além disso, o movimento dinâmico da água dentro de um biofiltro irá quebrar sólidos muito finos não capturados pelo clarificador, o que impede ainda mais o acúmulo de resíduos nas raízes das plantas em NFT e DWC. No entanto, algumas grandes instalações aquapônicas após o projeto do sistema desenvolvido na Universidade das Ilhas Virgens não usam um biofiltro separado, pois dependem principalmente das superfícies úmidas das unidades, das raízes das plantas e da absorção direta da planta para processar amônia. A biofiltração separada é desnecessária na técnica de leito de mídia porque os próprios leitos de cultivo são biofiltros perfeitos.

O biofiltro é projetado para ter uma grande área de superfície específica abastecida com água aerada. O biofiltro é instalado entre o filtro mecânico e os recipientes hidropônicos. O volume mínimo deste recipiente de biofiltro deve ser um sexto do tanque de peixes. A Figura 4.28 mostra um exemplo de um biofiltro para unidades de pequena escala.

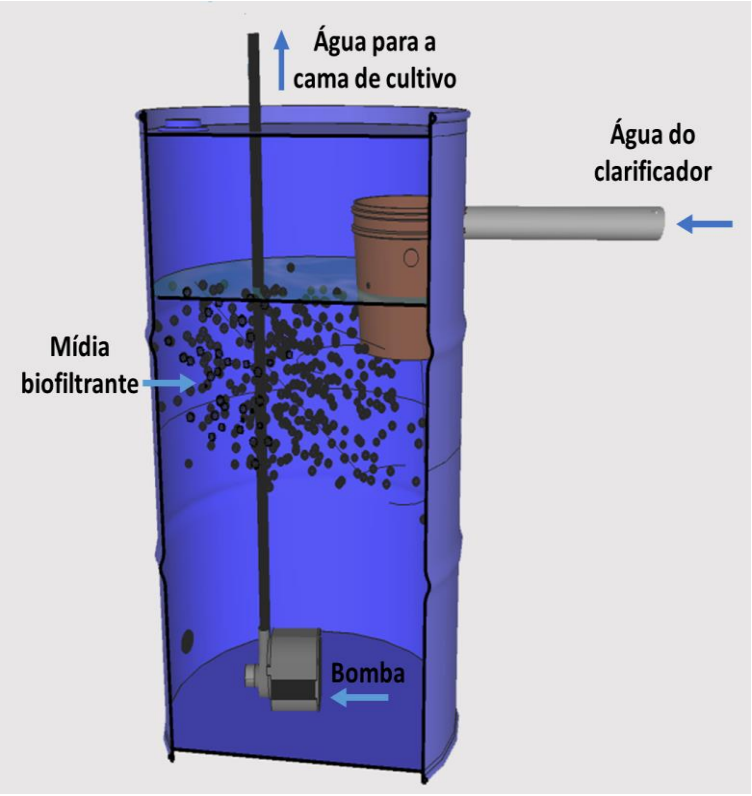


FIGURA 4.28 **Diagrama de um biofiltro para técnica do filme de nutrientes em pequena escala e unidades de cultivo em águas profundas**

Uma mídia de biofiltro comumente usada são os Bioballs®, um produto patenteado disponível em lojas de suprimentos para aquicultura, embora existam marcas genéricas (Figura 4.29). Eles são projetados para ser um material ideal de biofiltração, porque são itens de plástico pequenos e de formato especial que têm uma área de superfície específica muito grande para seu volume (500-700 m/m). Outros tipos de mídia podem ser usados, incluindo cascalho vulcânico, tampas de garrafa de plástico, buchas, esponjas de náilon para banho, redes, aparas de PVC, entre outros. Qualquer biofiltro precisa ter uma alta proporção de área de superfície específica para volume, ser inerte e ser fácil de enxaguar. Bioballs® tem quase o dobro da área de superfície específica para a proporção de volume do cascalho vulcânico e ambos têm uma proporção mais alta do que tampas de garrafa de plástico. Ao usar material de biofiltração abaixo do ideal, é importante preencher o biofiltro o máximo possível, mas mesmo assim a área de superfície específica fornecida pela mídia pode não ser suficiente para garantir uma biofiltração adequada. É sempre melhor superdimensionar o biofiltro durante a construção inicial, mas biofiltros secundários podem ser adicionados posteriormente, se necessário. Os biofiltros ocasionalmente precisam ser manuseados e agitados para evitar o entupimento e, ocasionalmente, precisam ser enxaguados se os resíduos sólidos os obstruírem, criando zonas anóxicas. Consultar o Capítulo 8 e o Apêndice 4 para obter mais informações sobre os requisitos de tamanho de biofiltro para unidades aquapônicas de pequena escala.

FIGURA 4.29 **Mídia plástica para biofiltro com grande área de superfície específica**

Outro componente necessário para o biofiltro é a aeração. Bactérias nitrificantes precisam de acesso adequado ao oxigênio para oxidar a amônia. Uma solução fácil é usar uma bomba de ar, colocando as pedras de ar no fundo do recipiente do biofiltro. Isso garante que as bactérias tenham concentrações de OD constantemente altas e estáveis. As bombas de ar também ajudam a quebrar quaisquer resíduos sólidos ou suspensos não capturados pelo separador mecânico, agitando e movendo constantemente as Bioballs® flutuantes. Para capturar ainda mais os sólidos dentro do biofiltro, também é possível inserir um pequeno balde de plástico cilíndrico cheio de rede de nylon (poliamida) ou manta acrílica (como Perlon®), esponjas ou um saco de rede cheio de cascalho vulcânico na entrada do biofiltro (Figura 4.30). Os resíduos são capturados por este filtro mecânico secundário, permitindo que a água restante flua através de pequenos orifícios perfurados no fundo do balde para o recipiente do biofiltro. Os resíduos aprisionados também estão sujeitos à mineralização e degradação bacteriana.

FIGURA 4.30 **Detalhes do biofiltro mostrando a (A) filtração mecânica adicional e (B) a mídia utilizada no biofiltro**

Mineralização

Mineralização, em termos de aquaponia, refere-se à forma como os resíduos sólidos são processados e metabolizados pelas bactérias em nutrientes para as plantas. Os resíduos sólidos retidos pelo filtro mecânico contêm nutrientes; embora o processamento desses resíduos seja diferente da biofiltração e requeira uma explicação à parte. Qualquer resíduo que permaneça nos filtros mecânicos, nos biofiltros ou nos canteiros está sujeito a alguma mineralização. Deixar os resíduos no local por mais tempo, ou seja, um maior tempo de residência dos resíduos nos filtros levará a um maior tempo destinado à mineralização e, consequentemente, mais nutrientes retidos no sistema e disponível às plantas. No entanto, este mesmo resíduo sólido, se não for adequadamente gerenciado e mineralizado, poderá obstruir o fluxo de água e consumir o oxigênio da água, podendo resultar em condições anóxicas. Nessa situação, pode ocorrer produção de gás sulfídrico, tóxico e perigoso, além de favorecer o processo de desnitrificação. Alguns sistemas grandes, portanto, deixam deliberadamente os resíduos sólidos dentro dos filtros, garantindo um fluxo de água e oxigenação adequados, de modo que o máximo de nutrientes possa ser liberado pelo processo de mineralização. No entanto, este método é impraticável para sistemas NFT e DWC de pequena escala. Se for decidido por mineralizar esses sólidos, existem maneiras simples de facilitar a decomposição bacteriana em um recipiente separado, simplesmente armazenando esses resíduos com oxigenação adequada utilizando pedras de ar. Após um período, uma parte dos resíduos sólidos terá sido consumida, metabolizada e transformada por bactérias heterotróficas. Nesse ponto, a água pode ser decantada e adicionada novamente ao sistema aquapônico, e os resíduos restantes, que diminuíram de volume, podem ser liberados no solo.

Alternativamente, esses resíduos sólidos podem ser separados, removidos e adicionados a qualquer agricultura, jardim ou composteira como um fertilizante valioso. No entanto, a ‘perda’ desses nutrientes pode causar deficiências nas plantas do sistema aquapônico, podendo ser necessário recorrer à suplementação (ver Capítulo 6).

Usando um leito de mídia para uma combinação de filtração mecânica e biológica

Também é possível usar um leito cheio de mídia para filtração mecânica e biológica em unidades NFT e DWC (Figuras 4.31 e 4.32). Isso pode ser importante quando não for possível montar um separador de sólidos e um biofiltro separadamente. O biofiltro precisa ter cerca de 300 L de volume de água para cada 200 g de ração para peixes por dia (mais informações no Capítulo 8). Embora este leito de mídia forneça biofiltração adequada para uma unidade NFT ou DWC para cerca de 20 kg de peixes, bem como alguma retenção de resíduos sólidos, às vezes é recomendado um dispositivo adicional de retenção de sólidos no leito para evitar a obstrução do leito de mídia. O leito precisará ser enxaguado periodicamente para remover os resíduos sólidos.

FIGURA 4.31 **Unidade de leito de mídia de pequena escala usando uma tela para filtração mecânica adicional**

FIGURA 4.32 **Uma unidade de leito de mídia usada para filtração em um sistema de cultivo de águas profundas**

Em resumo, algum nível de filtragem é essencial para todos os sistemas aquapônicos, embora a densidade de estocagem de peixes e o design do sistema determinem quanta filtragem é necessária. Filtros mecânicos separam os resíduos sólidos para evitar o acúmulo de tóxicos, e a biofiltração converte resíduos nitrogenados dissolvidos em nitrato (Figuras 4.33 e 4.34). Os próprios leitos de mídia atuam como filtros mecânicos e biofiltros, mas filtração mecânica adicional às vezes é necessária para densidades maiores de peixes (15 kg/m^3). Sem os leitos de mídia, como em unidades NFT e DWC, um sistema de filtração autônomo é necessário. A mineralização de resíduos sólidos retorna mais nutrientes ao sistema. A mineralização ocorre nos leitos de mídia, mas dentro dos sistemas NFT e DWC são necessários aparelhos separados.

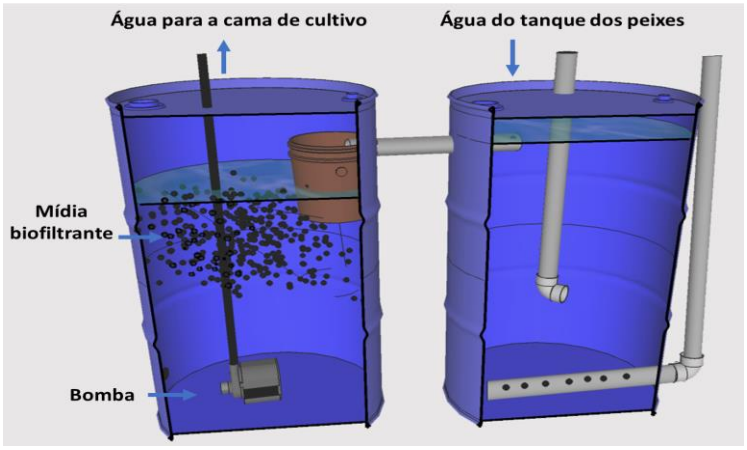


FIGURA 4.33 **Diagrama de um separador mecânico de sólidos (direita) conectado ao biofiltro (esquerda)**

FIGURA 4.34 **Vista superior do separador mecânico de sólidos (direita) conectado ao biofiltro (esquerda)**

4.2.3 Componentes hidropônicos - leitos de mídia, NFT, DWC

O componente hidropônico é o termo usado para descrever as seções de cultivo de plantas na unidade. Existem vários projetos, três dos quais são discutidos em detalhes nesta publicação, mas cada um garante uma seção separada. Esses três designs são: unidades de leito de mídia, às vezes chamadas de leito de partículas, onde as plantas crescem dentro de um substrato (Figuras 4.35 e 4.36); unidades de técnica do filme de nutrientes (NFT), ou do fluxo laminar de nutrientes, onde as plantas crescem com suas raízes em tubos largos abastecidos com um 'fio' de água da aquaponia (Figura 4.37 e 4.38); e unidades de cultivo em águas profundas (DWC), também chamadas de aquaponia de 'jangada' ou sistemas de leito flutuante, onde as plantas permanecem suspensas em uma 'jangada' flutuante (Figura 4.39 e 4.40). Cada método tem vantagens e desvantagens, todos com estilos de componentes diferentes para atender às necessidades de cada método. As seções 4.3 a 4.6 detalham melhor cada um deles.

FIGURA 4.35 **Vegetais crescendo em uma unidade de leito de mídia**

FIGURA 4.36 **Diferentes vegetais crescendo no mesmo leito de mídia**

FIGURA 4.37 **Detalhe de alface crescendo em tubos de uma unidade com a técnica do filme de nutrientes**

FIGURA 4.38 **Alface crescendo em perfis de uma unidade aquapônica com a técnica do filme de nutrientes**

FIGURA 4.39 **Acelga (*Beta* sp.) suspensa em uma 'jangada' de poliestireno em um canal de cultivo em águas profundas**

FIGURA 4.40 **Alface crescendo densamente em uma pequena unidade de cultivo em águas profundas**

4.2.4 Movimento da água

O movimento da água é fundamental para manter todos os organismos vivos na aquaponia. A água corrente se move dos tanques de peixes, através do separador mecânico e do biofiltro e, finalmente, é direcionada para as plantas em seus canteiros, tubulações ou canais, removendo os nutrientes dissolvidos. Se o movimento da água parar, o efeito mais imediato será uma redução na concentração de OD e acúmulo de resíduos no tanque de peixes; sem o filtro mecânico e o biofiltro, os peixes podem sofrer e morrer em poucas horas. Sem fluxo de água, a água em leitos de mídia ou unidades DWC tende a estagnar e se tornar anóxica, e os sistemas NFT podem secar.

Uma diretriz comumente citada para sistemas aquapônicos densamente abastecidos é ciclar a água duas vezes por hora. Por exemplo, se uma unidade aquapônica tem um volume total de água de 1.000 litros, a vazão de água deve ser de 2.000 L/h, para que a cada hora o volume de água do sistema seja recirculado duas vezes. No entanto, em baixas densidades de estocagem, essa taxa de rotatividade é desnecessária e a água só precisa ser reciclada uma vez por hora. Existem três métodos comumente usados para mover a água através de um sistema: bombas de impulsor submersíveis, aeradores e energia humana.

Bomba de água de impulsor submersível

Mais comumente chamadas de bombas submersíveis, são utilizadas como o 'coração' de uma unidade aquapônica, sendo altamente recomendado o seu uso (Figura 4.41). Devem ser utilizadas bombas de água de alta qualidade, de preferência para garantir uma longa vida útil e eficiência energética. Bombas de alta qualidade manterão sua capacidade de bombeamento e eficiência por pelo menos um a dois anos, com uma vida útil geral de três a cinco anos, enquanto produtos de qualidade inferior perderão seu poder de bombeamento em um tempo mais curto, levando a fluxos de água significativamente reduzidos. Com relação à vazão, as unidades de pequena escala descritas nesta publicação precisam de uma vazão de 2.000 L/h a uma altura manométrica de 1,5 m; uma bomba submersível com esta capacidade consumiria 25 a 50 W/h. Uma forma aproximada e útil para calcular a eficiência energética de bombas submersíveis é saber que uma bomba pode mover 40 L de água/h para cada W/h consumido, embora alguns modelos afirmem o dobro dessa eficiência. Ao projetar o encanamento da bomba, é importante perceber que a potência de bombeamento é reduzida em cada conexão de tubo; até 5 % da taxa de fluxo total pode ser perdida em cada conexão de tubo quando a água é forçada. Portanto, use o número mínimo de conexões entre a bomba e os tanques de peixes. Também é importante observar que quanto menor o diâmetro dos tubos, maior a perda de vazão de água. Um tubo de 30 mm tem o dobro da vazão de um tubo de 20 mm, mesmo com bombas de mesma capacidade. Além disso, um tubo maior não requer nenhuma manutenção para remover o acúmulo de sólidos que se acumulam em seu interior. Em termos práticos, isso resulta em uma economia significativa nos custos de eletricidade e operacionais.

Ao instalar uma unidade aquapônica, certifique-se de colocar a bomba submersível em um local acessível porque a limpeza periódica é necessária. Na verdade, o filtro interno precisará ser limpo a cada duas a três semanas. As bombas de água submersíveis serão danificadas se funcionarem sem água; por isso nunca deixe uma bomba funcionar a seco. Bombas externas também podem ser usadas, mas requerem mais encanamento e são mais apropriadas para projetos maiores.

FIGURA 4.41 **Bomba de água submersível, disponível comercialmente em muitas marcas, usada em unidades aquapônicas de pequena escala**

Airlift

Airlift é uma técnica de elevação e aeração da água (Figura 4.42). Consiste em usar uma bomba de ar em vez de uma bomba de água. Bombas de *airlift* são, basicamente, canos dispostos verticalmente nos tanques, com uma entrada de ar que alcança até a parte inferior dos canos. O ar é forçado para o fundo do cano dentro do tanque de peixes, formando bolhas que estouram e, durante sua ascensão à superfície, transportam água. Um benefício do uso do *airlift* é que este pode ser mais eficiente em termos de uso de energia, mas apenas em alturas de aproximadamente 30-40 cm. O *airlift* ganha potência em tanques mais profundos e são melhores em profundidades maiores que um metro. Um valor adicional é que os *airlifts* não entopem como as bombas do tipo impulsor submersíveis. Além disso, a água também é oxigenada por meio do movimento vertical operado pelas bolhas de ar. No entanto, o volume de ar bombeado deve ser adequado para mover a água ao longo da tubulação. As bombas de ar geralmente têm uma vida útil mais longa do que as bombas de água submersíveis. O principal benefício vem de uma economia de escala - uma única bomba de ar pode ser adquirida tanto para aeração quanto para circulação de água, o que reduz a necessidade de investimento de capital em uma segunda bomba.

FIGURA 4.42 ***Airlift* simples**

Força humana

Alguns sistemas aquapônicos foram projetados para usar a força humana para mover a água (Figura 4.43). A água pode ser levantada em baldes ou por meio de roldanas, bicicletas modificadas ou outros meios. Um tanque coletor pode ser cheio manualmente e drenar a água do sistema lentamente ao longo do dia. Esses métodos são aplicáveis apenas para sistemas pequenos e devem ser considerados apenas onde a eletricidade não estiver disponível ou não for confiável. Muitas vezes, esses sistemas terão baixo OD e mistura insuficiente de nutrientes, embora possam ser usados com sucesso em conjunto com algumas técnicas discutidas no Capítulo 9.

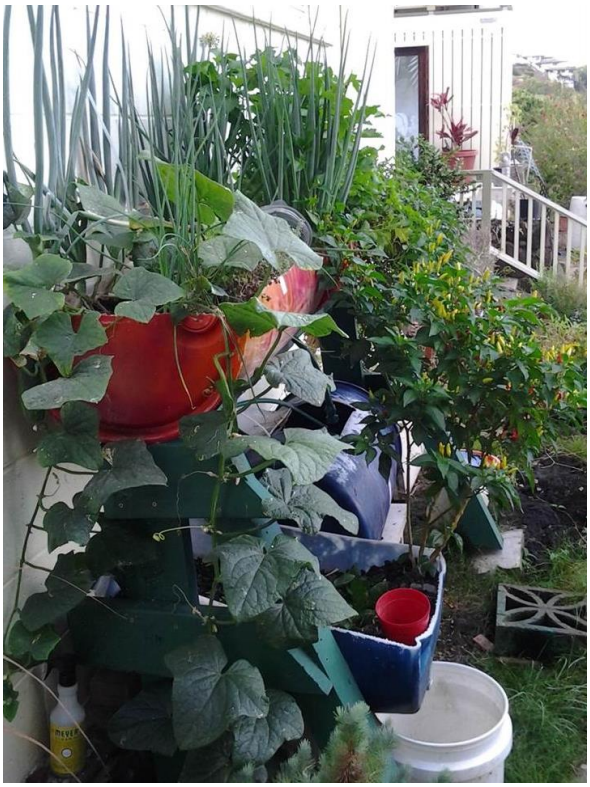


FIGURA 4.43 **Sistema aquapônico de quintal sem o uso de bombas d'água**

4.2.5 Aeração

As bombas de ar injetam ar na água por meio de tubos de ar e pedras de ar que ficam dentro dos tanques de água, aumentando assim os níveis de OD na água (Figura 4.44). O OD adicional é um componente vital das unidades NFT e DWC. As pedras de ar estão localizadas nas extremidades e servem para difundir o ar em bolhas menores (Figura 4.45). Pequenas bolhas têm mais área de superfície específica e, portanto, liberam oxigênio na água de forma mais eficiente do que bolhas grandes; isso torna o sistema de aeração mais eficiente e contribui para reduzir custos. Recomenda-se a utilização de pedras de ar de qualidade para obter as menores bolhas de ar. A bioincrustação ocorrerá, e as pedras de ar devem ser limpas regularmente, primeiro com uma solução de cloro para matar as colônias bacterianas e depois, se necessário, com um ácido muito suave para remover a mineralização, ou substituídas, quando o fluxo das bolhas é inconsistente ou obstruído. Bombas de ar de qualidade são imprescindíveis em sistemas aquapônicos, e muitos sistemas foram salvos de um colapso catastrófico devido à abundância de OD. Se possível, é preferível usar uma bomba de ar combinada CA/CC em caso de falta de eletricidade, porque quando

desconectada da alimentação CA durante uma queda, as baterias CC carregadas podem continuar funcionando.

FIGURA 4.44 **Bomba de ar pequena disponível comercialmente em muitas marcas**

FIGURA 4.45 **Pedra de ar usada para difundir ar pressurizado em pequenas bolhas na água**

Dimensionamento dos sistemas de aeração

Para unidades de pequena escala, com tanques de peixes de cerca de 1.000 litros, recomenda-se que pelo menos duas linhas de ar, também chamadas injetoras, com pedras de ar sejam colocadas no tanque de peixes, e também um injetor de ar no biofiltro. Para entender o volume de ar que entra no sistema, vale a pena medir a taxa de fluxo. Para isso, basta inverter um medidor volumétrico (garrafa de 2 L, copo medidor, copo graduado) no tanque e cronometrar, ao mesmo tempo em que a pedra de ar borbulhante é inserida no dispositivo de medição, até que o recipiente esteja cheio de ar. Assim, é possível determinar a taxa de fluxo em litros por minuto usando uma proporção. A meta para os sistemas de aquaponia é de 4 a 8 L/min. É sempre melhor ter OD extra do que insuficiente.

Procure colocar as pedras de ar de forma que não suspendam novamente os sólidos sedimentados, evitando assim sua remoção pelo dreno central.

Sifões Venturi

De baixa tecnologia e simples de construir, os sifões Venturi são outra técnica para aumentar os níveis de OD na aquaponia. Esta técnica é especialmente valiosa em canais DWC. De um modo geral, os sifões Venturi usam de um princípio hidrodinâmico que puxa o ar de fora (aspiração) quando a água pressurizada flui com uma velocidade mais rápida através de uma secção de tubo/cano de menor diâmetro.

Com fluxo de água constante, se o diâmetro do tubo diminuir, a velocidade da água deve aumentar, e essa velocidade mais rápida cria uma pressão negativa. Os sifões Venturi são seções curtas de tubo (20 mm de diâmetro, 5 cm de comprimento) inseridas dentro do tubo principal de água de um diâmetro maior (25 mm). Como a água no tubo principal é forçada através da secção mais estreita, ela cria um efeito de jato (Figura 4.46). Este efeito de jato aspira o ar circundante para o fluxo de água através de um pequeno orifício no tubo de constrição externo. Se o sifão Venturi estiver submerso, o pequeno orifício pode ser conectado a um tubo que fica exposto à atmosfera. Os sifões Venturi podem ser integrados em cada tubo de entrada nos canais DWC, o que aumentará o conteúdo de OD do canal. Eles também podem servir como uma forma de aeração alternativa se a bomba de ar falhar. Ver a seção Leitura Adicional para mais fontes de informação sobre este tópico.

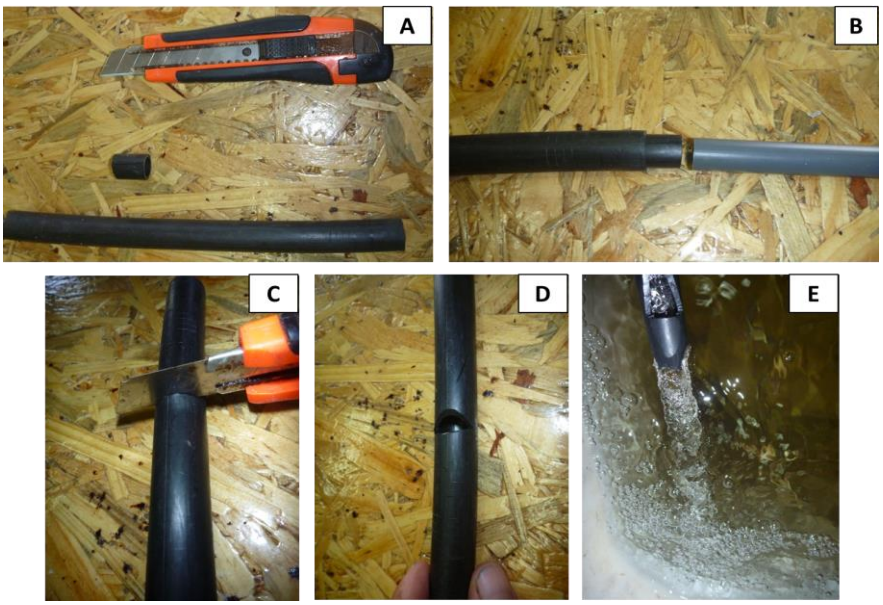


FIGURA 4.46 **Preparação passo a passo de um sifão Venturi. Uma pequena secção do tubo (A) é inserida na extremidade do tubo principal de água (B). Um pequeno entalhe é cortado (C, D) no tubo mais estreito através do qual o ar é aspirado (E)**

4.2.6 Tanque coletor '*sump*'

O tanque coletor, também chamado de '*sump*', é um tanque de coleta de água no ponto mais baixo do sistema. A água sempre deve descer até o coletor (Figura 4.47). Geralmente esta é a localização da bomba submersível. Os tanques coletores ou *sump* devem ser menores do que os tanques de peixes e devem ser capazes de conter entre um quarto e um terço do volume do tanque de peixes. Para leitos de mídia do tipo vazante e de fluxo, o reservatório deve ser grande o suficiente para conter pelo menos todo o volume de água dos canteiros de cultivo (ver Seção 4.3). Tanques coletores externos são usados principalmente em unidades de leito de mídia; no entanto, para unidades DWC, o canal hidropônico também pode ser usado como coletor e local da bomba. Embora útil, o coletor *sump* não é um componente essencial no sistema aquapônico e muitos projetos não empregam um tanque coletor externo. Unidades muito pequenas, com tanques de peixes de até 200 L, podem simplesmente bombear água do tanque para os canteiros, de onde a água escorre de volta para o tanque. No entanto, para unidades maiores, é muito útil ter um reservatório *sump*.

FIGURA 4.47 **Tanque coletor *sump* enterrado no solo para coletar a água por gravidade**

Um método comum em sistemas de aquaponia, e um dos recomendados aqui, é ter a bomba localizada no tanque coletor *sump*. Neste caso, se o projeto garantir que o nível de água se mantenha constante no tanque de peixes, associando uma bomba no tanque coletor (*sump*), quaisquer perdas de água, incluindo evaporação e vazamento, só serão percebidas dentro do *sump*, não alterando o volume do tanque de peixes. Desse modo, é mais fácil medir as perdas evaporativas normais e calcular a frequência com que a água precisa ser reabastecida, e pode ser determinado imediatamente se há um vazamento. Ainda, se ocorrer qualquer vazamento no sistema hidropônico não prejudicará os peixes. A Seção 9.2 discute diferentes maneiras de se manter os níveis de água no sistema.

4.2.7 Materiais de encanamento

Cada sistema requer uma seleção de tubos, conexões e acessórios de PVC, mangueiras e tubos (Figura 4.48). Eles fornecem os canais para que a água flua para cada componente. Registros, aneis de vedação, selantes de silicone e fitas de Teflon® (veda rosca) também são necessários. Os componentes de PVC são unidos entre si de forma permanente com cola de PVC, embora o selante de silicone possa ser usado temporariamente se o encanamento não for permanente e as juntas não estiverem sob alta pressão de água. Além disso, algumas ferramentas de uso geral são necessárias, como martelo, brocas, serras manuais, serras elétricas, fitas métricas, alicate, alicate ‘bico de papagaio’, chaves de fenda, níveis, etc. Uma ferramenta especial é uma serra copo e/ou broca, que são usadas em furadeira elétrica para fazer orifícios de até 8 cm, necessários para inserir os tubos nos tanques e filtros de peixes, bem como para fazer orifícios no PVC ou nas placas de poliestireno em sistemas NFT e DWC. O Apêndice 8 contém uma lista detalhada dos materiais necessários para cada unidade descrita nesta publicação.

É importante certificar-se de que os encanamentos e conexões usados no sistema nunca foram usados para armazenar substâncias tóxicas. Também é importante que o encanamento e demais recipientes usados no sistema aquapônico sejam de materiais atóxicos e livres de produtos químicos que possam infiltrar/contaminar a água do sistema. Também é importante usar tubos pretos ou que ao menos não sejam transparentes à luz, com o objetivo de impedir ou dificultar o crescimento de algas.

FIGURA 4.48 **Uma seleção de materiais de encanamento comumente usados na montagem do sistema**

4.2.8 Kits de testes de água

Testes simples de água são um requisito para todas as unidades aquapônicas. Os kits de testes de água doce com código de cores são acessíveis e fáceis de usar e, portanto, são bastante recomendados. Estes podem ser comprados em lojas de aquários ou online. Esses kits incluem testes de pH, amônia, nitrito, nitrato, dureza GH e KH (Figura 4.49). É importante certificar-se de que os fabricantes sejam confiáveis e que os kits estejam dentro do prazo de validade. Outros métodos incluem medidores digitais ou tiras de teste. Se estiver usando medidores digitais de pH ou nitrato, certifique-se de calibrar as unidades de acordo com as instruções do fabricante. Um termômetro é necessário para medir a temperatura da água, caso não seja possível a aquisição de um oxímetro digital. Além disso, se houver risco de água salgada na fonte de água, a aquisição de um hidrômetro/densímetro, ou um refratômetro, mais preciso, vale a pena. Mais detalhes sobre o uso de kits de testes colorimétricos para análise de água estão incluídos na Seção 3.3.6.

FIGURA 4.49 **Kit de teste de água, disponível em várias marcas, incluindo testes de amônia, nitrito, nitrato, pH e alcalinidade**

4.3 A TÉCNICA DO LEITO DE MÍDIA

As unidades de leitos preenchidos com mídia são as mais populares em aquaponia de pequena escala. Este método é altamente recomendado para a maioria das regiões em desenvolvimento. Esses projetos são eficientes em termos de espaço, têm um custo inicial relativamente baixo e são adequados para iniciantes devido à sua simplicidade. Em unidades de leito de mídia, esta é usada para apoiar as raízes das plantas e também funciona como um filtro, tanto mecânico quanto biológico. Essa

dupla função é a principal razão pela qual as unidades de leito de mídia são as mais simples, e as próximas seções demonstram como os métodos NFT e DWC requerem componentes isolados e mais complicados para filtração. No entanto, a técnica do leito de mídia pode se tornar complicada e relativamente cara em uma escala maior. As mídias podem ficar obstruídas se as densidades de estocagem de peixes excederem a capacidade de carga dos leitos, e isso pode exigir uma filtração adicional separada. A evaporação da água é maior em leitos de mídia com maior área de superfície exposta ao sol. Algumas mídias também podem ser muito pesadas, e o uso de grandes quantidades irá requerer um suporte adequado e resistente.

Existem muitos designs para leitos de mídia e esta é provavelmente a técnica mais adaptável. Por exemplo, *Bumina* é uma técnica aquapônica usada na Indonésia que usa muitos pequenos leitos de mídia conectados a um tanque de peixes no solo (Seção 9.4.3). Além disso, materiais reciclados podem ser facilmente reaproveitados para armazenar tanto a mídia quanto os peixes e as plantas.

4.3.1 Dinâmica do fluxo de água

A Figura 4.50 demonstra os principais componentes de um sistema aquapônico usando leitos de mídia, incluindo o tanque de peixes, os leitos de mídia, o tanque coletor (*sump*) e a bomba d'água, bem como blocos de concreto para suporte. A dinâmica do fluxo de água pelo sistema se dá da seguinte forma: a água flui por gravidade do tanque de peixes, através de um simples filtro mecânico e nos leitos de mídia. Esses leitos de mídia estão preenchidos por mídias biofiltrantes porosas que servem como filtro mecânico e biológico e local para mineralização. Esses canteiros/leitos hospedam as colônias de bactérias nitrificantes e também servem de local para o crescimento das plantas. Ao sair dos leitos de mídia, a água desce para o tanque coletor/*sump*, novamente por gravidade. Neste ponto, a água está relativamente livre de resíduos sólidos e dissolvidos. Essa água 'limpa', então, é bombeada de volta para o tanque de peixes, o que faz com que o nível da água suba e transborde do tanque para os leitos de mídia, completando o ciclo. Alguns leitos de mídia são projetados para inundar e drenar, o que significa que o nível da água sobe até um determinado ponto e é drenado completamente. Isso adiciona oxigênio às raízes das plantas e auxilia na biofiltração da amônia. Outros métodos de irrigação de leitos de mídia usam um fluxo constante de água, entrando em um lado do leito e saindo do outro, ou distribuído por meio de um sistema de irrigação por gotejamento.

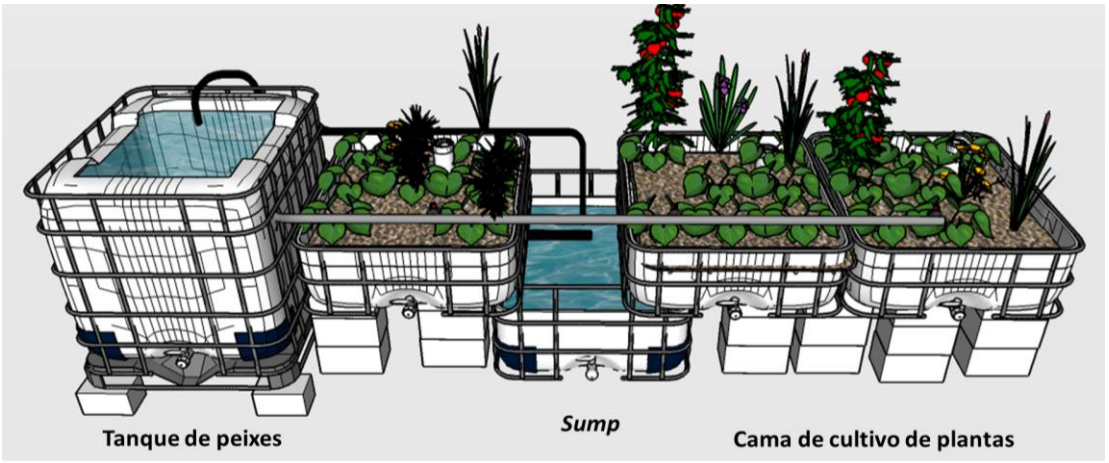


FIGURA 4.50 **Ilustração de uma pequena unidade de leito de mídia**

4.3.2 Construção do leito de mídia

Materiais

Os leitos de mídia podem ser feitos de plástico, fibra de vidro ou uma estrutura de madeira com borracha impermeável ou folha de polietileno na base e no interior das paredes. Os leitos de mídia do tipo 'faça você mesmo' mais populares são feitos de recipientes de plástico, reservatórios ou contêineres do tipo IBCs modificados ou mesmo banheiras velhas (Figura 4.51). É possível usar todos os itens acima como leitos de mídia e outros tipos de tanques, desde que atendam aos seguintes requisitos:

- forte o suficiente para reter a água e o substrato sem quebrar;
- capaz de resistir a condições climáticas difíceis;
- feito de material de material atóxico que seja seguro para peixes, plantas e bactérias;
- possa ser facilmente conectado a outros componentes da unidade por meio de peças de encanamento simples; e
- possa ser colocado próximo a outros componentes da unidade.

Forma

A forma padrão para leitos de mídia é um retângulo, com uma largura de cerca de 1 m e um comprimento de 1-3 m. Leitos maiores podem ser usados/fabricados, mas requerem suporte adicional (ou seja, blocos de concreto) para sustentar seu peso. Além disso, leitos mais longos podem ter distribuições desiguais de sólidos que tendem a se acumular na entrada de água, aumentando o risco de zonas anaeróbias. Os canteiros não devem ser tão largos que o produtor/operador não consiga alcançá-los.

FIGURA 4.51 **Unidade de leito de mídia construída a partir de contêineres IBCs a granel**

Profundidade

A profundidade do leito de mídia é importante porque controla a quantidade de volume do espaço da raiz na unidade que determina os tipos de vegetais que podem ser cultivados. Se o cultivo for de grandes hortaliças frutíferas, como tomate, quiabo ou repolho, o leito de mídia deve ter uma profundidade de 30 cm, sem o qual os vegetais maiores não teriam espaço suficiente para o crescimento das raízes, as quais podem emaranhar-se, prejudicando a absorção de nutrientes e causando deficiências nutricionais nos vegetais, e possivelmente o tombamento destes (Figura 4.52). Pequenas hortaliças folhosas verdes requerem apenas 15 a 20 cm de profundidade de mídia, tornando-os uma boa escolha se o tamanho do leito de mídia for limitado. Mesmo assim, alguns experimentos mostraram que mesmo vegetais maiores podem ser cultivados em canteiros rasos se as concentrações de nutrientes forem suficientes.

FIGURA 4.52 **Tanques de fibra de vidro usados em uma unidade de leito de mídia**

4.3.3 Escolha da mídia

Todas as mídias aplicáveis como substrato terão vários critérios comuns e essenciais. A mídia precisa ter uma área de superfície específica adequada, permanecendo permeável à água e ao ar, permitindo assim que as bactérias cresçam, a água flua e as raízes das plantas respirem. A mídia deve ser inerte, não empoeirada e de material atóxico, e deve ter pH neutro para não afetar a qualidade da água. É importante lavar bem a mídia antes de colocá-la nos leitos de cultivo, particularmente o cascalho vulcânico, que contém poeira e micropartículas. Essas partículas podem obstruir o sistema e potencialmente prejudicar as brânquias dos peixes. Por fim, é importante trabalhar com mídias de material que seja conveniente e viável para o agricultor. Alguns importantes critérios que devem ser levados em consideração na escolha da mídia estão listados abaixo:

- grande área de superfície específica para crescimento bacteriano;
- pH neutro e inerte (o que significa que a mídia não lixiviará nenhuma substância potencialmente tóxica);
- boas propriedades de drenagem;
- fácil de trabalhar;
- espaço suficiente para o ar e a água fluírem no interior da mídia;
- disponível e com boa relação custo-benefício e
- leve, se possível.

Várias mídias comuns que atendem aos critérios aqui discutidos incluem:

Cascalho/tufo vulcânico

O cascalho/tufo vulcânico é a mídia mais popular para uso em unidades de leito de mídia e é recomendado seu uso sempre que possível (Figura 4.53). As três melhores qualidades do cascalho vulcânico são que ele tem uma alta razão entre área de superfície específica e volume, pode ser barato e fácil de obter e é quase quimicamente inerte. O cascalho vulcânico tem uma proporção de área de superfície específica para volume de cerca de 300 m^2/m^3, dependendo do tamanho da partícula, o que fornece amplo espaço para a colonização de bactérias. O cascalho vulcânico é abundante em muitos locais ao redor do mundo. Uma vez lavado para retirar sua poeira e alguma sujeira, o cascalho vulcânico é quase completamente inerte quimicamente, exceto por pequenas liberações de microelementos como ferro e magnésio e a absorção de íons de fosfato e potássio nos primeiros meses do início de uma unidade. O tamanho

recomendado de cascalho vulcânico é de 8 a 20 mm de diâmetro. O cascalho menor tende a se obstruir com resíduos sólidos e o cascalho maior não oferece a área de superfície específica ou o suporte necessário à planta.

FIGURA 4.53 **Tufo vulcânico usado como substrato/mídia**

Pedra calcária

A pedra calcária ou cascalho de calcário não é recomendada como substrato, embora seja comumente usada (Figura 4.54). O calcário, uma rocha sedimentar, é menos desejável do que outras mídias porque tem uma menor proporção de área de superfície específica para volume, é pesado e não é inerte. O calcário é composto principalmente de carbonato de cálcio ($CaCO_3$), que se dissolve na água e altera a qualidade da água. O calcário, ao ser usado como mídia em um leito de cultivo, resultará em aumento do KH da água, o que também aumentará o pH (ver Seção 3.3). Portanto, este material é melhor utilizado onde as fontes de água são muito baixas em alcalinidade ou ácidas, pois nos casos de água alcalina seria necessário correções ácidas constantes da água. No entanto, uma pequena adição de calcário pode ajudar a contrabalançar o efeito acidificante das bactérias nitrificantes, que pode compensar a necessidade de tamponamento regular da água em sistemas bem balanceados. O calcário pode não ser tão conveniente para se trabalhar em termos de plantio e colheita, e pode ficar obstruído se a granulometria adequada não for escolhida. No entanto, muitas vezes é a forma de cascalho mais barata e comum disponível. O calcário só é aceitável como mídia se nenhuma outra mídia estiver disponível, mas o produtor deve estar ciente de seu impacto sobre a qualidade da água.

FIGURA 4.54 **Cascalho calcário usado como substrato/mídia**

Agregado leve de argila expandida

O agregado leve de argila expandida (LECA) consiste em seixos de argila expandida (Figura 4.55). Originalmente, era fabricado para isolamento térmico de telhados de edifícios, mas mais recentemente foi usado em hidroponia. Esses seixos são redondos e muito leves em comparação com outros substratos. São muito fáceis de

trabalhar e ideais para a produção em telhados/lajes/coberturas. A área de superfície específica da argila expandida é de cerca de 250 a 300 m^2/m^3, que está dentro da faixa desejada. Ela vem em uma variedade de tamanhos; para sistemas aquapônicos, são recomendados tamanhos maiores com diâmetros de 8 a 20 mm. No entanto, a argila expandida é relativamente cara e não está amplamente disponível em todos os locais. Este material pode trazer benefícios adicionais aos produtores no caso de leitos de mídia alocados diretamente no piso da cobertura/laje ou no telhado (dependendo do projeto). A edificação pode de fato se beneficiar de um isolamento térmico adicional, o que pode diminuir os custos de resfriamento/aquecimento das casas.

FIGURA 4.55 ***Pellets*** **de agregado leve de argila expandida, usados como substrato/mídia**

Outras opções de mídia

Se as mídias listadas acima não estiverem disponíveis, é possível utilizar outras. Alternativas incluem: cascalho/seixos de leito de rio, que geralmente é calcário, mas pode ter uma baixa relação entre área de superfície específica e volume dependendo da granulometria; pedra-pomes; lã de rocha, um material popularmente usado como substrato em hidroponia; plástico reciclado, embora o plástico flutue e precise ser mantido submerso com uma camada de cascalho por cima; ou substratos orgânicos, como fibra de coco, serragem, musgo de turfa e casca de arroz, que geralmente são baratos, mas podem se tornar anóxicos, deteriorando-se com o tempo e obstruindo o sistema. No entanto, o substrato orgânico pode ser usado por um tempo dentro da aquaponia e, uma vez que começa a se deteriorar, a mídia pode ser removida do sistema, compostada e usada como um valioso nutriente adicional para plantações no solo. A Tabela 4.1 resume as principais características de todas as mídias mencionadas acima.

TABELA 4.1
Características de diferentes mídias de cultivo

Tipo de mídia	ASE (m^2/m^3)	pH	Custo	Peso	Vida útil	Retenção de água	Suporte para a planta	Facilidade de trabalhar
Cascalho vulcânico (tufo)	300-400	Neutro	Médio	Médio	Longa	Baixa/ Média	Ótimo	Médio
Cascalho vulcânico (pomes)	200-300	Neutro	Médio/ Alto	Leve	Longa	Média	Médio/ Ruim	Fácil

Cascalho calcário	150-200	Básico	Baixo	Pesado	Longa	Baixa	Ótimo	Difícil
Argila expandida (LECA)	250-300	Neutro	Alto	Leve	Longa	Baixa/ Média	Médio	Fácil
Tampas de garrafas de plástico	50-100	Inerte	Baixo	Leve	Longa	Baixa	Pobre	Fácil
Fibra de coco	200-400 variável	Neutro	Baixo /Médio	Leve	Baixo	Alta	Médio	Fácil

ASE: área de superfície específica

Substituição de volume de água pela mídia

Dependendo da mídia, ela ocupará cerca de 30-60 % do volume total do leito de mídia. Esta porcentagem ajudará a decidir sobre o tamanho do tanque coletor para cada unidade, porque o tanque coletor, no mínimo, precisará conter o volume total de água contido em todos os leitos de mídia. Os tanques coletores devem ser ligeiramente superdimensionados para garantir que haja sempre uma quantidade de água adequada para a bomba nunca funcionar no seco.

Por exemplo, para um leito de mídia de 1.000 L (dimensões de 2 m de comprimento × 2 m de largura × 0,25 m de profundidade média), a mídia irá ocupar 300 a 600 L deste espaço e, portanto, o volume de água do leito de mídia seria de 400 a 700 L. Recomenda-se que o volume do reservatório seja de pelo menos 70 % do volume total do leito de mídia. Para este exemplo, o tanque coletor deve ser de aproximadamente 700 L.

4.3.4 Filtração

Os leitos de mídia funcionam como filtros muito eficientes, tanto mecânicos quanto biológicos. Ao contrário dos sistemas NFT e DWC (discutidos mais abaixo), a técnica do leito de mídia utiliza uma combinação de filtro e área de cultivo de plantas. Além disso, o leito de mídia fornece um local para a mineralização, que está ausente nos sistemas NFT e DWC. No entanto, em altas densidades de estocagem (> 15 kg/m^3), a filtração mecânica pode ser sobrecarregada e pode correr o risco de obstrução das mídias e produzir pontos anaeróbios perigosos à saúde do sistema.

Filtro mecânico

O leito preenchido de mídia funciona como um grande filtro mecânico, contendo os resíduos sólidos e suspensos provenientes dos peixes e outros detritos orgânicos flutuantes. A eficácia desse filtro dependerá do tamanho da partícula de mídia, porque as partículas menores são mais densamente compactadas e capazes de reter mais sólidos. Além disso, uma alta taxa de fluxo de água pode forçar as partículas através do leito de mídia e escapar do filtro. Com o tempo, os resíduos sólidos retidos pela mídia se decompõem e são mineralizados. Um sistema devidamente equilibrado processará todos os resíduos sólidos recebidos.

Quando os leitos de mídia são dimensionados inadequadamente para a densidade de estocagem, podem ficar obstruídos com os sólidos. Isso indica um erro no projeto original quanto à taxa de alimentação usada para equilibrar o sistema.

Leitos de mídia obstruídos com resíduos sólidos prejudicam a circulação de água no sistema, podendo gerar áreas anóxicas e condições de risco ao equilíbrio do sistema. Quando isso ocorre, o meio onde estão as mídias precisa ser lavado, o que exige muito trabalho, interrompe o ciclo de crescimento da planta e pode perturbar brevemente as bactérias nitrificantes. Para evitar essa situação, o projeto deve considerar a densidade de armazenamento, o regime de alimentação e a taxa de alimentação para calcular a área necessária do leito de mídia. Alternativamente, outro dispositivo de retenção de sólidos pode ser integrado ao desenho da unidade. Isso também é recomendado onde a densidade de estocagem exceda 15 kg/m^3 e/ou se a taxa de alimentação for superior a 50 g/dia para cada m^2 de canteiro. Existem várias opções para este filtro mecânico adicional. Uma técnica rudimentar e barata é fixar uma 'bolsa' de tecido (como, por exemplo, uma meia velha) na torneira onde a água do tanque de peixes entra no leito de mídia. Este filtro simples pode ser removido todos os dias e enxaguado. Outro método mais elaborado é colocar um balde de 3 a 5 L dentro do leito de mídia com vários pequenos orifícios (6-8 mm) perfurados nas superfícies laterais (Figura 4.31). Esponjas, redes de náilon ou mesmo mídias de cultivo (cascalho vulcânico, argila expandida) podem ser amarrados em um saco de rede inerte poroso e colocados neste balde. Este filtro irá reter os resíduos sólidos, e o filtro pode então ser removido periodicamente para ser enxaguado e substituído.

Filtração biológica

Todas as mídias de cultivo aqui descritas têm uma grande área de superfície específica onde as bactérias nitrificantes podem colonizar. De todos os designs aquapônicos, os leitos de mídia têm a filtragem principalmente biológica devido à enorme área de superfície específica da mídia na qual as bactérias podem crescer. A capacidade de biofiltração pode ser limitada ou perdida se os leitos de mídia se tornarem anóxicos, se a temperatura cair ou se a qualidade da água for ruim, mas geralmente os leitos de mídia têm uma filtração biológica mais do que adequada.

Mineralização

Com o tempo, os resíduos sólidos e suspensos provenientes dos peixes e todos os outros detritos do sistema são lentamente decompostos por processos físicos e biológicos em nutrientes simples, na forma de moléculas simples e íons que as plantas podem absorver facilmente. Se o lodo se acumula no leito de mídia e não sai, isso pode indicar que o processo de mineralização não é suficiente. Nesse caso, a recomendação é usar uma filtragem mecânica mais eficaz e processar os resíduos filtrados separadamente. Este processo é descrito com mais detalhes na Seção 4.2.2 e no Capítulo 5.

4.3.5 As três zonas dos leitos de mídia - características e processos

A natureza de um leito de mídia de inundação e drenagem cria três zonas separadas que podem ser consideradas microecossistemas, que são diferenciadas por seu conteúdo de água e oxigênio. Cada zona hospeda um grupo diverso de bactérias, fungos, microrganismos, minhocas, insetos e crustáceos. Uma das mais importantes são as bactérias nitrificantes usadas para biofiltração, mas existem muitas outras espécies que desempenham um papel na decomposição de dejetos de peixes. Não é essencial estar ciente de todos esses organismos, mas esta seção descreve brevemente as diferenças entre essas três zonas e alguns dos processos ecológicos que ocorrem em cada uma delas.

Zona seca

Os 2-5 cm superiores do leito de mídia são a zona seca (Figura 4.56). Esta zona funciona como uma barreira, evitando que a luz atinja a água diretamente, o que pode levar ao crescimento de algas. Também evita o crescimento de fungos e bactérias nocivas na base do caule da planta, o que pode causar apodrecimento desta região e outras doenças nas plantas. Outra razão para ter uma zona seca é minimizar a evaporação dos leitos, cobrindo a zona úmida da luz direta. Além disso, as bactérias benéficas são sensíveis à luz solar direta.

Zona seca/úmida

Esta é a zona que tem umidade e alta troca gasosa. Nas técnicas de inundação e drenagem (discutidas abaixo), este é o espaço de 10-20 cm onde o leito de mídia inunda e drena intermitentemente (Figura 4.57). Se não usar técnicas de inundação e drenagem, esta zona será o caminho pelo qual a água flui através da mídia. A maior parte da atividade biológica ocorre nesta zona. O desenvolvimento da raiz, as colônias de bactérias benéficas e microrganismos benéficos estão ativos nesta zona. As plantas e os animais recebem água, nutrientes e oxigênio por causa da interface entre o ar e a água.

Uma técnica comum é adicionar minhocas ao leito de mídia para viverem nesta zona seca/úmida. As minhocas contribuem para a decomposição de resíduos sólidos de peixes e também consomem quaisquer folhas ou raízes mortas, evitando que os resíduos venham a obstruir o sistema. A Seção 9.1.1 contém mais informações sobre minhocas e vermicomposto.

Zona úmida

Esta zona, os 3-5 cm da parte inferior do leito, fica permanentemente úmida. Nesta zona, os pequenos resíduos sólidos particulados se acumulam e, portanto, os organismos que são mais ativos na mineralização estão localizados aqui. Isso inclui bactérias heterotróficas e outros microrganismos. Esses organismos, por meio do processo de mineralização, são responsáveis por quebrar os resíduos em frações e moléculas menores que podem ser absorvidas pelas plantas.

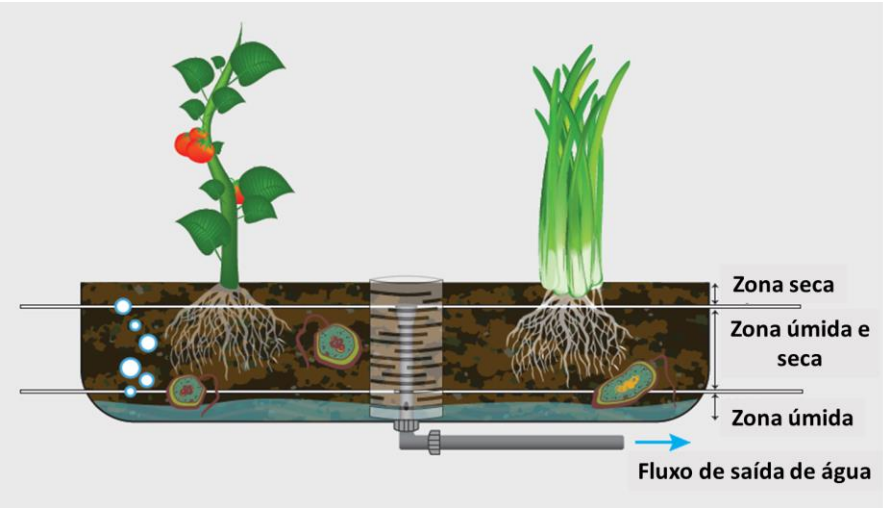


FIGURA 4.56 **As três zonas de um leito de mídia durante o ciclo de drenagem**

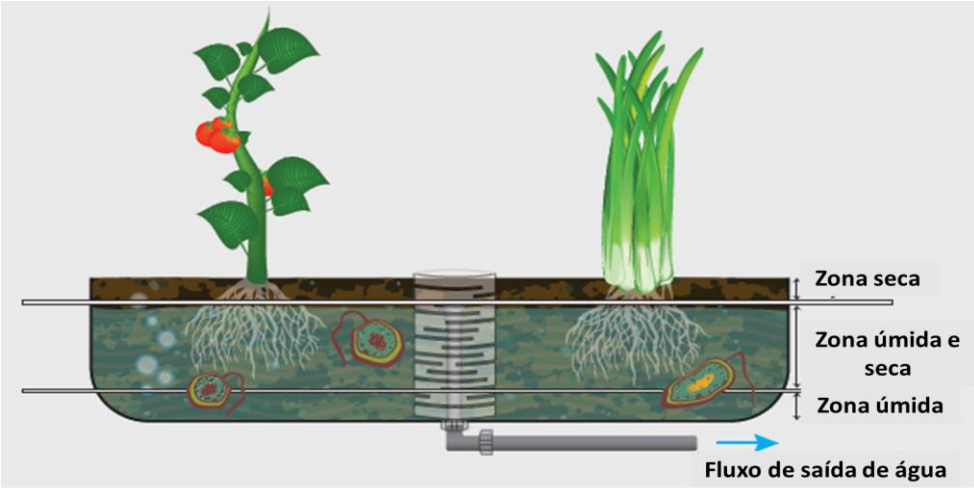


FIGURA 4.57 **As três zonas de um leito de mídia durante o ciclo de inundação**

4.3.6 Irrigando os leitos de mídia

Existem diferentes técnicas para fornecer água aos leitos de mídia, e cada uma pode ser relevante dependendo da disponibilidade local de materiais, do grau de tecnologia desejado ou da experiência dos operadores. Uma maneira simples de fazer isso é permitir que a água seja simplesmente gotejada de canos perfurados uniformemente distribuídos sobre a mídia, sendo este um design perfeitamente aceitável. Alguns especialistas demonstraram que os projetos de fluxo constante, em que o nível de água dentro do canteiro é sempre o mesmo, suportam as mesmas taxas de crescimento das plantas que são mantidas com métodos mais complicados. Esses sistemas de distribuição de água podem ficar obstruídos com resíduos sólidos de peixes e devem ser limpos periodicamente.

Um método chamado inundação e drenagem, também conhecido como fluxo e refluxo, também podem ser usados, onde o sistema de encanamento faz com que os leitos de mídia inundem com a água do tanque de peixes e depois drenem de volta para o tanque coletor. Isso é realizado por meio de autossifões ou bombeamento cronometrado. Esta alternância entre inundação e drenagem garante que as plantas tenham nutrientes frescos e fluxo de ar adequado na zona da raiz. Assim, isso repõe os níveis de oxigênio para plantas e bactérias. Também garante que haja umidade suficiente no leito de cultivo o tempo todo para que as bactérias possam se desenvolver em suas condições ideais. Normalmente, esses sistemas realizam o ciclo completo uma a duas vezes a cada hora, mas alguns sistemas bem-sucedidos fazem o ciclo somente três a quatro vezes por dia. Projetos de inundação e drenagem não são as únicas técnicas para leitos de mídia, e o gerenciamento do ciclo de fluxo de água pode ser frustrante e demorado para operadores novatos.

Esta publicação discute brevemente dois métodos populares para inundar e drenar um leito de mídia em um sistema de aquaponia, embora outros métodos, como o sifão em *loop*, existam e sejam objeto de pesquisas atuais.

Sifão de sino ('bell siphon')

O sifão de sino, também chamado de sifão *bell*, é um tipo de autossifão que explora algumas leis físicas da hidrodinâmica e permite que o leito de mídia alague e drene automaticamente, periodicamente, sem um temporizador (Figura 4.58). A ação, o tempo e o sucesso final do sifão dependem da taxa de fluxo da água para o leito, que é constante. No entanto, pode ser complicado de desenvolver e ajustar esse tipo de

sifão de drenagem, exigindo algum trabalho e atenção permanente para monitorar seu funcionamento.

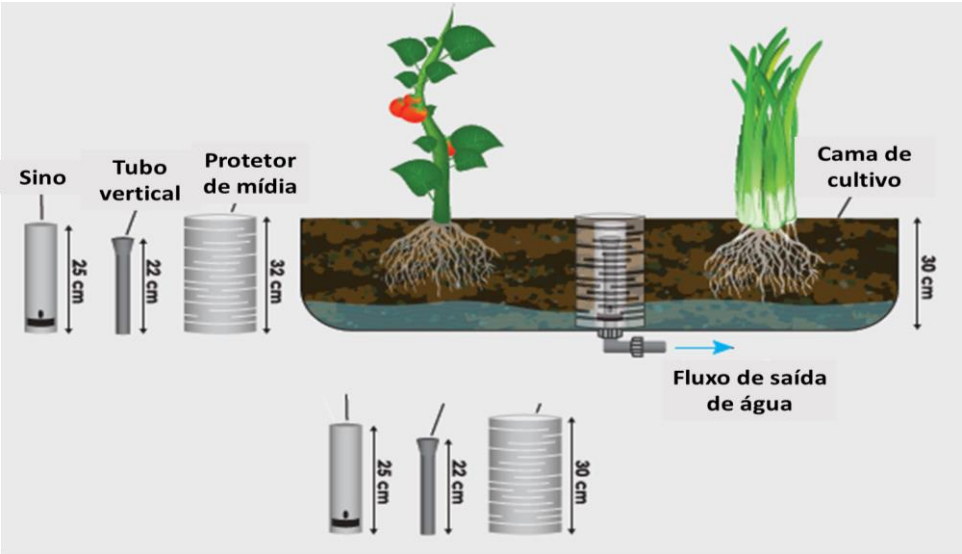


FIGURA 4.58 **Diagrama de um sifão de sino e componentes instalados em um leito de cultivo**

Dinâmica do fluxo de água

A água flui para cada canteiro a uma taxa de fluxo constante. À medida que a água enche o canteiro de cultivo, ela atinge o topo do tubo vertical e começa a pingar pelo tubo vertical de volta ao tanque coletor. Sem a parte do 'sino' do sifão, isso criaria uma condição de altura constante da água. Em vez disso, conforme a água continua a cair pelo tubo vertical, o sino, que fica sobre o tubo vertical como um chapéu, atua como uma fechadura hermética e produz a sucção/sifonamento da água. Uma vez iniciada, toda a água do leito começa a escoar rapidamente pelo cano vertical enquanto o sino mantém sua vedação hermética. A drenagem através do tubo vertical é mais rápida do que o fluxo constante do tanque de peixes. Quando a água do canteiro é drenada até o fundo, o ar entra na parte inferior do sino e imediatamente para o sifão. A água então se enche lentamente de volta e repete todo o ciclo continuamente. A seção Leitura Adicional no final desta publicação fornece mais informações sobre sifões de sino.

Principais componentes de um sifão de sino

Os três componentes principais de um sifão de sino são descritos a seguir. As dimensões do tubo vertical, sino e proteção de mídia são completamente dependentes do tamanho do canteiro de cultivo e do fluxo de entrada de água. Essas dimensões são fornecidas para os projetos aquapônicos descritos nesta publicação para um leito de mídia de 1 a 3 m^2 com uma profundidade de mídia de 30 cm, com uma taxa de fluxo de entrada de água de 200 a 500 L/h para cada leito. Para canteiros grandes, todos os componentes seriam maiores.

Tubo vertical (*standpipe*) - O tubo vertical é constituído por um tubo de PVC com 2,5 cm de diâmetro e 22 cm de altura. O tubo vertical passa pelo fundo do canteiro, conectando-se ao reservatório, e é o caminho da água conforme ela é drenada.

Sino (*bell*) - O sino é um tubo de PVC com 7,5 cm de diâmetro e 25 cm de altura. O tubo é coberto com uma tampa de extremidade de PVC na parte superior e é

aberto na parte inferior, onde se encaixa no tubo vertical. Duas fendas retangulares, de 1 × 4 cm, estão localizadas perto da parte inferior do sino, 1,5 cm para cima em lados opostos, através dos quais a água é puxada para o cano vertical dentro do sino. Um buraco final de 1 cm é perfurado a 5 cm do fundo para ajudar a parar o sifonamento assim que o canteiro de cultivo for drenado, permitindo a entrada de ar.

Protetor de mídia (*media guard*) - O protetor de mídia é um tubo de PVC, com 11 cm de diâmetro e 32 cm de altura, com muitos orifícios pequenos nas laterais. O protetor de mídia evita que o cascalho do canteiro de cultivo entre e obstrua o tubo vertical, sem obstruir o fluxo de água.

As instruções mais detalhadas para compreender, construir e aperfeiçoar sifões de sino, bem como fotos desses componentes, podem ser encontradas no Apêndice 8.

Mecanismo temporizador

Este método de irrigação por inundação e drenagem depende de um temporizador na bomba d'água para controlar a inundação e drenagem periódicas (Figura 4.59). A vantagem deste método é que não há autossifão, que pode ser trabalhoso para ajustar. No entanto, a circulação de água reduzida e a aeração reduzida nos tanques de peixes resultam em uma menor filtração, no geral. Este método é menos apropriado em situações de lotação de alta densidade e requer maior atenção para fornecer aeração suplementar aos peixes.

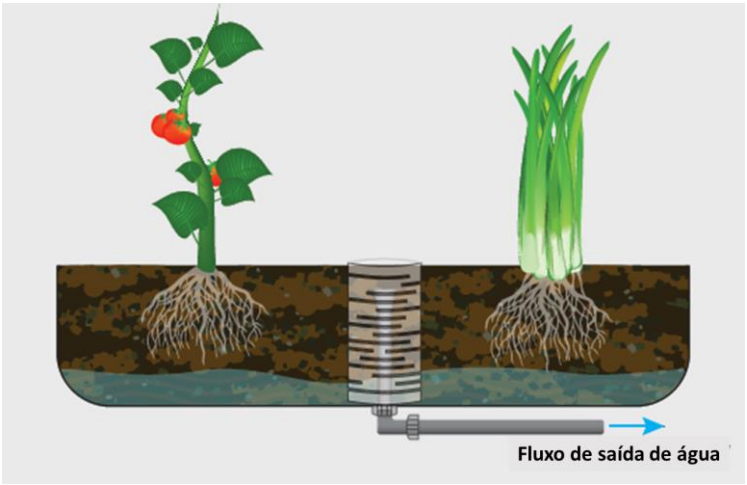


FIGURA 4.59 **Diagrama de um tubo vertical de leito de mídia e protetor de mídia**

Dinâmica do fluxo de água

A água flui para o canteiro, inundando o canteiro até chegar ao topo do tubo vertical. A água então é drenada por esse cano vertical e desce para o tanque coletor (*sump*). O tubo vertical maior tem diâmetro suficiente para drenar toda a água que entra. O topo do cano vertical maior será o nível da água no canteiro. Há também uma pequena abertura, de 6 a 12 mm de diâmetro, nesse mesmo tubo vertical, próximo ao fundo. Esta pequena abertura é insuficiente para drenar toda a água que entra e, portanto, mesmo quando a água entra por esta abertura, o canteiro continua a inundar até chegar ao topo. Em algum ponto depois que o leito estiver cheio, o cronômetro corta a energia da bomba d'água. A água no leito de mídia começa a fluir pelo pequeno orifício de entrada da base, continuando a drenar o leito de cultivo até que a água alcance o nível do orifício inferior. Nesse ponto, a energia da bomba d'água é religada e o canteiro é reabastecido com a água do tanque de peixes. É muito importante que o

volume de água que flui para o leito de mídia seja maior do que o da água que flui através da pequena entrada no tubo vertical para que o leito volte a inundar totalmente. A duração do ciclo de inundação e drenagem e o diâmetro do orifício de gotejamento são determinados pelo tamanho do leito de mídia e a taxa de fluxo de entrada de água.

Para garantir uma filtragem adequada, todo o volume do tanque de peixes deve ser bombeado através dos canteiros de cultivo a cada hora. É importante certificar-se de esvaziar os canteiros uma vez por semana, removendo temporariamente o cano vertical e permitindo que a água restante seja drenada.

Os materiais utilizados para o método do temporizador para os designs aquapônicos incluídos nesta publicação são os seguintes: um tubo vertical de 2,5 cm de diâmetro, com uma altura de 23 cm com um orifício de gotejamento secundário, 6-12 mm de diâmetro, 2,5 cm acima do fundo; um protetor de mídia com 11 cm de diâmetro e 32 cm de altura, circundando o tubo vertical para evitar o entupimento da mídia; e um temporizador que controla a bomba que é calibrada com base na taxa de fluxo da bomba e na taxa de drenagem do tubo vertical.

4.4 TÉCNICA DO FILME DE NUTRIENTES (NFT)

O NFT (*Nutrient Film Technique*) é um método hidropônico que usa tubos/perfis horizontais, cada um com um fluxo raso de água aquapônica rica em nutrientes fluindo através dele (Figura 4.60). As plantas são colocadas dentro de orifícios sobre os perfis e podem se utilizar dessa fina película de água rica em nutrientes. Tanto NFT quanto DWC são métodos populares para operações comerciais, pois ambos são financeiramente mais viáveis do que as unidades de leito de mídia quando em proporções maiores (Figura 4.61). Esta técnica tem evaporação muito baixa porque a água é completamente protegida do sol, porém é muito mais complicada e cara do que leitos de mídia e pode não ser apropriada em locais com difícil acesso a fornecedores dos materiais necessários para a sua construção. Esta técnica é mais útil em aplicações urbanas, especialmente ao usar espaço vertical.

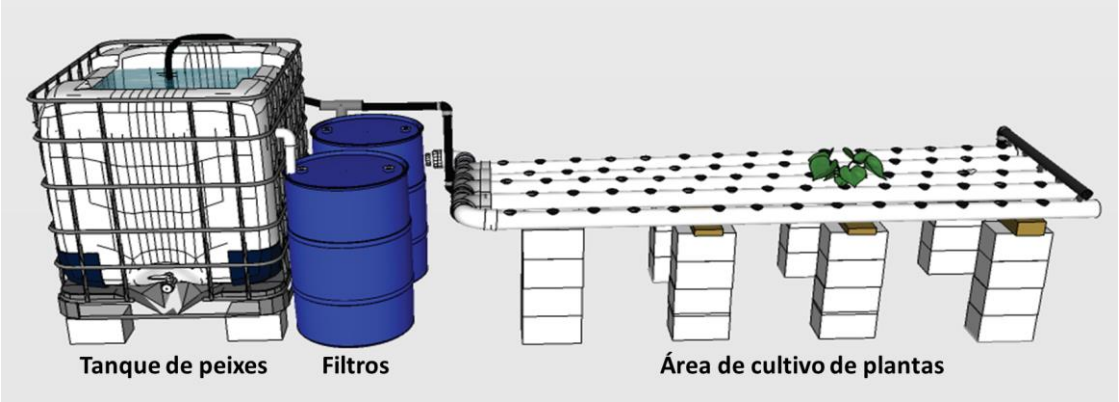


FIGURA 4.60 **Ilustração de uma pequena unidade que utiliza a técnica do filme de nutrientes (NFT)**

Embora todos os métodos tenham uma abordagem diferente para cultivar as plantas, a diferença mais importante entre eles é o método de filtração que as unidades NFT e DWC utilizam em comparação com o método de leito de mídia. O texto a seguir descreve esse método de filtragem para unidades NFT e DWC em detalhes.

Posteriormente, os métodos NFT e DWC são discutidos individualmente. O *layout* geral desta seção começa com a dinâmica do fluxo de água, ou como a água se move através do sistema. Em seguida, os métodos de filtração são discutidos, seguidos por diretrizes de plantio específicas para sistemas NFT.

FIGURA 4.61 **Cultivo de alface em um sistema comercial utilizando a técnica do filme de nutrientes (NFT)**

4.4.1 Dinâmica do fluxo de água

A água flui por gravidade do tanque de peixes, através do filtro mecânico e para o tanque que combina biofiltro/reservatório (*sump*). Do reservatório, a água é bombeada em duas direções por meio de um conector em Y e válvulas. Parte da água é bombeada diretamente de volta para o tanque de peixes e a água restante é bombeada para um coletor que distribui a água igualmente pelos tubos NFT. A água flui, novamente por gravidade, para baixo através dos perfis/tubos de cultivo onde as plantas estão localizadas. Ao sair dos perfis de cultivo, a água é devolvida ao biofiltro/reservatório, onde novamente é bombeada para o tanque de peixes ou tubos de cultivo. A água que entra no tanque de peixes faz com que ele transborde pelo tubo de saída e volte para o filtro mecânico, completando assim o ciclo.

Este projeto, conforme descrito nesta publicação, é chamado de projeto/design da ‘Figura 8’ devido ao caminho da água, e garante que a água filtrada entre no tanque de peixes e nos tubos de cultivo, usando apenas uma bomba. Não há necessidade de colocar o reservatório mais baixo do que o resto da unidade, tornando este projeto possível para uso em pisos de concreto existentes ou em terraços/lajes/coberturas. Todos os componentes estão em um nível de trabalho confortável para o agricultor, sem se inclinar ou usar escadas. Além disso, o projeto utiliza totalmente o tamanho do recipiente IBC para garantir espaço adequado para os peixes. Uma desvantagem é que a combinação *sump*/biofiltro funciona para diluir a concentração de nutrientes da água que chega aos tubos de cultivo e, ao mesmo tempo, retorna a água para os peixes antes que os nutrientes tenham sido totalmente retirados da água. No entanto, a pequena diluição é gerenciada pelo controle do fluxo bidirecional que sai do reservatório/biofiltro e, de modo geral, tem pouco efeito sobre a eficácia desse sistema em função dos benefícios proporcionados. Geralmente, a bomba retorna 80 % da água para os tanques de peixes e os 20 % restantes para os canteiros ou canais, e isso pode ser controlado com a válvula.

4.4.2 Filtração mecânica e biológica

O comprometimento com a filtragem é de suma importância nas unidades NFT e DWC. Enquanto a mídia utilizada como substrato na técnica do leito de mídia serve como um biofiltro e um filtro mecânico, as técnicas NFT e DWC não têm essa vantagem. Portanto, os dois tipos de filtros precisam ser construídos: primeiro, um artefato para reter os resíduos sólidos e, em seguida, um filtro biológico para a nitrificação. Conforme mencionado na Seção 4.3, existem muitos tipos de filtros mecânicos, e unidades NFT e DWC requerem aqueles na extremidade superior do espectro aqui delineado. Os projetos descritos no Apêndice 8 usam um filtro mecânico para reter os resíduos particulados, com ventilação periódica dos sólidos retidos. Ao sair do filtro de turbulência, a água passa por uma tela de malha adicional para reter todos os sólidos restantes e, em seguida, atinge o biofiltro. O biofiltro é bem oxigenado com pedras de ar e contêm mídias de biofiltração, geralmente mídias plásticas (*bio rings*, Bioballs®) ou cerâmicas (*bio glass rings*) para a adesão e desenvolvimento das bactérias. Também podem ser utilizados outros materiais como mídias filtrantes, como rede de náilon ou tampas de garrafa, entre outros, onde as bactérias nitrificantes transformam os resíduos dissolvidos. Com filtração insuficiente, as unidades NFT e DWC podem ficar obstruídas, tornando-se anóxicas e exibindo condições de crescimento ruins para plantas e peixes.

4.4.3 Técnica do cultivo em filme de nutrientes (NFT) em tubos, construção e plantio

Seguindo os métodos de filtração explicados anteriormente, o NFT então emprega o uso de tubos de plástico dispostos horizontalmente para cultivar vegetais usando a água do sistema de aquaponia (Figura 4.62). Sempre que possível, use tubos de formato retangular (perfis) com largura maior que altura, o que é padrão entre os produtores em hidroponia. A razão está em um maior filme de água que chega às raízes, aumentando a absorção de nutrientes e o crescimento das plantas. Um dos benefícios do NFT é que os tubos/perfis podem ser dispostos em vários padrões, além do investigado nesta publicação, e podem fazer uso de espaço vertical, paredes, cercas e varandas suspensas (Figura 4.63).

A água é bombeada do biofiltro para cada tubo/perfil hidropônico com um fluxo fraco e uniforme, criando um filme raso de água aquapônica rica em nutrientes que flui ao longo do tubo/perfil. Os tubos ou perfis de cultivo contêm vários orifícios ao longo da parte superior onde as plantas são colocadas para se desenvolverem. À medida que as plantas começam a consumir a água rica em nutrientes do filme de água do sistema, elas começam a desenvolver raízes dentro dos tubos/perfis de cultivo. Ao mesmo tempo, seus caules e folhas crescem ao redor dos tubos. O filme raso de água na parte inferior de cada tubo/perfil garante que as raízes recebam grandes quantidades de oxigênio na zona da raiz, juntamente com umidade e nutrição. Manter uma corrente rasa de água permite que as raízes tenham uma superfície de troca de ar maior. O fluxo de água para cada tubo de cultivo não deve ser superior a 1-2 L/min. A taxa de fluxo é controlada pela válvula Y, com todo o excesso de fluxo de água devolvido ao tanque de peixes.

FIGURA 4.62 **Alface crescendo em perfis de uma unidade de aquaponia utilizando a técnica do filme de nutrientes (NFT)**

FIGURA 4.63 **Tubos de cultivo dispostos verticalmente em uma unidade de aquaponia utilizando a técnica do filme de nutrientes (NFT)**

Forma e tamanho do tubo de cultivo

É aconselhável escolher um tubo/perfil com o diâmetro ideal para os tipos de plantas cultivadas. Tubos com seção transversal quadrada são os melhores, do tipo perfil próprio para hidroponia, mas tubos redondos são mais comuns e totalmente aceitáveis. Para hortaliças de frutificação maiores, são necessários tubos de cultivo de 11 cm de diâmetro, enquanto hortaliças folhosas de crescimento rápido e pequenas com pequenas massas de raízes requerem tubos com apenas 7,5 cm de diâmetro. Para policultura em pequena escala (cultivo de muitos tipos de vegetais), devem ser usados tubos de 11 cm de diâmetro (Figura 4.64). Isso evita limitações de seleção de plantas porque as plantas pequenas sempre podem ser cultivadas em tubos maiores, embora haja um sacrifício na densidade de plantio. Plantas com raiz extensa, incluindo plantas maduras mais velhas, podem entupir canos menores e causar transbordamentos e perdas de água. Esteja especialmente atento a tomate e hortelã, pois seus sistemas radiculares massivos podem facilmente obstruir até mesmo canos grandes.

O comprimento do tubo de cultivo pode ser de 1 a 12 m. Em tubos com mais de 12 m, podem ocorrer deficiências de nutrientes nas plantas próximo ao final dos

tubos, porque as primeiras plantas já removeram os nutrientes. É necessária uma inclinação de cerca de 1 cm/m de comprimento do tubo para garantir que a água flua por todo o tubo com facilidade. A inclinação é controlada pelo uso de calços (cunhas) no lado oposto ao tanque de peixes.

Tubos de PVC são recomendados porque geralmente são mais comumente disponíveis e baratos. Tubos brancos devem ser usados porque a cor reflete os raios do sol, mantendo assim os tubos resfriados. Também são recomendados os perfis hidropônicos quadrados ou retangulares, com dimensões de 10 cm de largura × 7 cm de altura.

FIGURA 4.64 **Vários tubos de crescimento mostrando o espaçamento dos furos**

Plantando nos tubos de cultivo

Os orifícios perfurados no tubo hidropônico devem ter 7 a 9 cm de diâmetro e devem corresponder ao tamanho dos copos/vasinhos de plantio disponíveis. Deve haver um mínimo de 21 cm entre os buracos de cada planta para permitir espaço adequado para o crescimento vegetal para verduras e hortaliças maiores (Figuras 4.65 e 4.66).

Cada muda é colocada em um copo plástico de rede, que por sua vez é colocado dentro do tubo/perfil de cultivo. Isso fornece um suporte físico para a planta. Os copos de rede são preenchidos com meio hidropônico de uso geral (cascalho vulcânico, lã de rocha ou argila expandida) ao redor da muda. Se desejado, um tubo de PVC de 5 a 10 cm de comprimento pode ser colocado dentro do copo de rede para dar mais suporte e equilíbrio para a planta. Instruções detalhadas de plantio podem ser vistas no Apêndice 8.

Se os copos de rede de plástico não estiverem disponíveis ou forem muito caros, é possível usar copos de plástico comuns, desde que sejam feitos orifícios no copo que possibilitem que as raízes tenham acesso a lâmina de água dos tubos de cultivo, procedendo ao plantio conforme descrito no parágrafo anterior. Outros produtores tiveram sucesso utilizando espuma fenólica para apoiar as plantas dentro do tubo de cultivo. A espuma fenólica pode ser encontrada com diferentes tamanhos e números de células para plantio. Se nenhuma dessas opções estiver disponível ou for viável ao produtor, é possível transplantar as mudas diretamente nos tubos, principalmente em se tratando de tubos retangulares (perfis) (Figura 4.67). As mudas podem ser transplantadas com seu substrato de germinação, que será lavado no sistema, ou as raízes podem ser cuidadosamente enxaguadas, o que mantém o substrato fora do sistema, mas pode aumentar o estresse do transplante. No entanto, é preferível usar copos/vasos de rede preenchidos com o meio de cultivo disponível.

Ao plantar inicialmente as mudas no tubo, é necessário certificar-se de que as raízes permanecem em contato com a água que flui no fundo do tubo. Isso irá garantir que as mudas jovens não fiquem desidratadas. Alternativamente, podem ser

adicionados pavios que conduzem água por capilaridade. Além disso, é aconselhável regar as mudas com água do sistema de aquaponia uma semana antes do transplante para a unidade aquapônica. Este procedimento ajuda a mitigar o choque do transplante para as plantas à medida que estas se acostumam com a nova água e suas características.

FIGURA 4.65 **Materiais de suporte das hortaliças mostrando a mídia de cultivo e o copo de rede para o plantio**

FIGURA 4.66 **Alface de tamanho real colhida de uma unidade de técnica do filme de nutrientes. O copo de rede e o extensor de PVC são claramente visíveis**

FIGURA 4.67 **Alface cultivada diretamente em um tubo de cultivo**

4.5 TÉCNICA DE CULTIVO EM ÁGUAS PROFUNDAS (DWC)

O método DWC (*Deep Water Culture)* envolve a suspensão das plantas em bandejas, também chamado de 'jangadas' flutuantes de poliestireno (isopor), com suas raízes na água do tanque (Figuras 4.68 e 4.69). Este método é o mais comum para grandes sistemas aquapônicos comerciais que optam por uma cultura específica (normalmente alface, outras folhosas para salada ou manjericão, Figura 4.70), e é o mais adequado para um processo mecanizado. Em pequena escala, esta técnica é mais complicada do que leitos de mídia e pode não ser adequada para alguns locais, especialmente onde o acesso aos materiais é limitado.

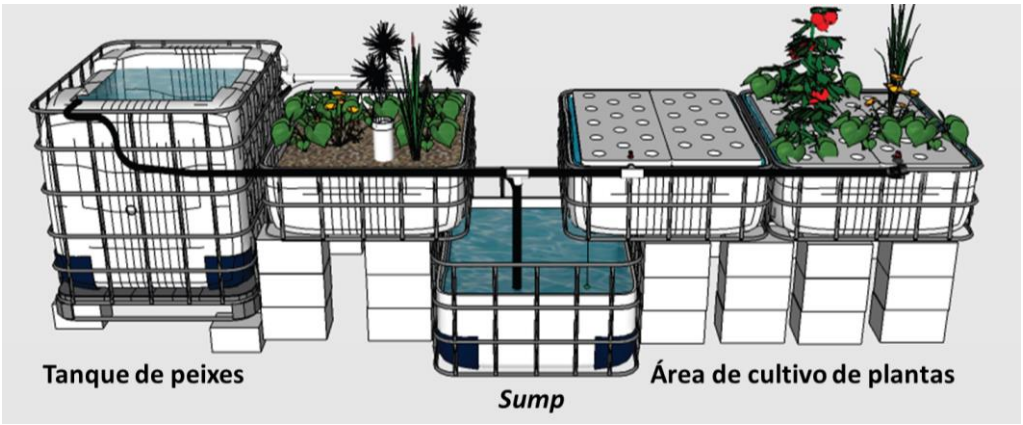


FIGURA 4.68 **Ilustração de uma pequena unidade de cultivo em águas profundas (DWC) usando um leito de mídia como filtro**

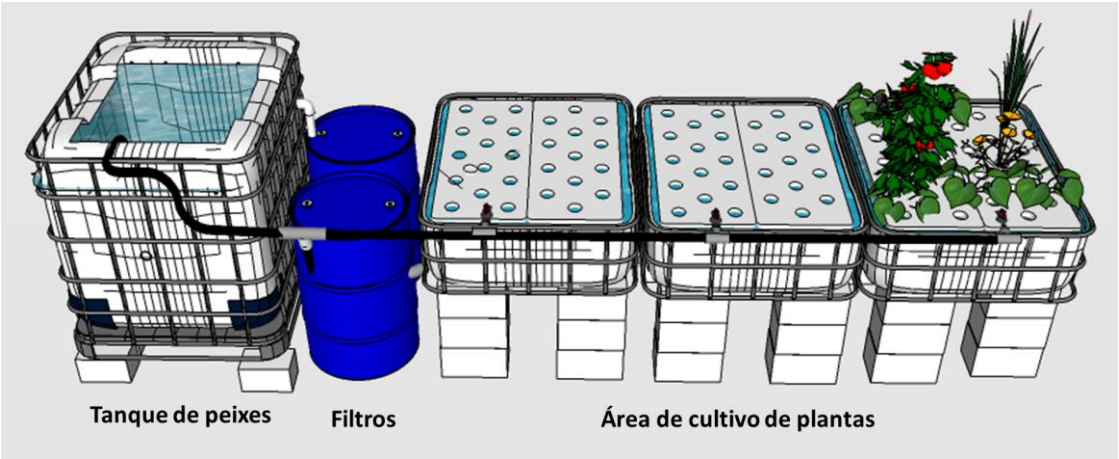


FIGURA 4.69 **Ilustração de uma pequena unidade de cultivo em águas profundas utilizando um filtro independente**

FIGURA 4.70 **Uma grande unidade de cultivo em águas profundas**

4.5.1 Dinâmica do fluxo de água

A dinâmica do fluxo de água em um sistema DWC é quase idêntica à de um sistema NFT. A água flui por gravidade do tanque de peixes, passando pelo filtro mecânico em direção ao biofiltro/reservatório (*sump*). Do reservatório, a água é bombeada em duas direções utilizando um conector em Y (ou T) e válvulas. Parte da água é bombeada diretamente de volta para o tanque de peixes e a água restante é bombeada pelo tubo de distribuição, que distribui a água de forma equivalente pelos canais. A água flui, novamente por gravidade, através dos canais de cultivo onde as plantas estão localizadas e sai do outro lado. Ao sair dos canais, a água é devolvida ao biofiltro/reservatório (*sump*), onde novamente é bombeada para o tanque de peixes ou para os canais. A água que entra no tanque dos peixes faz com que ele transborde pelo tubo de saída e volte para o filtro mecânico, completando assim o ciclo.

Essa configuração ‘Figura 8’ descreve o caminho da água visto no sistema DWC, em um sistema fechado de recirculação. Como no NFT, a água flui através do filtro mecânico e do biofiltro antes de ser bombeada de volta para o tanque de peixes e os canais das hortaliças. Uma desvantagem nesta configuração é que a combinação biofiltro/reservatório (*sump*) retorna parte do efluente dos canais das plantas de volta para as plantas. No entanto, ao contrário do NFT, onde os nutrientes contidos no raso filme de água que flui ao nível da raiz rapidamente se esgotam, o grande volume de água contido nos canais DWC permite que quantidades consideráveis de nutrientes sejam utilizadas pelas plantas. Essa disponibilidade de nutrientes também possibilita diferentes projetos de sistema. Uma distribuição serial de água ao longo dos canais DWC pode ser construída simplesmente usando uma configuração de ‘cascata’ com apenas uma única entrada servindo ao tanque mais distante. Nesse caso, a saída de um tanque seria a entrada do sucessivo, e o aumento do fluxo de água ajudaria as raízes a acessar um maior fluxo de nutrientes e oxigênio.

No sistema DWC mostrado na Figura 4.68, a água é bombeada do biofiltro para os canais que têm as folhas de isopor flutuando na água, sustentando as plantas. A vazão da água que entra em cada canal é relativamente baixa. Geralmente, cada canal tem um tempo de retenção de água de uma a quatro horas. O tempo de retenção é um conceito semelhante à taxa de rotatividade e se refere à quantidade de tempo que leva para repor toda a água em um reservatório. Por exemplo, se o volume de água de um canal for de 600 litros e a vazão de água que entra no reservatório for de 300 L/h, o tempo de retenção será de duas horas (600 L ÷ 300 L/h).

4.5.2 Filtração mecânica e biológica

A filtração mecânica e biológica nas unidades DWC é a mesma que nas unidades NFT descritas na Seção 4.4.2.

4.5.3 Canais de cultivo DWC, construção e plantio

Os canais podem ter comprimentos variáveis, de um a dezenas de metros (Figura 4.71). Em geral, seu comprimento não é um problema, como visto no NFT, porque o grande volume de água permite o fornecimento adequado de nutrientes. A nutrição ideal das plantas em canais muito longos deve sempre permitir o fluxo adequado de água e a reoxigenação para garantir que os nutrientes não se esgotem e que as raízes possam ter acesso ao oxigênio. No que diz respeito à largura, geralmente é recomendado que seja a largura padrão de uma folha de poliestireno (isopor), mas podem ser vários desta. No entanto, canais mais estreitos e mais longos permitem uma velocidade de água mais alta que pode atingir as raízes de forma benéfica com maiores fluxos de nutrientes. A escolha da largura também deve considerar a acessibilidade por parte do operador. A profundidade recomendada é de 30 cm para permitir o espaço adequado das raízes das plantas. Semelhante aos tanques de peixes, os canais podem ser feitos de qualquer material inerte forte que possa reter água. Para unidades de pequena escala, os materiais populares incluem reservatórios de plástico IBC (*Intermediate Bulk Container*) ou de fibra de vidro. Canais muito maiores podem ser construídos usando madeira ou blocos de concreto revestidos com lonas impermeáveis atóxicas. Ao optar por utilizar concreto, é importante certificar-se de que esteja selado com um selante à prova d'água não tóxico para evitar a lixiviação de minerais tóxicos do concreto para a água do sistema.

Conforme mencionado anteriormente, o tempo de retenção de cada canal em uma unidade é de uma a quatro horas, independentemente do tamanho real do canal. Isso permite a reposição adequada de nutrientes em cada canal, embora o volume de água e a quantidade de nutrientes nos canais profundos sejam suficientes para nutrir as plantas por períodos mais longos. O crescimento da planta certamente se beneficia de taxas de fluxo mais rápidas e com alguma turbulência, porque as raízes são ‘atingidas’ por muito mais íons; ao passo que fluxos mais lentos e água quase estagnada podem ter um impacto negativo no crescimento das plantas.

A aeração para unidades DWC é fundamental. Em um canal densamente plantado, a demanda de oxigênio pelas plantas pode fazer com que os níveis de oxigênio dissolvido (OD) caiam abaixo do mínimo. Qualquer resíduo sólido em decomposição presente no canal agravaria esse problema, diminuindo ainda mais o OD da água. Portanto, a aeração é necessária. O método mais simples é colocar vários pequenos pontos de entrada de oxigênio (pedras de ar) nos canais (Figura 4.72). As pedras de ar devem liberar cerca de quatro litros de ar por minuto e ser dispostas a cada 2-4 m^2 de área do canal. Além disso, sifões Venturi (ver Seção 4.2.5) podem ser adicionados aos tubos de influxo de água para aerar a água à medida que ela entra no canal. Finalmente, o método Kratky de DWC pode ser usado (Figura 4.73). Neste método, um espaço de três a quatro centímetros é deixado entre a folha de poliestireno e o corpo de água dentro do canal. Isso permite que o ar circule em torno da seção superior das raízes das plantas. Este procedimento elimina a necessidade de pedras de ar no canal, uma vez que quantidades suficientes de oxigênio proveniente do ar são fornecidas às raízes. Outra vantagem deste método é evitar o contato direto dos caules das plantas com a água, o que reduz os riscos de doenças. Além disso, o aumento da

ventilação como resultado do aumento do espaço de ar favorece a dissipação de calor da água, o que é ideal em climas quentes.

É muito importante que não se adicione aos canais nenhum peixe que possa comer as raízes das plantas, por ex. peixes herbívoros, como tilápia e carpa, a menos que os peixes sejam mantidos separados das plantas nos canais. No entanto, algumas espécies de pequenos peixes carnívoros, como alguns exemplares da família Poeciliidae (*guppy* e *molly*, por exemplo), ou peixes mosquito (guarus), podem ser usadas com sucesso para controlar larvas de mosquitos, que podem se tornar um grande incômodo para os trabalhadores e vizinhos em algumas áreas.

FIGURA 4.71 **Uma unidade aquapônica de cultivo em águas profundas em pequena escala. Raízes da planta visíveis abaixo da 'jangada' de isopor**

FIGURA 4.72 **Pedra de ar usada dentro de um cultivo em águas profundas**

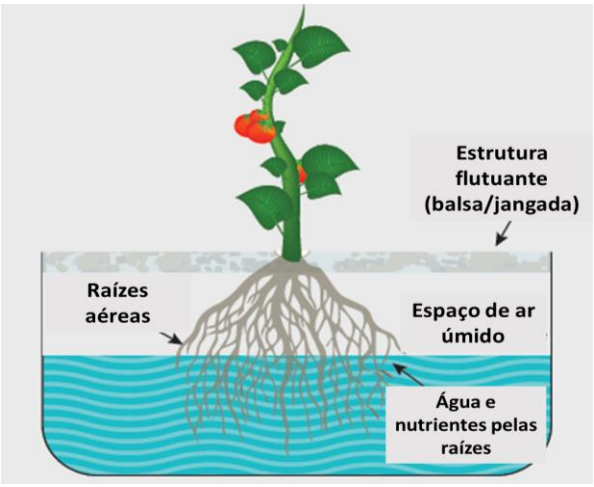


FIGURA 4.73 **Uma ilustração de um método para cultivo em águas profundas, mostrando o espaço entre a 'jangada' e a superfície da água**

As placas de poliestireno devem ter certo número de furos para encaixar os copos de rede (ou cubos de esponja/espuma fenólica) usados para apoiar cada planta (Figura 4.74). A quantidade e a localização dos buracos são ditadas pelo tipo de vegetal e pela distância desejada entre as plantas, onde plantas menores podem ser espaçadas mais próximas. O Apêndice 8 inclui detalhes específicos e dicas úteis sobre como fazer os furos.

As mudas podem ser iniciadas em um viveiro de plantas dedicado a este fim (ver Seção 8.3) em solo ou substratos. Uma vez que essas mudas estejam grandes o suficiente para serem manuseadas, elas podem ser transferidas para copos de rede e plantadas nas placas de isopor da unidade DWC (Figura 4.75). O espaço restante no copo de rede deve ser preenchido com meio hidropônico, como cascalho vulcânico, lã de rocha, argila expandida ou espuma fenólica para apoiar a muda. Também é possível simplesmente plantar uma semente diretamente nos copos de rede na superfície do substrato/meio utilizado. Às vezes, esse método é recomendado se as sementes de hortaliças forem acessíveis, pois evita o choque do transplante durante o replantio. Durante a colheita é preciso certificar-se de remover toda a planta do canal, incluindo raízes e folhas mortas. As placas de isopor devem ser limpas, mas não deixadas para secar, para evitar a morte das bactérias nitrificantes aderidas na superfície submersa da 'jangada'. Unidades de grande porte devem limpar as placas com água para remover sujeira e resíduos vegetais e imediatamente reposicionadas nos canais para evitar qualquer estresse às bactérias nitrificantes.

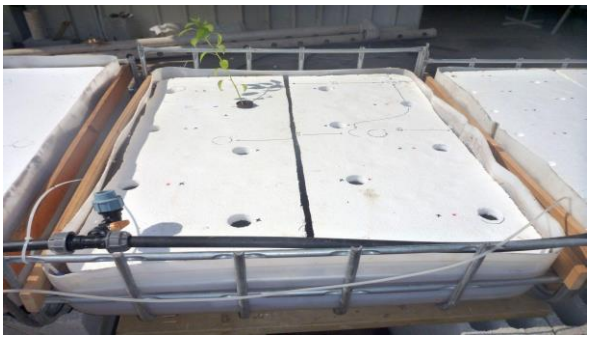


FIGURA 4.74 **Folha de poliestireno em uma pequena unidade de cultivo em águas profundas mostrando as covas de plantio**

FIGURA 4.75 **Procedimento passo a passo de colocar uma muda e cascalho (A) em um copo de rede (B) e colocá-lo na placa de poliestireno na unidade de cultivo em águas profundas (C)**

4.5.4 DWC sem filtros e baixa densidade de peixes

As unidades aquapônicas DWC podem ser projetadas de forma que não exijam filtração adicional externa (Figura 4.76). Essas unidades carregam uma densidade de

estocagem muito baixa de peixes (ou seja, 1 a 1,5 kg de peixes por m^3 de tanque de peixes) e, em seguida, dependem principalmente do espaço da raiz da planta e da área interna dos canais como a área de superfície específica para abrigar as bactérias nitrificantes. Peneiras de malha simples capturam os grandes resíduos sólidos e os canais servem como tanques de sedimentação para resíduos finos. A vantagem desse método é a redução do investimento econômico inicial e dos custos de capital, ao mesmo tempo em que elimina a necessidade de recipientes e materiais filtrantes adicionais, que podem ser difíceis e caros de obter em alguns locais. No entanto, menores densidades de estocagem levarão a uma menor produção de peixes. Ao mesmo tempo, muitos empreendimentos aquapônicos obtêm a maioria de seus lucros com a produção dos vegetais e não com a produção de peixes, basicamente usando apenas os peixes como fonte de nutrientes. Frequentemente, esse método requer suplementação de nutrientes para garantir o crescimento da planta. Se considerar este método, vale a pena avaliar a produção desejada de peixes e plantas e considerar os custos e ganhos relativos.

FIGURA 4.76 **Ilustração de uma pequena unidade de cultivo em águas profundas sem separador mecânico de sólidos ou biofiltro**

Dinâmica do fluxo de água

A principal diferença entre os dois projetos (alta densidade de peixes *vs.* baixa densidade de peixes) é que o projeto de baixa densidade não usa nenhum dos recipientes de filtração externos, mecânico ou biológico. A água flui por gravidade do tanque de peixes direto para os canais DWC, passando por uma tela de malha muito simples. A água é então devolvida a um reservatório e bombeada de volta para os tanques de peixes ou diretamente para os tanques de peixes sem um reservatório/filtro. A água nos tanques e nos canais dos peixes é aerada por meio de uma bomba de ar. Os resíduos de peixes são decompostos por bactérias nitrificantes e mineralizantes que vivem na superfície da raiz da planta e nas paredes dos canais.

A densidade de estocagem de peixes pode estender-se desde densidades muito baixas, que não precisam de filtros, até densidades muito altas, que precisam de filtros externos exclusivos. Uma solução simples para obter mineralização e biofiltração adicionais e evitar o acúmulo de resíduos de sólidos no fundo dos canais consiste em combinar a tela de malha simples com um recipiente (cesta/balde) de pequenos

cascalhos ou argila expandida posicionada logo acima do nível da água onde a água sai do tanque dos peixes. Esta cesta atuaria como um filtro de gotejamento com sua mídia capturando e mineralizando os sólidos. A água que cai da cesta também adiciona oxigênio por meio de seu efeito de respingo. Além disso, o uso de pequenos cascalhos teria uma ação tampão contra a acidificação da água após a nitrificação. Outra opção é inserir um biofiltro de menor tamanho dentro do tanque de peixes, que pode consistir em uma bolsa de malha simples de material filtrante próximo a um ponto de ar. Isso pode ajudar a garantir a biofiltração adequada sem aumentar o custo dos biofiltros externos. Finalmente, aumentar o volume total de água sem aumentar a densidade de estocagem de peixes, basicamente usando grandes tanques para poucos peixes, pode ajudar a mitigar os problemas de qualidade da água, diluindo os resíduos e garantindo tempo adequado para o produtor responder às mudanças antes que os peixes fiquem estressados, embora essa ação possa diluir os nutrientes disponíveis e impedir/dificultar o crescimento de vegetais.

A menor densidade de peixes também significa que a taxa de fluxo de água pode ser menor. Uma bomba menor pode ser usada, reduzindo o custo, mas certifique-se de que pelo menos metade do volume total do tanque de peixes seja recirculado por hora. Na verdade, alguns pesquisadores tiveram sucesso com a remoção da bomba elétrica por completo e com o trabalho manual para fazer a circulação da água duas vezes por dia. No entanto, esses sistemas são totalmente dependentes de aeração adequada. Além dessas diferenças, as recomendações para tanques de peixes e construção de canal DWC são aplicáveis para este método de baixa densidade de estocagem.

Manejo de unidades com baixa densidade de estocagem

A principal diferença em relação ao manejo das outras unidades, discutida com mais detalhes no Capítulo 8, é a menor densidade de estocagem. A densidade de estocagem sugerida para esses tipos de sistemas é de 1 a 5 kg/m^3 (em comparação com os 10 a 20 kg/m^3 de outros sistemas demonstrados neste manual). Anteriormente, foi sugerido que o equilíbrio entre peixes e plantas segue a razão da taxa de alimentação, o que ajuda a calcular a quantidade de alimento para peixes que entra no sistema, dada uma determinada área de crescimento para as plantas. Essas unidades de baixa densidade de estocagem ainda seguem a proporção da taxa de alimentação diária sugerida de 40 a 50 g/m^2, mas devem estar no limite inferior. Uma técnica útil é permitir que os peixes se alimentem por 30 min, duas a três vezes por dia, e depois remover todas as sobras de ração que não foram consumidas. A superalimentação resultará em um acúmulo de resíduos nos tanques e canais de peixes, levando a zonas anóxicas, condições impróprias de manutenção dos animais, assim como estresse e doenças de peixes e plantas. Sempre, mas especialmente ao usar este método de cultivo sem filtros, é preciso monitorar de perto e com maior frequência as condições de qualidade da água e reduzir a alimentação se forem detectados altos níveis de amônia ou nitrito na água.

Vantagens e desvantagens da baixa densidade de estocagem

A principal vantagem é uma unidade mais simples. Este sistema é mais fácil de construir e mais barato para começar, com custo de capital mais baixo. Os peixes estão menos estressados porque são cultivados em condições mais espaçosas. No geral, essa técnica pode ser muito útil para projetos iniciais com baixo capital. Esses sistemas podem ser muito úteis para o cultivo de peixes de alto valor, como peixes ornamentais,

ou culturas especiais, como ervas medicinais, onde a menor produção é compensada com maior valor.

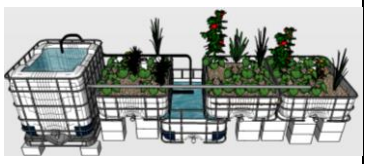
No entanto, uma séria desvantagem é que essas unidades não permitem um aumento de sua escala facilmente. Menos plantas e peixes são cultivados em uma determinada área, então eles são menos intensivos do que alguns dos sistemas descritos anteriormente. Para produzir uma grande quantidade de alimentos, esses sistemas precisariam se tornar proibitivamente grandes. Essencialmente, os filtros mecânicos e biofiltro são o que permitem que a aquaponia seja mais intensiva em uma pequena área.

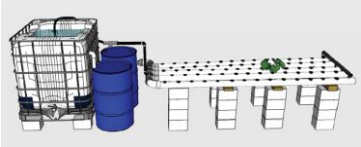
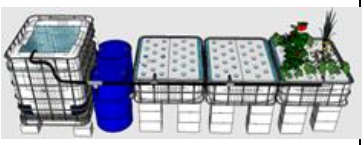
Além disso, a produção de peixes não pode funcionar de forma independente do componente hidropônico; as plantas devem estar nos canais o tempo todo. As raízes das plantas fornecem a área para o crescimento de bactérias e, sem essas raízes, a biofiltração não seria suficiente para manter a água limpa para os peixes. Se fosse necessário colher todas as plantas ao mesmo tempo, o que pode ocorrer durante surtos de doenças, mudanças de estação ou grandes eventos climáticos, a biofiltração reduzida resultaria em alto nível de amônia e estresse aos peixes. Por outro lado, com biofiltros e filtros mecânicos externos a produção de peixes pode continuar sem a hidroponia, como um RAS padrão.

4.6 COMPARAÇÃO DE TÉCNICAS AQUAPÔNICAS

A Tabela 4.2 fornece uma referência rápida e um resumo comparativo dos vários sistemas de aquaponia descritos anteriormente.

TABELA 4.2
Pontos fortes e fracos das principais técnicas utilizadas em aquaponia

Tipo de sistema	Pontos fortes	Pontos fracos
Unidades de leito de mídia 	Design simples e tolerante Ideal para iniciantes Peças alternativas/ recicladas podem ser usadas Suporta legumes frutíferos altos Todos os tipos de plantas podem ser cultivados Várias técnicas de irrigação Muitos tipos de mídia podem ser usados Alta aeração ao usar sifões de sino Consumo de energia elétrica relativamente baixa A mídia captura e mineraliza sólidos	Muito pesado, dependendo da escolha da mídia A mídia pode ser cara A mídia pode estar indisponível De difícil manejo em grande escala Maior evaporação do que NFT e DWC Trabalho intensivo para construir Os ciclos de inundação e drenagem exigem um cálculo cuidadoso do volume de água A mídia pode entupir em alta densidade de estocagem O transplante de plantas é mais trabalhoso, pois a mídia precisa ser movida

		Se a distribuição de água não for uniforme, o desempenho da planta pode diferir de canteiro para canteiro
Unidades NFT 	Mais econômico do que leitos de mídia em grande escala Ideal para ervas e hortaliças verdes folhosas Perda mínima de água por evaporação Sistema de peso leve Melhor método para terraços/lajes Métodos de colheita muito simples O espaçamento dos tubos pode ser ajustado para se adequar a diferentes plantas Bem pesquisado por empreendimentos hidropônicos comerciais Menor volume de água necessário Mão de obra mínima para plantar e colher	Método de filtragem mais complexo Bomba de água e bomba de ar são obrigatórias Não é possível semear diretamente O baixo volume de água aumenta os problemas de qualidade da água Maior variação de temperatura da água com estresse nos peixes Os tubos de entrada de água podem entupir facilmente Vulnerável à falta de energia
Unidades DWC 	Método mais econômico do que leitos de mídia em grande escala Grande volume de água amortece as mudanças na qualidade da água Pode suportar interrupções curtas na eletricidade Perda mínima de água por evaporação Bem pesquisado por empreendimentos hidropônicos comerciais As ‘jangadas’ de isopor isolam a água das perdas/ganhos de calor, mantendo temperaturas constantes ‘Jangadas’ móveis podem facilitar o plantio e a	Método de filtragem mais complexo Unidade muito pesada Necessário alto oxigênio dissolvido no canal e é necessária uma bomba de ar mais sofisticada Os forros de plástico devem ser atóxicos Placas de isopor são facilmente quebradas Plantas altas são mais difíceis de sustentar Grande volume de água aumenta a umidade e o risco de doenças fúngicas

	colheita As ‘jangadas’ flutuantes fornecem área de superfície para biofiltração Os canais DWC podem ser fixados com forros de plástico em praticamente qualquer tipo de parede (madeira, estruturas de aço, perfis metálicos) Pode ser usado em várias densidades de estocagem	

4.7 RESUMO DO CAPÍTULO

- Os principais fatores ao decidir onde colocar uma unidade de aquaponia são: estabilidade do solo; acesso à luz solar e sombra; exposição ao vento e chuva; disponibilidade de utilitários; e disponibilidade de uma estufa ou estrutura de sombreamento.
- Existem três tipos principais de aquaponia: o método de leito de mídia, também conhecido como leito de partículas; o método da técnica do filme de nutrientes (NFT); e o método de cultivo em águas profundas (DWC), também conhecido como método de ‘jangada’ ou sistema flutuante.
- Os componentes essenciais para todas as unidades aquapônicas são: o tanque de peixes, a filtração mecânica e biológica, as unidades de cultivo de plantas (leitos de mídia, tubos NFT ou canais DWC) e as bombas de água/ar.
- Os leitos de mídia devem: (i) ser feitos de material inerte forte; (ii) ter uma profundidade de cerca de 30 cm; (iii) ser preenchidas com mídia contendo uma grande área de superfície específica; (iv) fornecer filtração mecânica e biológica adequada; (v) fornecer zonas separadas para o crescimento de diferentes organismos; e (vi) ser suficientemente úmida por meio de inundação e drenagem ou outras técnicas de irrigação para garantir uma boa filtração.
- Para unidades NFT e DWC, componentes de filtração mecânica e biofiltração são necessários para remover, respectivamente, os sólidos em suspensão e oxidar os resíduos dissolvidos (amônia em nitrito; nitrito em nitrato).
- Para unidades NFT, a taxa de fluxo para cada tubo de cultivo deve ser de 1 a 2 L/min para garantir um bom crescimento da planta.
- Para unidades DWC, cada canal deve ter um tempo de retenção de duas a quatro horas.
- A alta concentração de OD é essencial para garantir um bom crescimento de peixes, plantas e bactérias. No tanque dos peixes, o OD é fornecido por meio de pontos de ar (normalmente são utilizadas pedras porosas, mas podem ser de outro material). As unidades de leito de mídia têm uma interface entre a zona úmida e a zona seca que fornece alta disponibilidade de oxigênio atmosférico. Em unidades NFT, aeração adicional deve ser fornecida ao biofiltro, enquanto em DWC as pedras de ar devem ser colocadas tanto no biofiltro como nos canais de plantas.

5. BACTÉRIAS EM AQUAPONIA

As bactérias são um aspecto crucial e fundamental da aquaponia, servindo como a ponte que conecta os resíduos de peixes ao fertilizante para as plantas. Este 'motor' biológico remove resíduos tóxicos, transformando-os em nutrientes vegetais acessíveis. O Capítulo 2 discutiu o ciclo do nitrogênio, especialmente o papel crítico das bactérias nitrificantes, e delineou os parâmetros essenciais para manter uma colônia saudável destas bactérias desejáveis. O Capítulo 4 discutiu os aspectos dos materiais biofiltrantes que podem ser utilizados para hospedar essas mesmas bactérias. Este breve capítulo serve como uma revisão sobre as bactérias, incluindo detalhes dos grupos mais importantes para o sistema aquapônico. A atividade bacteriana heterotrófica é mais amplamente discutida em termos de seu papel na mineralização de resíduos sólidos de peixes. Bactérias indesejadas são discutidas, incluindo: bactérias desnitrificantes, bactérias redutoras de sulfato e patogênicas. Finalmente, a linha do tempo da ciclagem bacteriana é discutida no que diz respeito ao estabelecimento de um sistema aquapônico novo.

5.1 BACTÉRIAS NITRIFICANTES E O BIOFILTRO

No Capítulo 2 constam informações sobre o papel vital das bactérias nitrificantes em relação ao processo aquapônico no geral. As bactérias nitrificantes convertem os resíduos de peixes, que entram no sistema principalmente como amônia, em nitrato, que é fertilizante para as plantas (Figura 5.1). Este é um processo de duas etapas, e dois grupos separados de bactérias nitrificantes estão envolvidos. O primeiro passo é converter amônia em nitrito, o que é feito pelas bactérias oxidantes de amônia (BOA). Essas bactérias são frequentemente chamadas pelo nome de gênero do grupo mais comum, as *Nitrosomonas*. A segunda etapa é a conversão de nitrito em nitrato, feita pelas bactérias oxidantes de nitrito (BON). Estas são comumente referidas pelo nome do gênero do grupo mais comum, as *Nitrobacter*. Existem muitas espécies dentro desses grupos, mas para os propósitos desta publicação, as diferenças individuais não são importantes e é mais útil considerar o grupo como um todo. O processo de nitrificação ocorre da seguinte forma:

1) Bactérias BOA convertem amônia (NH_3) em nitrito (NO_2^-)
2) Bactérias BON então convertem nitrito (NO_2^-) em nitrato (NO_3^-)

A nitrificação e, portanto, uma colônia bacteriana saudável, é essencial para o funcionamento do sistema aquapônico. Bactérias nitrificantes são relativamente lentas para se reproduzir e estabelecer colônias, exigindo dias e às vezes semanas, e, portanto, a paciência do produtor é um dos parâmetros de manejo mais importantes no estabelecimento de um novo sistema aquapônico. Muitos tanques de peixes e sistemas aquapônicos falharam porque muitos peixes foram adicionados antes que a colônia de bactérias estivesse totalmente desenvolvida. Existem vários outros parâmetros-chave para favorecer o crescimento das colônias de bactérias nitrificantes. Geralmente, as bactérias requerem um local amplo e escuro para colonizar, com água de boa qualidade, alimentação adequada e oxigênio. Frequentemente, as bactérias nitrificantes formam uma matriz viscosa, marrom-clara ou bege no biofiltro e têm um odor

característico que é difícil de descrever, mas não cheira particularmente mal, o que poderia indicar outros microrganismos.

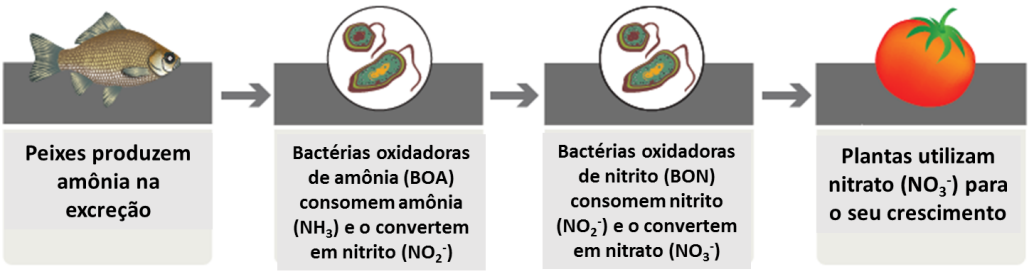


FIGURA 5.1 **O processo de nitrificação em aquaponia**

5.1.1 Alta área de superfície específica

O material de biofiltração com uma alta área de superfície específica (ASE) é ideal para desenvolver colônias extensas de bactérias nitrificantes. A área de superfície específica é uma razão que define a área de superfície exposta de um determinado volume de mídia e é expressa em metros quadrados por metros cúbicos (m^2/m^3). Em geral, quanto menores e mais porosas as partículas da mídia, maior é a superfície disponível para a colonização das bactérias. Isso resulta em uma biofiltração mais eficiente. Existem muitos desses materiais usados em aquaponia, como substrato para cultivo ou para biofiltração, como por exemplo, cascalho vulcânico, argila expandida, mídias de cerâmica ou plástico comercial e raízes de plantas. O tufo vulcânico e Bioballs® considerados neste manual têm, respectivamente, 300 m^2/m^3 e 600 m^2/m^3, que é uma área de superfície específica adequada para permitir que as bactérias se desenvolvam. Outras características e áreas de superfície específica das diferentes mídias utilizadas em aquaponia estão resumidas na Tabela 4.1 e no Apêndice 4. Se o material do biofiltro não for ideal e tiver uma área de superfície específica inferior para a relação de volume, o biofiltro deve ser maior. Um biofiltro superdimensionado não pode prejudicar um sistema aquapônico e, embora biofiltros excessivamente grandes adicionem despesas desnecessárias, o excesso de capacidade de biofiltração salvou muitos sistemas do colapso.

5.1.2 pH da água

Bactérias nitrificantes atuam adequadamente em uma faixa de pH de 6 a 8,5. Geralmente, essas bactérias atuam melhor em pH mais alto, com o grupo *Nitrosomonas* preferindo um pH de 7,2 a 7,8, e o grupo *Nitrobacter* preferindo um pH de 7,2 a 8,2. No entanto, o pH ideal para aquaponia é de 6 a 7, que é uma forma de tentar beneficiar todos os organismos que compartilham deste ecossistema. As bactérias nitrificantes atuam adequadamente dentro desta faixa, e qualquer diminuição na atividade bacteriana pode ser compensada com um biofiltro maior.

5.1.3 Temperatura da água

A faixa de temperatura ideal para bactérias nitrificantes é de 17 a 34 °C. Essa faixa estimula seu crescimento e produtividade. Se a temperatura da água cair abaixo dessa faixa, a produtividade bacteriana tenderá a diminuir. Em particular, o grupo *Nitrobacter* é menos tolerante a temperaturas mais baixas do que o grupo *Nitrosomonas* e, como tal, durante os períodos mais frios, o nitrito deve ser monitorado com mais cuidado para evitar alcançar níveis prejudiciais.

5.1.4 Oxigênio dissolvido

As bactérias nitrificantes precisam de níveis adequados de OD na água o tempo todo para crescer de forma saudável e manter altos níveis de produtividade. A nitrificação é uma reação de redução/oxidação (redox), na qual as bactérias obtêm a energia para viver quando o oxigênio é combinado com o nitrogênio. Os níveis ideais de OD são de 4 a 8 mg/L, que também é o nível necessário para os peixes e as plantas. A nitrificação não ocorre se a concentração de OD cair abaixo de 2 mg/L. Assegure uma biofiltração adequada fornecendo aeração ao biofiltro, seja por meio de ciclos de inundação e drenagem em leitos de mídia, pedras de ar em biofiltros externos ou linhas de retorno de água em cascata para os canais e tanques coletores (*sump*).

5.1.5 Luz UV

As bactérias nitrificantes são fotossensíveis até estabelecerem completamente uma colônia, e a luz solar pode causar danos consideráveis ao biofiltro. Os leitos de mídia já protegem as bactérias da luz solar; mas se estiver usando um biofiltro externo, é importante certificar-se de mantê-lo protegido da luz solar direta.

5.1.6 Monitoramento da atividade bacteriana

Se todos esses cinco parâmetros forem respeitados, é seguro presumir que as bactérias estão presentes e agindo corretamente. Dito isso, as bactérias são tão importantes para a aquaponia que vale a pena conhecer a saúde geral das bactérias a qualquer momento. No entanto, as bactérias são organismos microscópicos e é impossível vê-los sem um microscópio. Existe um método simples para monitorar a função bacteriana; o teste de amônia, nitrito e nitrato fornece informações sobre a saúde da colônia bacteriana. A amônia e o nitrito devem sempre ser de 0 a 1 mg/L em uma unidade aquapônica em funcionamento e equilibrada. Se algum for detectável, indica um problema com as bactérias nitrificantes. Existem duas razões comuns possíveis para que isso ocorra. Primeiro, o biofiltro é muito pequeno para a quantidade de peixes e a quantidade de ração ofertada aos peixes. Portanto, há um desequilíbrio e muitos peixes. Para corrigir isto, é necessário aumentar o tamanho do biofiltro ou reduzir o número de peixes, ou o fornecimento de alimentação aos peixes. Às vezes, esse problema pode não ocorrer quando o sistema começa equilibrado, momento em que os peixes são menores e ingerem menores quantidades de ração também (no montante), por exemplo, mas pode tornar-se gradualmente desequilibrado à medida que os peixes crescem e recebem maiores quantidades de ração, com um filtro biológico do mesmo tamanho nas diferentes etapas. Em segundo lugar, se o tamanho do sistema for equilibrado, as próprias bactérias podem não estar trabalhando adequadamente. Isso pode indicar um problema com a qualidade da água e cada parâmetro listado acima deve ser verificado. Frequentemente, isso pode ocorrer durante o inverno, quando a temperatura da água começa a cair e a atividade bacteriana diminui.

5.2 BACTÉRIAS HETEROTRÓFICAS E MINERALIZAÇÃO

Existe outro grupo importante de bactérias, assim como outros microrganismos, envolvido na aquaponia. Este grupo de bactérias é geralmente denominado grupo heterotrófico. Essas bactérias utilizam carbono orgânico como fonte de alimento e estão principalmente envolvidas na decomposição de resíduos sólidos provenientes

dos peixes e resíduos vegetais. A maioria dos peixes retém apenas 30 a 40 % dos alimentos que consomem, o que significa que 60 a 70 % do que ingerem é descartado. Destes resíduos, 50 a 70 % são resíduos dissolvidos lançados na água como amônia. No entanto, o resíduo restante é uma mistura orgânica contendo proteínas, carboidratos, gorduras, vitaminas e minerais. As bactérias heterotróficas metabolizam esses resíduos sólidos em um processo denominado mineralização, que disponibiliza micronutrientes essenciais para as plantas presentes no sistema aquapônico (Figura 5.2).

Essas bactérias heterotróficas, bem como alguns fungos que ocorrem naturalmente, ajudam a decompor a parte sólida dos dejetos dos peixes. Ao fazer isso, eles liberam os nutrientes retidos nos resíduos sólidos para a água. Este processo de mineralização é essencial porque as plantas não conseguem absorver nutrientes na forma sólida. Os resíduos devem ser quebrados em moléculas simples para serem absorvidos pelas raízes das plantas. Bactérias heterotróficas se alimentam de qualquer forma de material orgânico, como fezes de peixes, ração não consumida pelos peixes, plantas ou partes de plantas mortas e até bactérias mortas. Existem muitas fontes de alimento disponíveis para essas bactérias em unidades aquapônicas.

Bactérias heterotróficas requerem condições de crescimento semelhantes às bactérias nitrificantes, especialmente altos níveis de OD. As bactérias heterotróficas colonizam todos os componentes da unidade, mas se concentram principalmente onde os resíduos sólidos se acumulam. As bactérias heterotróficas crescem muito mais rápido do que as bactérias nitrificantes, reproduzindo-se em horas em vez de dias. Em leitos de mídia, os resíduos se acumulam no fundo, zona permanentemente úmida, e muitas bactérias heterotróficas são encontradas ali. Em outros sistemas, as colônias principais são encontradas nos filtros, separadores e nos canais. A mineralização é importante na aquaponia porque libera vários micronutrientes que são necessários para o crescimento das plantas. Sem mineralização, algumas plantas podem experimentar deficiências de nutrientes e precisam de suplementação com fertilizantes (normalmente foliares, para não prejudicar a qualidade da água dos peixes).

Bactérias heterotróficas são auxiliadas na decomposição de resíduos sólidos por uma comunidade de outros organismos. Muitas vezes, minhocas, isópodes, anfípodes, larvas e outros pequenos animais podem ser encontrados em sistemas aquapônicos, especialmente em leitos de mídia. Esses organismos trabalham junto com as bactérias para decompor os resíduos sólidos, e ter essa comunidade pode prevenir o acúmulo de sólidos.

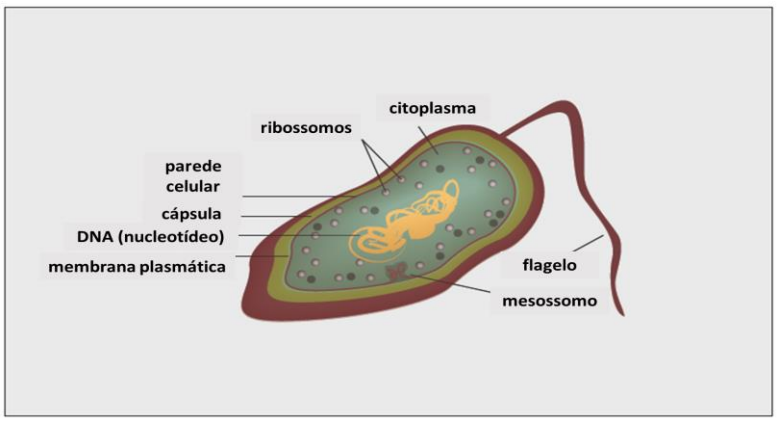


FIGURA 5.2 **Estruturas de uma bactéria heterotrófica**

5.3 BACTÉRIAS INDESEJADAS

5.3.1 Bactérias redutoras de sulfato

Bactérias nitrificantes e mineralizantes são úteis para os sistemas aquapônicos, mas alguns outros tipos de bactérias são prejudiciais. Um desses grupos nocivos de bactérias é o grupo das bactérias redutoras de sulfato. Essas bactérias são encontradas em condições anaeróbicas (sem oxigênio), onde obtêm energia por meio de uma reação redox com enxofre. O problema é que esse processo produz sulfeto de hidrogênio (H_2S), extremamente tóxico para os peixes. Essas bactérias são comumente encontradas em lagos, pântanos e estuários em todo o mundo e fazem parte do ciclo natural do enxofre. Essas bactérias são responsáveis pelo 'odor de ovos podres' e também pela cor cinza-escura dos sedimentos. O problema em aquaponia ocorre quando os resíduos sólidos se acumulam em um ritmo mais rápido do que as bactérias heterotróficas e a comunidade associada podem efetivamente processá-los e mineralizá-los, o que pode levar a condições anóxicas rapidamente, que favorecem o desenvolvimento das bactérias redutoras de sulfato. Em sistemas de alta densidade de peixes, os peixes produzem tantos resíduos sólidos que os filtros mecânicos não podem ser limpos com rapidez suficiente, o que estimula essas bactérias a se multiplicar e produzir seus metabólitos nocivos. Os grandes sistemas aquapônicos geralmente contêm um tanque de desgaseificação onde o sulfeto de hidrogênio pode ser liberado com segurança de volta para a atmosfera. A desgaseificação é desnecessária em sistemas de pequena escala. No entanto, mesmo em sistemas de pequena escala, se um odor fétido for detectado, lembrando 'ovos podres' ou 'esgoto bruto', é necessário tomar medidas de manejo adequadas. Essas bactérias só crescem em condições anóxicas, portanto, para evitá-las, certifique-se de fornecer aeração adequada e aumentar a filtração mecânica para evitar o acúmulo de lodo.

5.3.2 Bactérias desnitrificantes

Um segundo grupo de bactérias indesejáveis são as responsáveis pela desnitrificação. Essas bactérias vivem em condições anaeróbicas. Elas convertem o nitrato, que é o fertilizante requerido pelas plantas, em nitrogênio atmosférico, indisponível para as plantas. Essas bactérias também são comuns em todo o mundo e têm sua importância (ver a Figura 2.4). No entanto, em aquaponia, essas bactérias podem diminuir a eficiência dos sistemas ao remover efetivamente o fertilizante nitrogênio. Isso costuma ser um problema em grandes unidades DWC que são oxigenados de forma inadequada. Pode-se suspeitar de um problema quando as plantas mostram sinais de deficiência de nitrogênio, apesar de o sistema estar em equilíbrio, e quando há uma concentração de nitrato muito baixa na água. Nesse caso é preciso investigar possíveis áreas dentro dos canais DWC que não estejam circulando adequadamente e aumentar ainda mais a aeração com pedras de ar, com o objetivo de eliminar ou reduzir zonas anaeróbicas.

Alguns grandes sistemas aquapônicos usam deliberadamente a desnitrificação. Isso é necessário quando, embora a taxa de alimentação esteja equilibrada em relação ao fornecimento de nutrientes para as plantas, resulta em altos níveis de nitrato na água. Este nitrato em excesso pode ser diluído durante as trocas de água (sugerido nesta publicação para sistemas de pequena escala). Alternativamente, a desnitrificação controlada pode ser incentivada no filtro mecânico. Esta técnica requer atenção cuidadosa e liberação de gás, e não é recomendada para sistemas pequenos. Mais informações podem ser encontradas na seção Leitura Adicional.

5.3.3 Bactérias patogênicas

Um último grupo de bactérias indesejáveis são aquelas que causam doenças em plantas, peixes e/ou humanos. Essas doenças são tratadas separadamente em outras partes desta publicação. Os Capítulos 6 e 7 discutem doenças de plantas e peixes, respectivamente, e a Seção 8.6 discute a segurança humana. No geral, é importante que existam boas práticas agrícolas (BPAs) que mitiguem e minimizem o risco de doenças bacterianas nos sistemas aquapônicos. Algumas formas de tentar evitar a entrada de agentes patogênicos no sistema: garantir boa higiene do trabalhador; prevenir roedores que possam defecar no sistema; manter os animais em geral (selvagens, domésticos, de criação) longe dos sistemas aquapônicos; evitar o uso de água contaminada e estar ciente de que qualquer alimento vivo pode ser um vetor para a introdução de microrganismos estranhos no sistema. É especialmente importante não usar a água da chuva coletada de telhados com fezes de pássaros, a menos que a água seja tratada primeiro. O principal risco de animais de sangue quente é a introdução de bactérias perigosas que podem entrar no sistema através das fezes dos animais, como *Escherichia coli*, e as aves frequentemente carregam *Salmonella* spp. Em segundo lugar, após a prevenção, nunca deixe a água do sistema de aquaponia entrar em contato com as folhas das plantas. Isso evita muitas doenças das plantas, bem como a contaminação potencial da água dos peixes para a produção humana, especialmente se a produção for consumida crua. Lave sempre os vegetais antes do consumo, provenientes da aquaponia ou não. Práticas de higiene e limpeza são os melhores protetores contra as doenças da aquaponia. Fontes adicionais para segurança alimentar em sistemas de aquaponia são fornecidas ao longo desta publicação e na seção Leitura Adicional.

5.4 CICLAGEM DO SISTEMA E INÍCIO DE UMA COLÔNIA DE BIOFILTRO

Ciclagem do sistema refere-se ao processo inicial da construção de uma colônia bacteriana ao iniciar qualquer RAS, incluindo uma unidade aquapônica. Em circunstâncias normais, isso leva de três a cinco semanas; a ciclagem é um processo lento que requer paciência. No geral, o processo envolve a introdução constante de uma fonte de amônia na unidade aquapônica, alimentando a nova colônia bacteriana e criando um biofiltro. O progresso é monitorado a partir das medições dos níveis de nitrogênio na água do sistema. Geralmente, a ciclagem ocorre quando um sistema aquapônico é construído, mas é possível dar ao biofiltro uma vantagem ao criar um novo sistema aquapônico. É importante entender que durante o processo de ciclagem haverá altos níveis de amônia e nitrito, que podem ser prejudiciais aos peixes. Além disso, é importante certificar-se de que todos os componentes aquapônicos, em particular o biofiltro e o tanque de peixes, estejam protegidos da luz solar direta antes de iniciar o processo.

Uma vez introduzida na unidade, a amônia se torna uma fonte inicial de alimento para as BOAs (bactérias oxidantes de amônia), algumas das quais ocorrem naturalmente e são recrutadas por conta própria para o sistema. Elas podem ser encontradas no solo, na água e no ar. Dentro de cinco a sete dias após a primeira adição de amônia, as bactérias oxidantes de amônia (BOA) começam a formar uma colônia e começam a oxidar a amônia em nitrito. A amônia deve ser adicionada continuamente, mas com cautela, para garantir alimentação adequada para a colônia em desenvolvimento sem se tornar tóxica. Após outros cinco a sete dias, os níveis de

nitrito na água terão começado a aumentar, o que por sua vez atrai as bactérias oxidantes de nitrito (BON). À medida que as populações de BON aumentam, os níveis de nitrito na água começam a diminuir à medida que o nitrito é oxidado em nitrato. O processo completo é ilustrado na Figura 5.3, que mostra as tendências de amônia, nitrito e nitrato na água durante os primeiros 20 a 25 dias de ciclagem.

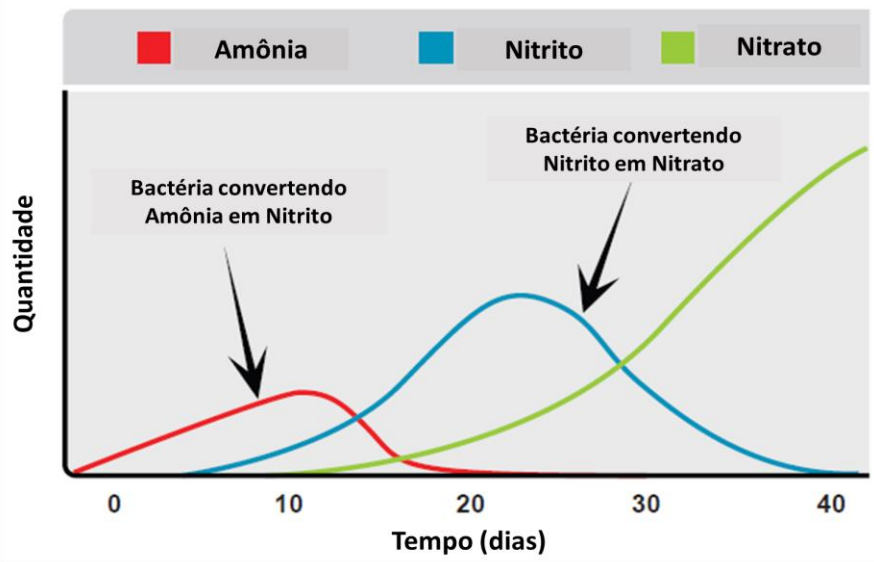


FIGURA 5.3 **Níveis de amônia, nitrito e nitrato durante as primeiras semanas em um RAS**

O fim do processo de ciclagem é definido quando o nível de nitrato está aumentando constantemente, o nível de nitrito é zero (0 mg/L) e o nível de amônia é inferior a 1 mg/L. Em boas condições, isso leva cerca de 25 a 40 dias, mas se a temperatura da água estiver fria, a ciclagem completa pode levar até dois meses para terminar. Nesse ponto, uma colônia bacteriana suficiente se formou e está convertendo ativamente a amônia em nitrato. A razão pela qual esse processo é longo é porque as bactérias nitrificantes crescem relativamente devagar, levando de 10 a 15 horas para dobrar a população. No entanto, algumas bactérias heterotróficas podem dobrar em apenas 20 minutos.

Os varejistas de aquários ou de aquicultura comercializam vários produtos contendo bactérias nitrificantes vivas. Uma vez adicionados à unidade, elas colonizam imediatamente o sistema, evitando assim o processo de ciclagem explicado anteriormente. No entanto, esses produtos podem ser caros ou indisponíveis e, em última análise, desnecessários, pois o processo de ciclagem pode ser realizado usando meios orgânicos. Alternativamente, se outro sistema aquapônico estiver disponível, é extremamente útil compartilhar parte do biofiltro como uma ‘semente’ de bactérias para o novo sistema. Isso diminui muito o tempo necessário para fazer a ciclagem do sistema. Também pode ser útil iniciar separadamente um meio de biofiltro gotejando continuamente uma solução contendo 2 a 3 mg/L de amônia por algumas semanas de antecedência. A mídia funcionaria então como um *primer*, simplesmente incorporando-o ao novo biofiltro aquapônico. Um sistema simples de gotejamento pode ser construído suspendendo uma grande caixa de plástico de mídia acima de um pequeno tanque contendo a solução de amônia que está sendo circulada por uma pequena bomba de aquário.

Muitas pessoas utilizam os peixes como fonte original de amônia em um novo tanque. No entanto, esses peixes sofrem os efeitos do alto teor de amônia e nitrito ao longo do processo de ciclagem, podendo resultar em mortalidades, comumente referido como ‘síndrome do tanque novo’. Se utilizar os peixes como fonte de amônia inicial, é recomendado utilizar uma densidade de estocagem muito baixa (≤ 1 kg/m^3). Em vez de usar peixes, existem outras fontes dessa amônia inicial para começar a alimentar a colônia do biofiltro. Algumas fontes possíveis incluem ração para peixes, resíduos esterilizados de animais, fertilizante nitrato de amônio e amônia pura. Cada uma dessas fontes tem pontos positivos e negativos, e algumas fontes são muito melhores e mais seguras de usar do que outras.

A melhor fonte de amônia é a ração para peixes finamente moída, porque é um produto biologicamente seguro e é relativamente fácil de controlar a quantidade de amônia adicionada (Figura 5.4). Certifique-se de usar somente alimentos para peixes frescos, não estragados e livres de doenças. Os resíduos de frango, apesar de serem uma excelente fonte de amônia, podem ser muito arriscados e podem introduzir bactérias perigosas no sistema aquapônico (Figura 5.5). *Escherichia coli* e *Salmonella* spp. são comumente encontrados em fezes de aves e outros animais e, portanto, devem ser esterilizados antes do uso. Produtos domésticos de amônia podem ser usados, mas certifique-se de que o produto é 100 % amônia e não inclui outros ingredientes, como detergentes, corantes ou metais pesados que poderiam arruinar todo o sistema. Uma vez que a fonte de amônia foi selecionada, é importante adicionar a amônia lenta e consistentemente e monitorar os níveis de nitrogênio a cada dois ou três dias (Figura 5.6). É útil registrar os níveis em um gráfico para rastrear o processo de ciclagem. É importante não adicionar amônia demais, e é melhor ter um pouco menos do que em excesso. O nível ideal é de 1 a 2 mg/L para iniciar o processo de ciclagem. Se os níveis de amônia excederem 3 mg/L, é necessário fazer uma troca de água para diluir a amônia, a fim de evitar que a alta concentração acabe por inibir o crescimento das bactérias.

FIGURA 5.4 **Rações para peixes como fonte de amônia**

FIGURA 5.5 **Esterco de galinha como fonte de amônia**

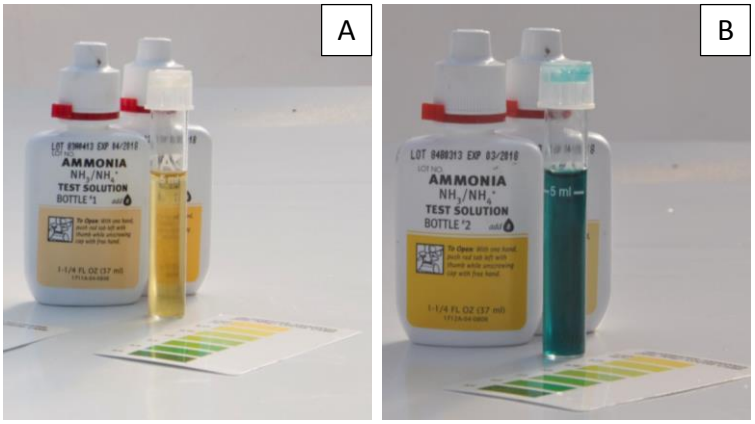


FIGURA 5.6 **Kit de teste mostrando baixo nível de amônia (0-0,5 mg/L) (A) e alto nível de amônia (4 mg/L) (B)**

5.4.1 Adicionando peixes e plantas durante o processo de ciclagem

Plantas e peixes devem ser adicionados somente após o ciclo estar completo. As plantas podem ser adicionadas um pouco mais cedo, mas espere deficiências de nutrientes nessas primeiras plantas durante este período porque outros nutrientes levam tempo para atingir as concentrações ideais (Figura 5.7).

Somente quando os níveis de amônia e nitrito estiverem abaixo de 1 mg/L é seguro começar a estocar os peixes. Sempre comece a estocar os peixes lentamente. Depois que os peixes foram estocados, não é incomum ver um pico secundário e menor de amônia e nitrito. Isso acontece se a amônia gerada a partir dos peixes recém-estocados for muito maior do que as quantidades diárias de amônia adicionadas durante o processo de ciclagem. Deve-se seguir monitorando os níveis dos três tipos de nitrogênio e, se os níveis de amônia ou nitrito subirem acima de 1 mg/L enquanto o sistema continua a ciclagem, pode ser necessário realizar trocas de água.

FIGURA 5.7 **Adicionando uma muda de planta em um leito de mídia durante o processo de ciclagem**

5.5 RESUMO DO CAPÍTULO

- Na aquaponia, a amônia deve ser oxidada em nitrato para prevenir a toxicidade aos peixes.
- O processo de nitrificação é um processo bacteriano de duas etapas em que as bactérias oxidantes de amônia (BOA) convertem amônia (NH_3) em nitrito (NO_2^-) e, em seguida, as bactérias oxidantes de nitrito (BON) convertem nitrito em nitrato (NO_3^-).
- Os cinco fatores mais importantes para uma boa nitrificação são: mídias de grande área de superfície específica para as bactérias crescerem e colonizarem; pH (6-7); temperatura da água (17-34 °C); OD (4-8 mg/L); cobertura contra a exposição direta à luz solar.
- A ciclagem do sistema é o processo inicial de construção de uma colônia de bactérias nitrificantes em uma nova unidade aquapônica. Este processo de três a cinco semanas envolve a adição de uma fonte de amônia ao sistema (ração para peixes, fertilizante à base de amônia, até uma concentração em água de 1-2 mg/L) para estimular o crescimento de bactérias nitrificantes. Isso deve ser feito de forma lenta e consistente. Amônia, nitrito e nitrato devem ser monitorados para determinar o *status* do biofiltro: o pico e a queda subsequente de amônia são seguidos por um padrão semelhante de nitrito antes que o nitrato comece a se acumular. Peixes e plantas são adicionados apenas quando os níveis de amônia e nitrito estão baixos e o nível de nitrato começa a aumentar.
- Testes de amônia e nitrito são usados para monitorar a função das bactérias nitrificantes e o desempenho do biofiltro. Em um sistema em funcionamento, a amônia e o nitrito devem ser próximos a 0 mg/L. Altos níveis de amônia ou nitrito requerem uma mudança de água e ações de manejo. Normalmente, a nitrificação insuficiente é devida a uma mudança na temperatura da água, níveis de OD ou pH.
- Outra classe de microrganismos que ocorrem naturalmente na aquaponia é a das bactérias heterotróficas. Elas decompõem os resíduos sólidos de peixes, liberando alguns dos nutrientes na água em um processo chamado mineralização.

6. PLANTAS EM AQUAPONIA

Este capítulo discute a teoria e a prática necessárias para o sucesso da produção de vegetais em sistemas aquapônicos. Em primeiro lugar, destaca algumas das principais diferenças entre a produção agrícola cultivada no solo e a produção agrícola sem solo. Em seguida, há uma discussão sobre alguns conceitos essenciais de biologia vegetal e nutrição de plantas, focando nos aspectos mais importantes para a aquaponia. Em seguida, há uma breve seção de recomendações para a seleção de hortaliças para cultivo em unidades aquapônicas. As duas seções finais cobrem fitossanidade, métodos para manter a sanidade das plantas e algumas recomendações sobre como aproveitar ao máximo o espaço de cultivo das plantas.

Em muitos empreendimentos aquapônicos comerciais, a produção de hortaliças é mais lucrativa do que a de peixes. No entanto, há exceções e alguns agricultores ganham mais com peixes particularmente valiosos. As estimativas de unidades aquapônicas comerciais predominantemente no Ocidente sugerem que até 90 % dos ganhos financeiros podem vir da produção vegetal. Um dos motivos é a alta taxa de rotatividade das hortaliças em comparação com os peixes, devido ao tempo necessário para produzir as diferentes culturas até um tamanho comercial.

Mais informações sobre a produção vegetal em aquaponia são abordadas no Capítulo 8 e nos apêndices. O Capítulo 8 discute práticas para manejar a produção vegetal ao longo das estações e discute diferentes abordagens para cada um dos métodos hidropônicos (leito de mídia, NFT e DWC). O Apêndice 1 é uma descrição técnica de 12 hortaliças populares para cultivo em aquaponia; o Apêndice 2 contém descrições e tabelas detalhando vários tratamentos orgânicos de pragas e doenças.

6.1 PRINCIPAIS DIFERENÇAS ENTRE PRODUÇÃO AGRÍCOLA NO SOLO E SEM SOLO

Existem muitas semelhanças entre a agricultura baseada no solo e a produção sem solo, enquanto a biologia vegetal básica é sempre a mesma (Figuras 6.1 e 6.2). No entanto, vale a pena investigar as principais diferenças entre a produção de solo e sem solo (Tabela 6.1), a fim de preencher a lacuna entre as práticas tradicionais no solo e as técnicas sem solo mais recentes. Geralmente, as diferenças estão entre o uso de fertilizantes e o consumo de água, a capacidade de usar terras não aráveis e a produtividade geral. Além disso, a agricultura sem solo é normalmente menos intensiva em mão de obra. Finalmente, as técnicas sem solo suportam melhor as monoculturas do que a agricultura no solo.

FIGURA 6.1 **Tomates (*Solanum* sp.) crescendo no solo**

FIGURA 6.2 **Acelga (*Beta* sp.) crescendo em um sistema aquapônico**

6.1.1 Fertilizante

A química do solo, especialmente relacionada à disponibilidade de nutrientes e à dinâmica dos fertilizantes, é uma disciplina completa e bastante complexa. A adição de fertilizante é necessária para cultivo intensivo no solo. No entanto, os agricultores não podem controlar totalmente a transferência desses nutrientes às plantas por causa dos processos complexos que ocorrem no solo, incluindo interações bióticas e abióticas. A soma dessas interações determina a disponibilidade dos nutrientes para as raízes das plantas. Por outro lado, no cultivo sem solo, os nutrientes são dissolvidos em uma solução que é fornecida diretamente às plantas e pode ser adaptada especificamente às necessidades das mesmas. As plantas cultivadas sem solo crescem limitadas em substratos inertes. Estes substratos não interferem na disponibilidade de nutrientes, o que pode ocorrer no solo. Além disso, o substrato suporta fisicamente as plantas e mantém as raízes úmidas e arejadas. Na agricultura realizada no solo, parte do fertilizante pode ser perdida para as plantas daninhas e pelo escoamento, o que pode diminuir sua eficiência e causar preocupações ambientais. O fertilizante é caro e pode representar uma grande parte do orçamento para a agricultura no solo.

O manejo sob medida de fertilizantes na agricultura sem solo tem duas vantagens principais. Primeiro, o mínimo de fertilizante é perdido em processos químicos, biológicos ou físicos. Essas perdas diminuem a eficiência e podem aumentar o custo. Em segundo lugar, as concentrações de nutrientes podem ser monitoradas com precisão e ajustadas de acordo com os requisitos das plantas em estágios de

crescimento específicos. Este maior controle pode melhorar a produtividade e melhorar a qualidade dos produtos.

6.1.2 Uso de água

O uso de água em hidroponia e aquaponia é muito menor do que na produção de plantas realizada no solo. Na cultura convencional, realizada no solo, a água é perdida por meio da evaporação da superfície, transpiração através das folhas, percolação para o subsolo, escoamento superficial e crescimento de plantas daninhas. No entanto, em culturas sem solo, o único uso da água é através do crescimento da cultura e da transpiração pelas folhas. A água usada é o mínimo necessário para o crescimento das plantas, e apenas uma quantidade insignificante de água é perdida por evaporação do meio sem solo. No geral, a aquaponia usa apenas cerca de 10 % da água necessária para cultivar a mesma planta no solo. Assim, o cultivo sem solo tem grande potencial para permitir a produção onde a água é escassa ou cara.

6.1.3 Utilização de terras não aráveis

Devido ao fato de que o solo não é necessário, métodos de cultivo sem solo podem ser usados em áreas com terras não aráveis. Lugares comuns para a aquaponia são áreas urbanas e periurbanas que não podem suportar a agricultura tradicional do solo. A aquaponia pode ser usada no piso térreo, em porões (usando luzes de crescimento) ou em terraços/lajes/coberturas. A agricultura de base urbana também pode reduzir a ‘pegada’ de produção porque as necessidades de transporte são muito reduzidas; a agricultura urbana contribui para a economia local e a segurança alimentar local. Outra aplicação importante para aquaponia são áreas onde a agricultura tradicional não pode ser empregada, como em áreas que são extremamente secas (por exemplo, desertos e outros climas áridos), onde o solo tem alta salinidade (por exemplo, áreas costeiras e estuarinas ou ilhas de coral), onde a qualidade do solo foi degradada pelo uso excessivo de fertilizantes ou perdida devido à erosão ou mineração, ou em geral onde terras aráveis não estão disponíveis devido à posse, custos de compra e direitos à terra. Globalmente, a terra arável adequada para a agricultura está diminuindo, e a aquaponia é um método que permite que as pessoas cultivem alimentos intensivamente onde a agricultura no solo é difícil ou impossível.

6.1.4 Produtividade e rendimento

A cultura hidropônica mais intensiva pode atingir rendimentos 20 a 25 % maiores do que a cultura mais intensiva baseada no solo, embora especialistas em hidroponia afirmem ser possível uma produtividade de duas a cinco vezes maior. Isso é possível quando a cultura hidropônica usa estufas e manejo exaustivo, incluindo insumos caros para esterilizar e fertilizar as plantas. Mesmo sem os insumos caros, as técnicas aquapônicas descritas nesta publicação podem igualar os rendimentos hidropônicos e ser mais produtivas do que o solo. A principal razão é o fato de que o cultivo sem solo permite ao agricultor monitorar, manter e ajustar as condições de crescimento das plantas, garantindo o equilíbrio ideal de nutrientes em tempo real, fornecimento de água, pH e temperatura. Além disso, no cultivo sem solo, não há competição com plantas daninhas e as plantas se beneficiam de um maior controle de pragas e doenças.

6.1.5 Carga de trabalho reduzida

O cultivo sem solo não requer aração, cobertura morta ou remoção de plantas daninhas. Em grandes fazendas, isso equivale a uma menor dependência de maquinário agrícola e uso de combustível fóssil. Na agricultura de pequena escala, isso equivale a uma atividade mais fácil e menos trabalhosa para o agricultor, especialmente porque a maioria das unidades aquapônicas é erguida do solo, o que evita a necessidade de curvar-se. A colheita também é um procedimento simples em comparação com a agricultura baseada no solo, e os produtos não precisam de limpeza extensiva para remover a contaminação do solo. Aquaponia é adequada para pessoas de qualquer sexo e muitas classes de idade e níveis de habilidade.

6.1.6 Monocultura sustentável

Com o cultivo sem solo, é perfeitamente possível cultivar as mesmas safras em monocultura, ano após ano. As monoculturas no solo são mais desafiadoras porque o solo fica exaurido, perde fertilidade e aumentam as pragas e as doenças. No cultivo sem solo, simplesmente não há solo para perder fertilidade ou mostrar exaustão, e todos os fatores bióticos e abióticos que impedem a monocultura são controlados. No entanto, todas as monoculturas requerem um maior grau de atenção para controlar fitopatias em comparação com a policultura.

6.1.7 Maior complexidade e alto investimento inicial

A mão de obra necessária para a configuração inicial e instalação, bem como o custo, podem desencorajar os agricultores a adotar o cultivo sem solo. A aquaponia também é mais cara do que a hidroponia porque as unidades de produção vegetal precisam ser apoiadas por instalações de aquicultura. Aquaponia é um sistema bastante complexo e requer o manejo diário de três grupos de organismos. Se qualquer parte do sistema falhar, todo o sistema pode entrar em colapso. Além disso, a aquaponia requer fornecimento de eletricidade confiável. No geral, a aquaponia é muito mais complicada do que o cultivo baseado no solo. Uma vez que as pessoas estão familiarizadas com o processo, a aquaponia torna-se muito simples e o manejo diário fica mais fácil. Há uma curva de aprendizado, como acontece com muitas novas tecnologias, e qualquer novo produtor aquapônico precisa se dedicar ao aprendizado. Aquaponia não é apropriada para todas as situações, e os benefícios devem ser comparados com os custos antes de embarcar em qualquer novo empreendimento.

TABELA 6.1
Tabela resumida comparando a produção de plantas no solo e sem solo

Categoria		**Baseada em solo**	**Sem solo**
Produção	*Produtividade*	Variável, dependendo das características do solo e do manejo.	Muito alta com produção de culturas densas.

	Qualidade de produção	Depende das características e do manejo do solo. Os produtos podem ser de qualidade inferior devido a fertilização/tratamentos inadequados.	Controle total sobre o fornecimento de nutrientes apropriados em diferentes estágios de crescimento das plantas. Remoção de fatores ambientais, bióticos e abióticos que prejudicam o crescimento das plantas no solo (estrutura do solo, química do solo, patógenos, pragas).
	Sanidade	Risco de contaminação devido ao uso de água de baixa qualidade e/ou uso de matéria orgânica contaminada como fertilizante.	Risco mínimo de contaminação para a saúde humana.
Nutrição	*Fornecimento/ disponibilidade de nutrientes*	Alta variabilidade dependendo das características e da estrutura do solo. Difícil de controlar os níveis de nutrientes na zona da raiz.	Controle em tempo real de nutrientes e pH para plantas na zona radicular. Fornecimento homogêneo e preciso de nutrientes de acordo com os estágios de crescimento das plantas. Necessita de acompanhamento e conhecimento técnico.
	Eficiência no uso de nutrientes	Adubos amplamente distribuídos com controle mínimo de nutrientes de acordo com o estádio de crescimento. Perda potencialmente alta de nutrientes devido à lixiviação e escoamento.	Quantidade mínima utilizada. Distribuição uniforme e fluxo ajustável em tempo real de nutrientes. Sem lixiviação.
Uso de água	*Eficiência do sistema*	Muito sensível às características do solo, possível estresse hídrico	Maximizado, toda a perda de água pode ser evitada. O

		nas plantas, alta dispersão de nutrientes.	fornecimento de água pode ser totalmente controlado por sensores. Sem custos de mão de obra para irrigação, mas com maior investimento.
	Salinidade	Suscetível ao acúmulo de sal, dependendo das características do solo e da água. A retirada/diluição do sal usa grandes quantidades de água.	Depende das características do solo e da água. Pode usar água salina, mas precisa de uma diluição deste sal que requer maiores volumes de água.
Manejo	*Mão de obra e equipamentos*	Padrão, mas são necessárias máquinas para tratamento do solo (aração) e colheita que dependem de combustíveis fósseis. Maior necessidade de mão de obra para as operações.	Conhecimento especializado e monitoramento diário usando equipamentos relativamente caros são essenciais. Altos custos de instalação inicial. Operações mais simples de manuseio para colheita.

6.2 BIOLOGIA VEGETAL BÁSICA

Esta seção faz um breve comentário sobre as principais partes da planta e, a seguir, discute a nutrição da planta (Figura 6.3). Discussões adicionais estão fora do escopo desta publicação, porém demais informações podem ser encontradas na seção Leitura Adicional.

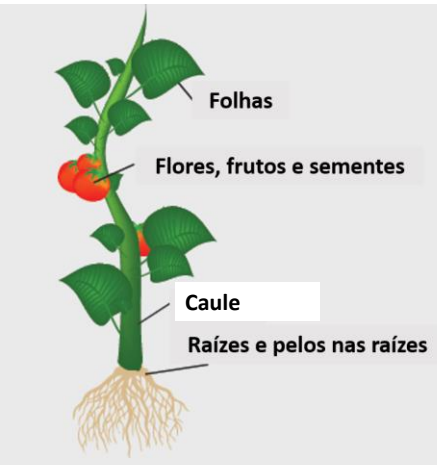


FIGURA 6.3 **Ilustração das estruturas básicas da planta**

6.2.1 Anatomia vegetal e funções

Raízes

As raízes absorvem água e minerais do solo. Pequenos pelos saem da raiz, ajudando no processo de absorção. As raízes ajudam a ancorar a planta no solo, evitando que caia. A raiz também armazena nutrientes extras para uso futuro. As raízes no cultivo sem solo mostram diferenças interessantes em relação às raízes subterrâneas da produção convencional de plantas em solo. Em culturas sem solo, água e nutrientes são constantemente fornecidos às plantas, o que facilita sua busca por nutrientes, resultando em um crescimento mais rápido, teoricamente. O crescimento da raiz em hidroponia pode ser significativo para a absorção intensa e o fornecimento ideal de fósforo que estimula seu crescimento. É importante notar que as raízes retêm quase 90 % dos metais absorvidos pelas plantas, que incluem ferro, zinco e outros micronutrientes úteis.

Caules

Os caules são a principal estrutura de suporte da planta. Eles também atuam como o sistema de condução da planta, distribuindo água e nutrientes das raízes para outras partes da planta, enquanto também transportam nutrientes das folhas para outras áreas. Os caules podem ser herbáceos, como o caule maleável de uma margarida, ou lenhosos, como o tronco de um carvalho.

Folhas

A maior parte da nutrição de uma planta é produzida nas folhas, que são projetadas para capturar a luz do sol, a partir do processo de fotossíntese. As folhas também são importantes para a transpiração da água.

Flores

As flores são a parte reprodutiva da maioria das plantas. As flores contêm pólen e óvulos. Após a polinização da flor e fertilização do óvulo, este se desenvolve em um fruto. Em técnicas de cultivo sem solo, o fornecimento imediato de potássio antes da floração pode ajudar as plantas a ter melhores frutos.

Frutos/sementes

Os frutos são desenvolvidos a partir dos ovários das flores que contêm sementes. Frutos incluem maçãs, limões e romãs, mas também incluem tomates, berinjelas, grãos de milho e pepinos. Estes últimos são considerados frutos no sentido botânico porque contêm sementes, embora em uma definição culinária sejam frequentemente chamados de legumes. As sementes são as estruturas reprodutivas das plantas e os frutos servem para ajudar a disseminar essas sementes. As plantas frutíferas têm requisitos de nutrientes diferentes das hortaliças verdes folhosas, especialmente requerendo mais potássio e fósforo.

6.2.2 Fotossíntese

Todas as plantas verdes são capazes de realizar sua própria nutrição a partir do processo de fotossíntese (Figura 6.4). A fotossíntese requer oxigênio, dióxido de carbono, água e luz. Dentro da planta existem pequenas organelas chamadas cloroplastos que contêm clorofila, uma enzima que usa a energia da luz solar para separar o dióxido de carbono (CO_2) atmosférico e criar moléculas de açúcares de alta

energia, como a glicose. A água (H_2O) é essencial para este processo e, durante a fotossíntese, há liberação de oxigênio (O_2). Uma vez criadas, as moléculas de açúcar (glicose) são transportadas por toda a planta e usadas posteriormente para todos os processos fisiológicos, como crescimento, reprodução e manutenção do metabolismo. À noite, as plantas usam esses mesmos açúcares, assim como o oxigênio disponível no ar, para gerar a energia necessária para o crescimento, em um processo chamado de respiração.

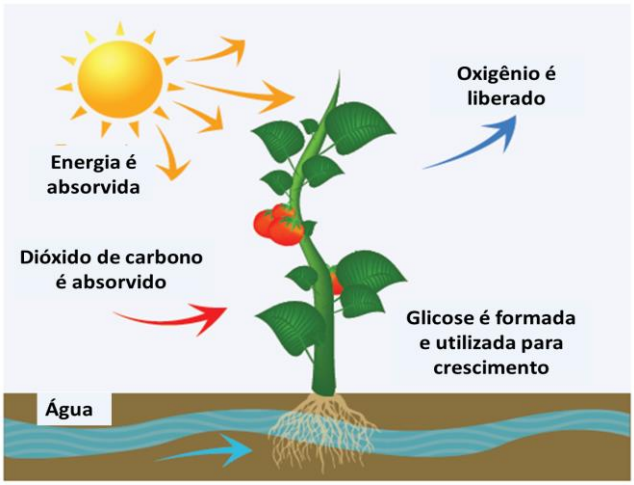


FIGURA 6.4 **O processo de fotossíntese**

É imprescindível instalar uma unidade aquapônica em um local onde as plantas tenham acesso à luz solar. Isso garante energia adequada para a realização da fotossíntese. A água deve estar sempre disponível para as raízes por meio do sistema. O dióxido de carbono está disponível livremente na atmosfera, embora em culturas internas muito intensivas seja possível que as plantas usem todo o dióxido de carbono na área fechada e requeiram ventilação.

6.2.3 Exigências nutricionais

Além desses requisitos básicos para a fotossíntese, as plantas precisam de vários nutrientes, também chamados de sais inorgânicos. Esses nutrientes são necessários para as enzimas que facilitam a fotossíntese, para o crescimento e a reprodução. Esses nutrientes podem ser obtidos do solo. Porém, na ausência de solo, esses nutrientes precisam ser fornecidos de outra forma. Na aquaponia, todos esses nutrientes essenciais vêm dos resíduos dos peixes.

Existem duas categorias principais de nutrientes: macronutrientes e micronutrientes. Ambos os tipos de nutrientes são essenciais para as plantas, mas em quantidades diferentes. Quantidades muito maiores dos macronutrientes são necessárias em comparação com os micronutrientes, que são necessários apenas em pequenas quantidades. Embora todos esses nutrientes existam em resíduos sólidos de peixes, alguns nutrientes podem ser limitados em quantidade em um sistema de aquaponia e resultar em deficiências nas plantas, como por exemplo, potássio, cálcio e ferro. Uma compreensão básica da função de cada nutriente é importante para avaliar como eles afetam o crescimento das plantas. Se ocorrerem deficiências de nutrientes, é importante identificar qual elemento está ausente ou faltando no sistema e ajustá-lo adequadamente adicionando fertilizante suplementar ou aumentando o processo de mineralização.

Macronutrientes

Existem seis nutrientes que as plantas precisam em quantidades relativamente grandes. Esses nutrientes são nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre. A seguir estão descritas as funções desses macronutrientes na planta, assim como sintomas de deficiências, de modo a identificar problemas.

O **nitrogênio (N)** é a base de todas as proteínas. É essencial para a construção de estruturas, fotossíntese, crescimento celular, processos metabólicos e produção de clorofila. Como tal, o nitrogênio é o elemento mais comum em uma planta depois do carbono e do oxigênio, ambos obtidos do ar. O nitrogênio é, portanto, o elemento-chave na solução nutritiva aquapônica e serve como um indicador fácil de medir para outros nutrientes. Normalmente, o nitrogênio dissolvido está na forma de nitrato, mas as plantas podem utilizar quantidades moderadas de amônia e até mesmo aminoácidos livres para permitir seu crescimento. As deficiências de nitrogênio são óbvias e incluem amarelecimento das folhas mais velhas, caules finos e baixo vigor (Figura 6.5a). O nitrogênio pode ser realocado dentro dos tecidos da planta e, portanto, é mobilizado das folhas mais velhas e disponibilizado ao crescimento de novas estruturas, razão pela qual as deficiências são observadas nas estruturas mais antigas. Um excesso de nitrogênio pode causar crescimento vegetativo excessivo, resultando em plantas viçosas e macias, suscetíveis a doenças e danos por insetos, além de causar dificuldades no desenvolvimento de flores e frutos.

O **fósforo (P)** é usado pelas plantas como a ‘espinha dorsal’ do DNA (ácido desoxirribonucleico), como um componente estrutural das membranas fosfolipídicas e como trifosfato de adenosina (o componente que armazena energia nas células). É essencial para a fotossíntese, bem como para a formação de óleos e açúcares. Estimula a germinação e o desenvolvimento das raízes nas mudas. Deficiências de fósforo comumente causam desenvolvimento deficiente da raiz porque a energia não pode ser transportada adequadamente através da planta; as folhas mais velhas aparecem de um verde opaco ou até mesmo de um marrom arroxeado, e as pontas das folhas parecem queimadas.

O **potássio (K)** é usado para sinalização celular por meio do fluxo controlado de íons através das membranas. O potássio também controla a abertura estomática e está envolvido na formação de flores e frutos. Está envolvido na produção e transporte de açúcares, absorção de água, resistência a doenças e amadurecimento de frutos. A deficiência de potássio se manifesta como manchas ‘queimadas’ nas folhas mais velhas e baixo vigor e turgor da planta (Figura 6.5b). Sem potássio, flores e frutos não se desenvolvem corretamente. A clorose internerval, ou amarelecimento entre as nervuras das folhas, pode ser observada nas margens.

O **cálcio (Ca)** é usado como um componente estrutural das paredes e das membranas celulares. Ele está envolvido no fortalecimento dos caules e contribui para o desenvolvimento das raízes. As deficiências são comuns na hidroponia e são sempre aparentes no crescimento mais recente porque o cálcio é imóvel dentro da planta. Queimadura nas pontas das folhas de alfaces e podridão apical de tomates e abobrinhas são exemplos de deficiência de cálcio. Frequentemente, as folhas novas são distorcidas com pontas em forma de gancho e formas irregulares. O cálcio só pode ser transportado através da transpiração ativa do xilema, então, quando as condições são muito úmidas, o cálcio pode estar disponível, mas bloqueado porque as plantas

não estão transpirando. Aumentar o fluxo de ar com aberturas ou ventiladores pode evitar esse problema. A adição de farinha de conchas ou carbonato de cálcio pode ser usada para suplementar o cálcio em aquaponia com o benefício adicional de tamponar o pH.

O **magnésio (Mg)** é o aceptor de elétrons central nas moléculas de clorofila e é um elemento-chave na fotossíntese. As deficiências podem ser vistas como amarelecimento das folhas entre as nervuras, especialmente nas partes mais velhas da planta. Embora a concentração de magnésio seja às vezes baixa em aquaponia, não parece ser um nutriente limitante e a adição de magnésio ao sistema geralmente é desnecessária.

O **enxofre (S)** é essencial para a produção de algumas proteínas, incluindo clorofila e outras enzimas fotossintéticas. Os aminoácidos metionina e cisteína contém enxofre, o que contribui para a estrutura terciária de algumas proteínas. As deficiências são raras, mas incluem o amarelecimento geral de toda a folhagem no novo crescimento (Figura 6.5c). As folhas podem ficar amarelas, rígidas, quebradiças e cair.

Micronutrientes

Abaixo está uma lista de nutrientes que são necessários apenas em pequenas quantidades. A maioria das deficiências de micronutrientes envolve o amarelecimento das folhas (como ferro, manganês, molibdênio e zinco). No entanto, as deficiências de cobre fazem com que as folhas escureçam sua cor verde.

O **ferro (Fe)** é usado em cloroplastos e na cadeia transportadora de elétrons e é fundamental para uma adequada fotossíntese. As deficiências são vistas como amarelecimento intermediário, seguido por toda a folhagem, tornando-se amarelo claro (clorótica) e eventualmente branco com manchas necróticas e margens distorcidas das folhas. Como o ferro é um elemento imóvel, as deficiências de ferro (Figura 6.5d) são facilmente identificadas se as folhas novas aparecerem cloróticas. O ferro deve ser adicionado como ferro quelado, também conhecido como ferro sequestrado ou Fe*EDTA, porque o ferro pode precipitar em pH superior a 7. A adição sugerida é de 5 mL/m^2 de leito de cultivo sempre que houver suspeita de deficiências; uma quantidade maior não prejudica o sistema, mas pode causar descoloração de tanques e tubulações. Tem sido sugerido que as bombas submersas de acionamento magnético podem ‘sequestrar’ ferro e isso tem sido assunto de pesquisas atualmente.

O **manganês (Mn)** é usado para catalisar a divisão da água durante a fotossíntese e, como tal, o manganês é importante para todo o sistema de fotossíntese. As deficiências se manifestam como taxas de crescimento reduzidas, uma aparência cinza opaca e amarelecimento intermediário entre as nervuras que permanecem verdes, seguido por necrose. Os sintomas são semelhantes aos de deficiência de ferro e incluem clorose. A captação de manganês é muito pobre em pH superior a 8.

O **boro (B)** é usado como uma espécie de catalisador molecular, especialmente envolvido em polissacarídeos e glicoproteínas estruturais, transporte de carboidratos e regulação de algumas vias metabólicas em plantas. Também está envolvido na reprodução e absorção de água pelas células. As deficiências podem ser vistas como

desenvolvimento incompleto de botões florais e flores, interrupção do crescimento e necrose das pontas da planta, do caule e da raiz.

O **zinco (Zn)** é usado por enzimas e também na clorofila, afetando o tamanho da planta de um modo geral, o crescimento e a maturação. As deficiências podem ser notadas como baixo vigor, crescimento atrofiado com comprimento internodal e tamanho da folha reduzidos e clorose intravenosa que pode ser confundida com outras deficiências.

O **cobre (Cu)** é usado por algumas enzimas, especialmente na reprodução, e também ajuda a fortalecer os caules. As deficiências podem incluir clorose e pontas das folhas marrons ou alaranjadas, crescimento reduzido de frutos e necrose. Às vezes, a deficiência de cobre se apresenta por um crescimento verde escuro anormal.

O **molibdênio (Mo)** é usado pelas plantas para catalisar reações redox com diferentes formas de nitrogênio. Sem molibdênio suficiente, as plantas podem apresentar sintomas de deficiência de nitrogênio, embora o nitrogênio esteja presente. O molibdênio é biologicamente indisponível em pH inferior a 5.

A disponibilidade de muitos desses nutrientes depende do pH (consultar a Seção 6.4 para maiores informações sobre a disponibilidade dependente do pH) e, embora os nutrientes possam estar presentes, eles podem estar indisponíveis devido à qualidade da água. Mais detalhes sobre as deficiências de nutrientes fora do escopo desta publicação, consultar a seção Leitura Adicional para obter guias de identificação ilustrados.

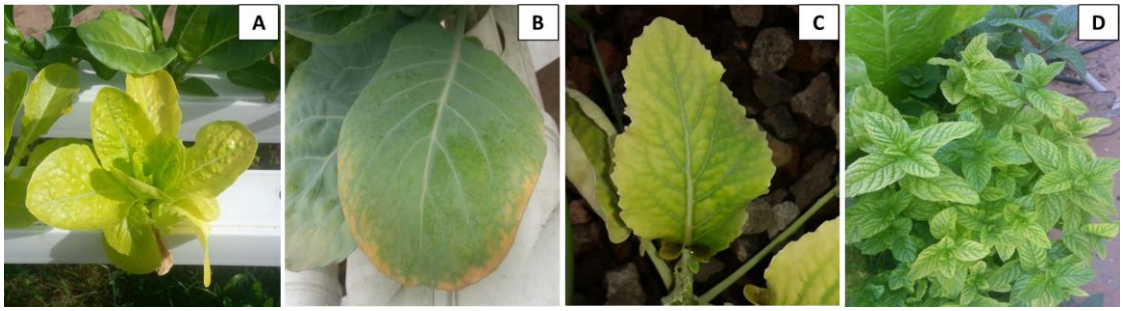


FIGURA 6.5 **Deficiência de nitrogênio visível nas folhas mais velhas pálidas (A); deficiência de potássio visível como manchas marrons na margem da folha (B); deficiência de enxofre visível nas folhas enroladas e amarelecidas (C); e deficiência de ferro visível na cor verde pálida de toda a planta de hortelã (D)**

6.2.4 Fontes de nutrientes em aquaponia

No sistema de aquaponia, o nitrogênio é fornecido às plantas principalmente na forma de nitrato, convertido a partir da amônia dos resíduos de peixes por meio da nitrificação bacteriana. Alguns dos outros nutrientes são dissolvidos na água a partir dos resíduos dos peixes, mas a maioria permanece em um estado sólido que não está disponível para as plantas. Os resíduos sólidos de peixes são decompostos por bactérias heterotróficas; esta ação libera os nutrientes essenciais na água. A melhor maneira de garantir que as plantas não sofram de deficiências é manter o pH ideal da água (6-7) e alimentar os peixes com uma dieta balanceada e completa, e usar a taxa de alimentação para equilibrar a quantidade de alimento dos peixes para as plantas. No

entanto, com o tempo, mesmo um sistema aquapônico perfeitamente equilibrado pode tornar-se deficiente em certos nutrientes, na maioria das vezes ferro, potássio ou cálcio.

As deficiências desses nutrientes são resultado da composição da ração dos peixes. Os *pellets* de ração para peixes (discutidos no Capítulo 7) são um alimento completo para os peixes, o que significa que fornecem tudo o que um peixe precisa para crescer, mas não necessariamente tudo o que é necessário para o crescimento vegetal. Os peixes simplesmente não precisam das mesmas quantidades de ferro, potássio e cálcio que as plantas requerem. Assim, podem ocorrer deficiências destes nutrientes. Isso pode ser problemático para a produção vegetal, mas existem soluções disponíveis para garantir um fornecimento de quantidades adequadas desses três elementos.

Em geral, o ferro é adicionado regularmente como ferro quelado no sistema aquapônico para atingir concentrações de cerca de 2 mg/L. Cálcio e potássio são adicionados no tamponamento da água para o pH correto, pois a nitrificação é um processo acidificante. Estes são adicionados como hidróxido de cálcio ou hidróxido de potássio, ou como carbonato de cálcio e carbonato de potássio (o Capítulo 3 tem mais detalhes). A escolha do tampão pode ser feita com base no tipo de planta que está sendo cultivada, pois vegetais folhosos podem precisar de mais cálcio, e plantas frutíferas, mais potássio. Além disso, o Capítulo 9 discute como produzir fertilizantes orgânicos simples a partir de composto para usar como suplementos aos resíduos de peixes, garantindo que as plantas estejam sempre recebendo a quantidade certa de nutrientes.

6.3 QUALIDADE DA ÁGUA PARA PLANTAS

A Seção 3.3 discutiu os parâmetros de qualidade da água para o sistema aquapônico como um todo. Aqui são feitas considerações específicas e expandidas para plantas.

6.3.1 pH

O pH é o parâmetro mais importante para as plantas em um sistema aquapônico porque influencia o acesso da planta aos nutrientes. Em geral, a faixa de tolerância para a maioria das plantas é de 5,5 a 7,5. A faixa mais baixa está abaixo da tolerância para peixes e bactérias, e a maioria das plantas prefere condições levemente ácidas. Se o pH ficar fora dessa faixa, os nutrientes, embora estejam presentes na água, ficam indisponíveis às plantas. Isso é especialmente verdadeiro para ferro, cálcio e magnésio. Às vezes, deficiências aparentes de nutrientes nas plantas indicam, na verdade, que o pH do sistema está fora da faixa ideal. A Figura 6.6 descreve a relação entre o pH da água do sistema de aquaponia e a capacidade das plantas de absorver certos nutrientes.

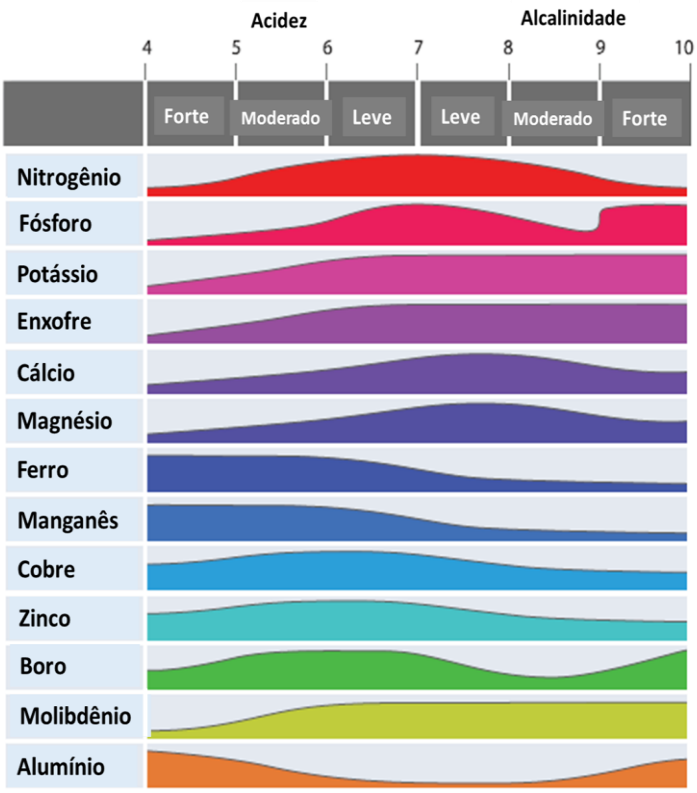


FIGURA 6.6 **O impacto do pH na disponibilidade de nutrientes para as plantas**

No entanto, há evidências de que o bloqueio de nutrientes é menos comum em sistemas aquapônicos maduros do que em hidropônicos. Enquanto a hidroponia é um empreendimento semiestéril, a aquaponia é um ecossistema completo. Como tal, existem interações biológicas que ocorrem entre as raízes das plantas, bactérias e fungos que podem permitir a absorção de nutrientes mesmo em níveis de pH mais elevados do que aqueles mostrados na Figura 6.6. No entanto, o melhor curso de ação é tentar manter o pH ligeiramente ácido (6-7), embora um pH mais alto (7-8) também possa funcionar. Esse aspecto é objeto de pesquisas atuais.

6.3.2 Oxigênio dissolvido

A maioria das plantas precisa de altos níveis de OD (> 3 mg/L) na água. As plantas usam seus caules e folhas para absorver oxigênio durante a respiração, mas as raízes também precisam de oxigênio. Sem oxigênio, as plantas podem sofrer apodrecimento das raízes, uma situação em que raízes morrem e fungos crescem. Algumas plantas aquáticas, como castanha-d'água, lótus ou taro (taioba), não precisam de altos níveis de OD e podem suportar águas com baixo teor de oxigênio, como as de lagoas estagnadas.

6.3.3 Temperatura e sazonalidade

A faixa de temperatura adequada para a maioria dos vegetais é entre 18 e 30 °C. No entanto, algumas hortaliças são muito mais adequadas para o cultivo em condições específicas. Para os fins desta publicação, as hortaliças de inverno requerem temperaturas de 8 a 20 °C e as de verão requerem temperaturas de 17 a 30 °C. Por exemplo, muitas hortaliças folhosas crescem melhor em condições mais frias (14-20 °C), especialmente à noite. Em temperaturas mais altas, de 26 °C e acima, as folhas

verdes podem produzir flores e sementes, o que as torna amargas e não comercializáveis. Geralmente, é a temperatura da água que tem maior efeito nas plantas do que a temperatura do ar. No entanto, deve-se ter cuidado na escolha correta de plantas e peixes para atender às faixas ideais de temperatura da água. Outro aspecto sazonal do plantio é o fotoperiodismo, que se refere à quantidade de luz do dia que algumas plantas requerem para produzir flores e frutos. Algumas, chamadas de plantas de dia curto, requerem certa escuridão antes de florescer. Este sinal para a planta indica que o inverno está se aproximando, e a planta coloca sua energia na reprodução em vez de no crescimento. Algumas plantas comumente cultivadas, de dias curtos, incluem variedades de pimentas e certas plantas/flores medicinais. Por outro lado, as plantas de dias longos requerem certa duração do dia antes de produzir flores, embora isso seja raramente uma consideração em hortaliças, mas pode sê-lo para algumas plantas ornamentais. Assim, é importante seguir as práticas locais de plantio sazonal para cada vegetal cultivado ou escolher variedades que sejam neutras ao fotoperiodismo. O Apêndice 1 contém mais detalhes sobre essa questão.

6.3.4 Amônia, nitrito e nitrato

Conforme explicado no Capítulo 2, as plantas são capazes de absorver todas as três formas de nitrogênio, mas o nitrato é o mais acessível. A amônia e o nitrito são muito tóxicos para os peixes e devem sempre ser mantidos abaixo de 1 mg/L. Em uma unidade aquapônica em funcionamento, a amônia e o nitrito devem ser mantidos sempre entre 0 e 1 mg/L, o que também não ocasiona problema para as plantas.

6.4 SELEÇÃO DE PLANTAS

Até o momento, mais de 150 diferentes hortaliças, ervas, flores e pequenas árvores foram cultivadas com sucesso em sistemas aquapônicos, incluindo unidades domésticas, comerciais e de pesquisa. O Apêndice 1 fornece um resumo técnico e instruções de cultivo detalhadas para as 12 ervas e hortaliças mais populares em aquaponia. Em geral, hortaliças folhosas se dão muito bem em aquaponia junto com algumas das hortaliças frutíferas mais populares, incluindo tomates, pepinos e pimentões. Hortaliças frutíferas têm maior demanda de nutrientes e são mais apropriadas para sistemas já bem estabelecidos e com estoques de peixes adequados. Ao contrário, algumas culturas de raízes e algumas plantas sensíveis não crescem bem em aquaponia. As culturas de raízes requerem atenção especial e só podem ser cultivadas com sucesso em leitos de mídia profundos ou em uma versão de leitos absorventes discutidos em mais detalhes na Seção 9.3.

Hortaliças variam em relação à demanda geral de nutrientes. Existem duas categorias gerais de plantas aquapônicas com base nessa demanda:

Plantas com alta demanda de nutrientes: entre elas estão as frutíferas, como tomate, berinjela, pepino, abobrinha, morango e pimentão.

Plantas com baixa demanda de nutrientes: incluem as verduras e ervas, como alface, acelga, rúcula, manjericão, hortelã, salsa, coentro, cebolinha, *pak-choi* e agrião. Muitas das leguminosas, como ervilhas e feijões, também têm baixa demanda de nutrientes.

Outras plantas com demandas médias de nutrientes são: repolho, couve, couve-flor, couve-rábano e brócolis. Plantas bulbosas como beterraba, taro, cebola e cenoura têm requisitos médios a altos, enquanto o rabanete requer menos nutrientes.

O estilo do canteiro influencia a escolha das plantas. Em unidades de leito de mídia, é uma prática comum a policultura de verduras, ervas e hortaliças frutíferas ao mesmo tempo (Figura 6.7). Desde que as unidades de leito de mídia tenham a profundidade certa (pelo menos 30 cm), é possível cultivar todos os vegetais mencionados nas categorias acima. A policultura em pequenas superfícies também pode tirar proveito do plantio consorciado (ver Apêndice 2) e do melhor manejo do espaço, porque espécies tolerantes à sombra podem crescer sob as plantas mais altas. As práticas de monocultura são mais prevalentes em unidades comerciais NFT e DWC porque o produtor é limitado pelo número de furos nos canos e 'jangadas' para plantar hortaliças. Usando unidades NFT, pode ser possível cultivar hortaliças frutíferas maiores, como tomates, mas essas plantas precisam ter acesso a grandes quantidades de água para garantir o fornecimento suficiente de nutrientes e evitar o estresse hídrico. A murcha em plantas frutíferas pode de fato ocorrer quase imediatamente se o fluxo de água do sistema de aquaponia for interrompido, com efeitos devastadores em toda a safra. As plantas frutíferas também precisam ser plantadas em tubos de cultivo maiores, de preferência com fundos planos, e posicionadas a uma distância maior do que as hortaliças folhosas. Isso ocorre porque as plantas frutíferas crescem e precisam de mais luz para amadurecer seus frutos e também porque há espaço limitado para as raízes nos tubos. Por outro lado, grandes culturas de bulbo e/ou raízes, como couve-rábano, cenoura e nabo, são mais propensas a ser cultivadas em leitos de mídia porque as unidades NFT e DWC não fornecem um bom ambiente de cultivo e suporte adequado para as plantas.

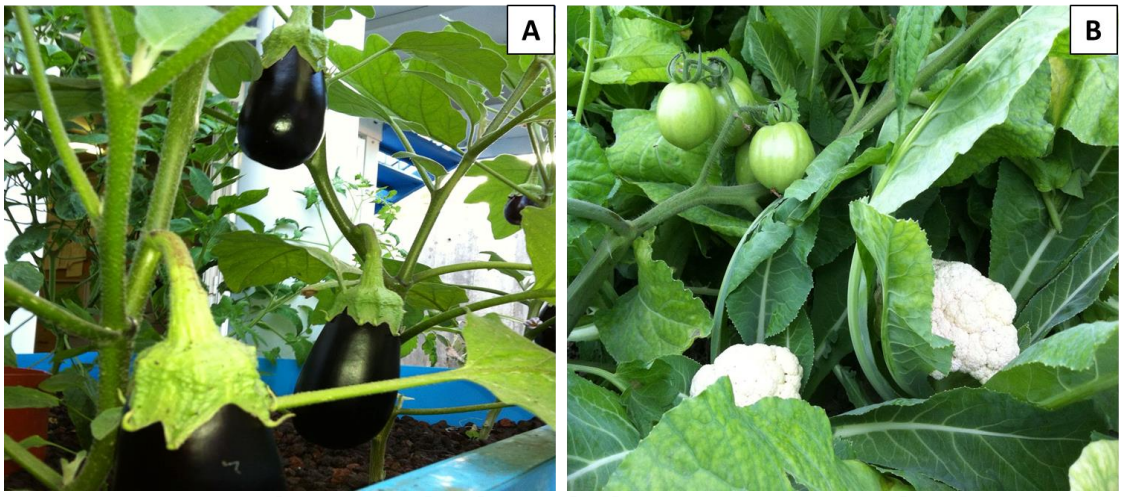


FIGURA 6.7 **Hortaliças com alta demanda de nutrientes crescendo em canteiros de leito de mídia, incluindo berinjelas (*Solanum* sp.) (A), tomates (*Solanum* sp.) e couve-flor (*Brassica* sp.) (B)**

É importante considerar o efeito da colheita das plantas em todo o ecossistema. Se todas as plantas fossem colhidas de uma vez, o resultado seria um sistema desequilibrado sem plantas suficientes para limpar a água, resultando em picos de nutrientes. Alguns agricultores usam esta técnica, mas deve corresponder a uma grande despesca de peixes ou a uma redução da oferta de ração no sistema. No

entanto, a recomendação é usar um ciclo escalonado de colheita e replantio. A presença de muitas plantas crescendo em sincronia resultaria em sistemas deficientes em alguns nutrientes por volta do período de colheita, quando a absorção é máxima. Por ter plantas em diferentes estágios de vida, ou seja, algumas em fase de mudas e algumas já maduras, a demanda geral de nutrientes é sempre a mesma. Isso garante uma química de água mais estável e também fornece uma produção mais regular, tanto para o consumo doméstico quanto para o mercado. Os esquemas de plantio escalonado são discutidos com mais detalhes no Capítulo 8.

6.5 FITOSSANIDADE, CONTROLE DE PRAGAS E DOENÇAS

A fitossanidade tem um significado amplo que vai muito além da simples ausência de doenças; é o estado geral de bem-estar que permite a uma planta atingir todo o seu potencial produtivo. A saúde das plantas, incluindo a prevenção de doenças e a prevenção e a remoção de pragas, é um aspecto extremamente importante da produção aquapônica de alimentos (Figura 6.8). Embora os avanços mais importantes em fitossanidade tenham sido alcançados por meio do manejo de patógenos e pragas, o fornecimento de uma nutrição ideal, o uso de técnicas de plantio inteligentes e o manejo ambiental adequado também são fundamentais para garantir plantas saudáveis. Além disso, o conhecimento específico sobre as plantas cultivadas é fundamental para abordar vários problemas de produção. Embora alguns conceitos básicos sobre nutrição de plantas já tenham sido descritos, esta seção tem como objetivo fornecer uma compreensão muito maior sobre como minimizar os riscos e lidar com doenças e pragas de plantas em um sistema de aquaponia realizado em pequena escala.

Para obter mais informações sobre insetos benéficos, incluindo características de insetos e necessidades climáticas, juntamente com informações gerais sobre identificação de pragas, bem como manejo integrado de pragas e doenças (incluindo diferentes produtos disponíveis para tratamento), consultar o Apêndice 2 e os recursos listados na seção Leitura Adicional.

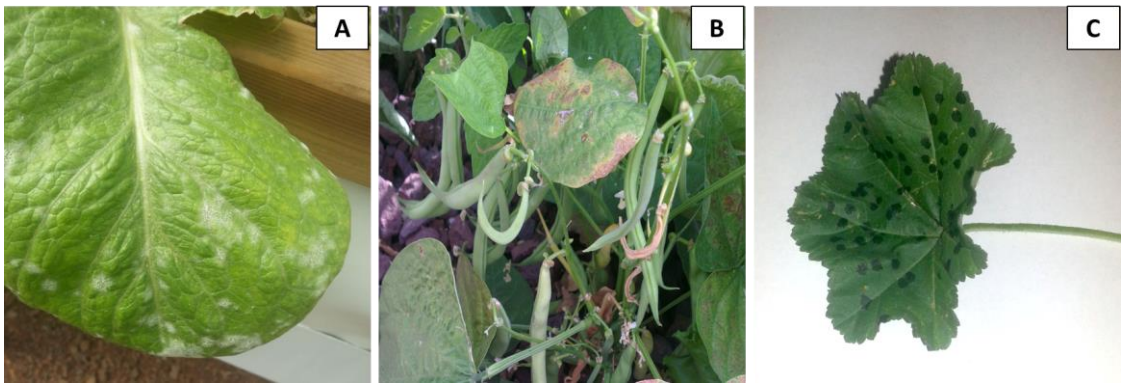


FIGURA 6.8 **Doenças comuns das plantas incluem o míldio causado por um fungo (A); cancro/crestamento causado por bactérias (B); e manchas foliares causadas por bactérias ou fungos (C)**

6.5.1 Produção integrada e manejo de pragas

Insetos-praga são problemáticos para a produção vegetal porque podem transmitir doenças às plantas. As pragas também extraem líquidos à medida que penetram nos tecidos das plantas, levando ao crescimento atrofiado. Ambientes controlados, como estufas, podem ser particularmente problemáticos para pragas

porque o espaço fechado oferece condições favoráveis para insetos sem chuva ou vento. O manejo de pragas para condições externas também difere do cultivo protegido (telados, estufas), devido à separação física das plantas da área circundante, o que permite o uso de insetos benéficos no interior para matar/controlar os insetos-praga. A prevalência de insetos-praga também depende muito do clima e do ambiente. O manejo de pragas em zonas temperadas ou áridas é mais fácil do que em regiões tropicais, onde a maior incidência e competição entre os insetos tornam o controle de pragas uma tarefa muito mais difícil.

Como as unidades aquapônicas mantêm um ecossistema independente, é normal que uma série de microrganismos, pequenos insetos e aranhas coexistam dentro dos leitos de mídia. No entanto, outros insetos nocivos, como moscas-brancas, tripes, pulgões, traças do repolho e ácaros, se alimentam e danificam as plantas. Uma prática comum para lidar com insetos problemáticos na produção de vegetais no solo é o uso de pesticidas químicos ou inseticidas, mas isso é **impossível** em sistemas aquapônicos. Qualquer pesticida químico pode ser fatal para os peixes e também para as bactérias benéficas que vivem no sistema. Portanto, pesticidas químicos comerciais nunca devem ser usados em aquaponia. No entanto, existem outros controles físicos, ambientais e culturais eficazes para reduzir a ameaça de pragas da aquaponia. Inseticidas e repelentes devem ser considerados o último recurso. No entanto, o manejo bem-sucedido integra o manejo agrícola e ambiental com o uso de repelentes orgânicos e biológicos de pragas.

Produção integrada e manejo de pragas é uma abordagem ecossistêmica para a produção e proteção de plantas baseadas no solo ou sem solo, que combina diferentes estratégias e práticas de manejo para cultivar plantas saudáveis e minimizar o uso de pesticidas. É uma combinação de controles mecânicos, físicos, químicos, biológicos e microbiológicos junto com a resistência da planta hospedeira e práticas culturais. Nem todos esses controles são aplicáveis para a aquaponia, pois alguns podem ser fatais para peixes e bactérias (ou seja, pesticidas químicos e orgânicos), enquanto outros podem não ser economicamente viáveis para aquaponia de pequena escala (ou seja, agentes de controle microbiano). Assim, esta seção concentra-se nas estratégias mais aplicáveis para aquaponia em pequena escala, incluindo controle mecânico e físico, resistência de plantas hospedeiras e técnicas culturais para prevenir a ameaça de pragas e doenças. Alguns comentários breves são dados sobre alguns controles biológicos seguros para a aquaponia (ou seja, insetos e microrganismos benéficos), e mais detalhes estão incluídos no Apêndice 2. Para mais informações sobre esses métodos, consultar a seção Leitura Adicional.

Controles físicos, mecânicos e culturais

Para o manejo de pragas em aquaponia, a prevenção é fundamental. O monitoramento regular e completo de pragas é de suma importância e, idealmente, pequenas infestações podem ser identificadas e gerenciadas antes que os insetos danifiquem toda a plantação. Abaixo está uma lista de controles simples e baratos usados na agricultura orgânica/convencional, que também são adequados para aquaponia em pequena escala, para evitar infestações de pragas. A exclusão física refere-se a manter as pragas afastadas. A remoção mecânica é quando o agricultor retira ativamente as pragas das plantas. Os controles culturais são as escolhas e atividades de manejo que o agricultor pode empreender para prevenir as pragas. Esses controles devem ser usados como uma primeira linha de defesa contra insetos-pragas antes que outros métodos sejam considerados.

Telas

Este método é comum para evitar danos de pragas em regiões tropicais ou onde a horticultura orgânica é praticada ou mesmo onde os pesticidas não são eficazes. O tamanho da malha da tela varia dependendo da praga visada. Telas com um tamanho de malha de 0,15 mm são ideais para excluir tripes; 0,35 mm para excluir mosca-branca e pulgões e 0,8 mm para afastar larvas minadoras. Telas são particularmente eficazes quando as mudas são muito jovens e tenras. As telas não suprimem ou erradicam as pragas, apenas excluem a maioria delas; portanto, devem ser instaladas antes do aparecimento da praga e deve-se tomar cuidado para não permitir que as pragas entrem no ambiente protegido.

Barreiras físicas

Dadas as distâncias limitadas que os insetos podem cobrir, é possível reduzir a prevalência de pragas adicionando barreiras físicas entre os vegetais e a vegetação circundante, como superfícies pavimentadas. A produção aquapônica em terraço/cobertura/laje se beneficia da ventilação natural, dada a maior altura, e a grande extensão de barreira física (distância do solo), criando condições ideais para a produção ao ar livre relativamente livre de pragas e doenças (Figura 6.9). As estufas às vezes tem um ventilador forte soprando na entrada, que pode ajudar a evitar que os insetos entrem junto com o produtor.

Outra técnica útil é criar uma barreira nas bases dos perfis hidropônicos. Um anel de cobre cintilante pode impedir que caramujos e lesmas subam pelas bases, e uma camada de vaselina pode impedir formigas. Colocar a parte inferior das bases em um recipiente com água também pode prevenir as formigas.

FIGURA 6.9 **Unidades aquapônicas em um terraço/cobertura estão isoladas de algumas pragas terrestres**

Inspeção e remoção manual

A remoção de folhas ou plantas fortemente infestadas, manualmente ou usando um jato de água de alta pressão, ajuda a evitar e/ou atrasar a disseminação de insetos para as plantas vizinhas (Figura 6.10). Pragas e larvas maiores também podem ser usadas como alimento complementar para os peixes. Água pulverizada de uma mangueira direcionada para a parte inferior das folhas é uma técnica de manejo extremamente eficaz contra muitos tipos de insetos sugadores. O jato de água pode matar alguns insetos e os outros são levados embora. Isso é eficaz com insetos sugadores como pulgões e moscas brancas. Este é um dos métodos mais eficazes em sistemas de pequena escala, mas pode ser temporário, pois as pragas deslocadas

podem retornar às plantas, além de poder consumir volumes significativos de água e tornar-se muito trabalhoso para sistemas maiores.

FIGURA 6.10 **Remoção manual de pragas de insetos**

Armadilhas

Armadilhas pegajosas posicionadas ligeiramente acima da copa das plantas são eficazes em ambientes protegidos (por exemplo, telados, estufas). Os cartões pegajosos azuis capturam estágios adultos de tripes, enquanto os cartões pegajosos amarelos capturam moscas-brancas e microlepidópteros (Figura 6.11). Armadilhas pegajosas são menos eficazes em condições externas, pois novos insetos podem facilmente vir das áreas circundantes. O monitoramento contínuo dos insetos capturados pelas armadilhas pode ajudar o agricultor a adotar medidas específicas para reduzir a ocorrência de determinadas pragas. Outra maneira eficaz de lidar com as pragas é usar armadilhas com iscas de feromônios. Estes atraem machos de pragas específicas, reduzindo assim a população de acasalamento na área.

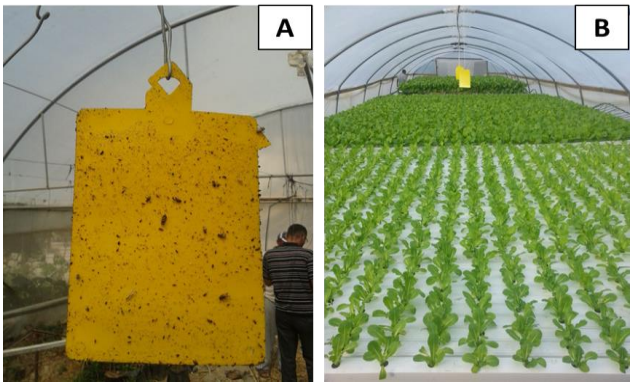


FIGURA 6.11 **Armadilha pegajosa amarela (A) instalada em uma estufa (B)**

Gestão/manejo ambiental

É necessário manter as condições ideais de luz, temperatura e umidade, que podem ser facilmente alteradas em cultivo protegido, para favorecer um crescimento mais saudável das plantas e para criar condições desfavoráveis para as pragas. Por exemplo, ácaros-aranha não toleram condições úmidas e ambientes molhados, portanto, borrifadores temporizados direcionados às folhas das plantas podem impedir as infestações.

Escolha da planta

Algumas pragas são mais atraídas por espécies de plantas específicas do que outras. Da mesma forma, diferentes variedades de plantas da mesma espécie têm diferentes resistências/tolerâncias a pragas. Esta é uma das razões pelas quais a policultura pode muitas vezes prevenir grandes infestações porque algumas plantas permanecem não afetetadas. Além disso, algumas plantas atraem e retêm mais insetos benéficos para ajudar a controlar as populações de pragas (discutido em mais detalhes abaixo). Escolha variedades resistentes de fornecedores locais e extensionistas agrícolas para ajudar a reduzir doenças e infestações.

Plantas indicadoras e plantas-isca

Algumas plantas, como pepino e legumes, são mais propensas a infestações de pulgões ou ácaros vermelhos e, portanto, podem ser usadas para detectar precocemente a prevalência de pragas, na forma de plantas companheiras. Frequentemente, as plantas indicadoras são plantadas ao longo da borda externa de hortas maiores. Outra estratégia que pode ser adotada em aquaponia é o uso de inseticidas biológicos em plantas-isca ou 'de sacrifício', plantadas próximas, mas não dentro do sistema aquapônico. Essas plantas funcionam como atrativos de pragas, podendo ser cultivadas em vasos ao lado da unidade aquapônica, atraindo as pragas fora da unidade, que são então tratados com inseticidas (veja abaixo). Essa estratégia não afetaria o ecossistema aquapônico ou os insetos benéficos presentes ao redor da unidade. Embora não sejam puramente orgânicas, as plantas-isca podem até mesmo ser tratadas com inseticidas sintéticos comerciais se grandes infestações estiverem presentes. Fava e petúnias (flores) podem ser usadas para atrair tripes, pulgões e ácaros. Pepinos também são usados para capturar pulgões e gafanhotos, enquanto mudas de alfaces suculentas são usadas para capturar outros insetos desfolhadores.

Plantas companheiras

O cultivo de plantas companheiras é o uso construtivo das relações de plantas pelos produtores. Por exemplo, todas as plantas produzem produtos químicos naturais que liberam de suas folhas, flores e raízes. Esses produtos químicos podem atrair ou repelir certos insetos e podem aumentar ou limitar a taxa de crescimento e o rendimento das plantas vizinhas. Portanto, é importante estar ciente de quais plantas se beneficiam umas das outras quando plantadas juntas e quais combinações de plantas devem ser evitadas. O Apêndice 2 fornece uma tabela de plantas companheiras para usar ao escolher os cultivos.

Fertilização

Como mencionado acima, o nitrogênio excessivo torna as plantas mais propensas ao ataque de pragas porque têm tecidos mais suculentos. Um equilíbrio correto de nutrientes usando a taxa de alimentação (Capítulos 2 e 8) ajuda as plantas a crescerem mais fortes para resistir aos ataques de pragas. Por este motivo, trocas de água devem ser realizadas quando os níveis de nitrato são maiores que 120 mg/L.

Espaçamento

A alta densidade de plantio e/ou poda inadequada aumenta a competição pela luz, favorecendo as pragas. Essa competição eventualmente torna o tecido da planta mais suculento para que as pragas ou os patógenos penetrem, e as condições restritas oferecem abrigo às pragas. É importante certificar-se de que a ventilação é adequada e há penetração de luz solar através do dossel. Conforme discutido anteriormente,

muitas plantas têm necessidades especiais em relação à luz solar e fotoperíodo. Ao combinar plantas tolerantes ao pleno sol com plantas tolerantes à sombra, é possível intensificar a produção sem o risco de aumentar a competição e enfraquecer as plantas. Nesse caso, as plantas tolerantes à sombra podem crescer sob o dossel das que crescem ao sol. Desta forma, as plantas ficam mais saudáveis e resistentes a pragas e doenças.

Rotação de culturas

Embora as unidades aquapônicas possam ser manejadas como monoculturas sem enfrentar problemas de exaustão do solo (esgotamento dos nutrientes naturalmente presentes no solo), o cultivo contínuo da mesma espécie por várias safras pode ter um efeito seletivo sobre as pragas circundantes. Assim, uma mudança de cultivo, mesmo que por um curto período, pode causar uma redução drástica de pragas da monocultura.

Sanidade

A remoção de todos os restos vegetais, incluindo todas as raízes, ao final de cada colheita ajuda a reduzir a incidência de pragas e doenças. Folhas mortas e galhos doentes devem ser removidos de forma consistente. Em condições externas sem telas, é aconselhável reduzir ao mínimo a vegetação circundante para evitar que as pragas se espalhem para a unidade aquapônica. Plantas doentes e pilhas de composto devem ser mantidas longe do sistema para evitar contaminação.

Controles químicos

Se as pragas continuarem a ser um problema após usar os controles físicos, mecânicos e culturais acima, pode ser necessário usar o controle químico. Pesticidas e inseticidas sintéticos nunca devem ser usados em aquaponia porque eles matam os peixes. Muitos controles biológicos também são mortais para os peixes. Todos os controles de produtos químicos devem ser considerados um último recurso em sistemas aquapônicos e usados apenas com moderação. Se possível, tal como para sistemas DWC, é melhor remover e tratar as plantas longe do sistema e permitir que os produtos químicos sequem completamente. O Apêndice 2 contém uma lista de inseticidas e repelentes comuns, suas indicações e sua toxicidade relativa para os peixes.

Controles biológicos

Quanto aos biopesticidas, alguns extratos obtidos de microrganismos são seguros para os animais aquáticos, pois agem especificamente nas estruturas dos insetos e não prejudicam mamíferos ou peixes. Dois organismos amplamente utilizados em aquaponia e agricultura orgânica são *Bacillus thuringiensis* e *Beauveria bassiana*. O primeiro é um extrato de toxina de uma bactéria que danifica o trato digestivo do inseto e o mata. Pode ser pulverizado nas folhas e visa especificamente lagartas, lagartas enroladoras de folhas, mariposas ou larvas de borboletas sem danificar outros insetos benéficos. *B. bassiana* é um fungo que germina e penetra na pele do inseto (quitina), matando a praga por desidratação. A eficácia do fungo depende do número de esporos pulverizados e das condições ideais de umidade e temperatura, idealmente um bom agente para trópicos úmidos.

Insetos benéficos - predadores de pragas

Finalmente, os insetos benéficos são outro método eficaz para controlar pragas, particularmente em ambientes controlados, como estufas ou ambientes telados. Insetos benéficos ou predadores, como crisopídeos, são introduzidos no espaço de cultivo das plantas para controlar qualquer infestação posterior. Algumas das vantagens do uso de insetos benéficos incluem: a ausência de resíduos de pesticidas ou resistência induzida por pesticidas em pragas, economicamente viável (no longo prazo, apenas para operações em grande escala) e ecologicamente correto. No entanto, o sucesso no controle de pragas usando este método depende de conhecimento detalhado de cada inseto benéfico, juntamente com o monitoramento constante de pragas e a introdução de insetos benéficos no momento correto. Além disso, insetos benéficos podem ser atraídos naturalmente para sistemas externos. Muitos desses insetos benéficos se alimentam de néctar em seus estágios adultos, portanto, uma seleção de flores perto da unidade aquapônica pode manter uma população capaz de manter as pragas em equilíbrio.

É importante destacar que este método de controle nunca erradica totalmente as pragas. Em vez disso, as pragas são suprimidas sob uma estreita relação presa-predador. Este método já foi usado com resultados positivos para sistemas aquapônicos em grande escala, mas para sistemas aquapônicos em pequena escala pode não haver pragas suficientes para que os insetos benéficos predem, o que pode levá-los a voar para longe. A escolha dos insetos benéficos a serem usados (ver Apêndice 2) deve levar em consideração as condições ambientais onde eles irão operar.

6.5.2 Doenças de plantas e manejo integrado de doenças

Ao contrário da hidroponia, que é gerenciada principalmente em condições estéreis, a aquaponia tira proveito de um ecossistema microscópico complexo que inclui bactérias, fungos e outros microrganismos. A presença desses microrganismos bem adaptados torna cada sistema mais resiliente no caso de ataque de pragas ou doenças. No entanto, a produção bem sucedida de plantas é o resultado de estratégias de manejo com a finalidade de evitar surtos de doenças, que se concentram principalmente nas condições ambientais, na prevenção de pragas (pragas como a mosca-branca podem transportar vírus letais) no manejo de plantas, bem como no uso de ‘remédios’ orgânicos que ajudam a prevenir ou curar as plantas. Semelhante ao manejo integrado de pragas, o manejo integrado de doenças depende de prevenção, escolha da planta e monitoramento como a primeira linha de defesa contra doenças e usa tratamento direcionado apenas quando necessário.

Controles ambientais

A temperatura e a umidade desempenham um papel importante no manejo fitossanitário. Cada fitopatógeno (isto é, bactérias, fungos ou parasitas; Figura 6.8) tem temperatura ideal de crescimento que pode ser diferente daquelas das plantas. Assim, as doenças ocorrem em certas áreas e períodos durante o ano, quando as condições são mais favoráveis ao patógeno do que ao seu hospedeiro. Além disso, a umidade desempenha um papel fundamental para a germinação de esporos de fungos, que requerem uma fina película de água cobrindo os tecidos da planta. Da mesma forma, a ativação de algumas doenças bacterianas e fúngicas está estritamente relacionada com a presença de água superficial. Portanto, o controle do orvalho e da umidade relativa do ar são essenciais para reduzir os riscos de surtos de doenças. O Apêndice 2 contém condições ambientais detalhadas que podem levar ao acometimento de doenças fúngicas mais comuns.

Assim, o controle da umidade relativa, especialmente em aquaponia realizada em estufas, é particularmente importante. Isso pode ser obtido por meio de ventilação dinâmica ou forçada por meio de janelas e ventiladores, criando um fluxo de ar horizontal ajudando a minimizar diferenças de temperatura e pontos frios onde ocorre condensação. O ar em movimento é continuamente misturado, o que evita que a temperatura caia abaixo do ponto de orvalho; portanto, a água não condensa nos vegetais.

A evaporação de tanques de peixes e/ou canais aerados de DWC alojados em estufas também deve ser evitada cobrindo fisicamente as superfícies dos tanques, já que a água evaporada pode aumentar drasticamente a umidade interna. Os tubos (canais) em unidades NFT estão sujeitos a altas temperaturas da água em estações quentes devido à exposição contínua ao sol nos tubos. Os sistemas de leito de mídia são uma opção ideal uma vez que as superfícies dos leitos são sempre mantidas secas (ver Capítulo 4). Finalmente, os sistemas construídos em telhados/coberturas/lajes têm a vantagem de um microclima mais seco e boa ventilação em comparação com o nível do solo, o que facilita o manejo ambiental das plantas.

O controle da temperatura da água desempenha um papel fundamental na prevenção de surtos de fungos. Uma doença muito comum na aquaponia é a podridão da raiz causada por *Pythium* spp., um patógeno de solo que pode ser acidentalmente introduzido no sistema a partir de materiais contaminados (solo, turfa, mudas de viveiros). Ao contrário da hidroponia, na aquaponia este fungo não causa danos abaixo de certas temperaturas devido à presença competitiva de outros microrganismos. A manutenção de temperaturas abaixo de 28-30 °C é, portanto, essencial para evitar a germinação exponencial de esporos que eventualmente causariam um surto.

Atenção também deve ser dada às densidades de plantio. Densidades muito altas reduzem a ventilação interna e aumentam a umidade entre as plantas. O risco de doenças para culturas densamente plantadas também é aumentado, pois, sob intensa competição de luz, as plantas crescem sem consolidar suas células, levando a paredes de tecidos mais macios e suculentos. Tecidos delicados são mais propensos a doenças por causa de sua resistência limitada à penetração de pragas e/ou patógenos.

Escolha da planta

As variedades de plantas têm diferentes níveis de resistência aos patógenos. Em alguns casos, o uso de cultivares resistentes é o método mais bem-sucedido de evitar doenças. Assim, é fundamental selecionar variedades de plantas que sejam mais adaptadas para crescer em determinados ambientes ou que tenham um maior grau de resistência a um determinado patógeno. Além disso, muitas empresas de sementes oferecem uma ampla seleção de plantas com diferentes respostas contra patógenos. O uso de variedades locais que são naturalmente selecionadas para um ambiente específico pode garantir o crescimento saudável das plantas.

Se não for possível controlar certas doenças com variedades resistentes, é aconselhável mudar para outras culturas durante a estação crítica. No caso de *Pythium* spp., por exemplo, se variedades de alfaces resistentes e microrganismos benéficos não são capazes de controlar a infestação, é oportuno mudar para outras espécies mais tolerantes ao patógeno e às altas temperaturas da água, como o manjericão.

As sementes e/ou mudas devem ser compradas de um viveiro de boa reputação que empregue estratégias eficazes de prevenção de doenças e possa garantir produtos livres de doenças. Além disso, evite ferir as plantas, pois galhos quebrados, rachaduras, cortes e danos causados por pragas geralmente levam ao surgimento de doenças na mesma área.

Nutrição vegetal

A nutrição afeta muito a suscetibilidade de uma planta a doenças. Também afeta a capacidade de uma planta de responder contra doenças usando diferentes mecanismos, incluindo antixenose (processos para impedir a colonização por herbívoros) ou antibiose (processos para matar ou reduzir herbívoros após pousar ou durante a alimentação). Um equilíbrio correto de nutrientes não só fornece um crescimento ideal, mas também torna as plantas menos suscetíveis a doenças. Embora a descrição dos distúrbios nutricionais tenha sido discutida acima, a Tabela 6.2 descreve como alguns nutrientes podem desempenhar um papel importante na ocorrência de doenças.

TABELA 6.2
Efeito dos nutrientes na prevenção de doenças fúngicas

Nutriente	Efeito
Nitrogênio	A fertilização excessiva torna os tecidos mais suculentos e mais propensos ao ataque de fungos. A falta de nitrogênio torna as plantas atrofiadas mais propensas a ataques de microrganismos oportunistas.
Potássio	Acelera a cicatrização de feridas e reduz o efeito dos danos causados pelo gelo. Atrasa a maturidade e senescência das plantas.
Fósforo	Melhora o equilíbrio de nutrientes e acelera a maturidade das plantas.
Cálcio	Reduz a gravidade de algumas doenças fúngicas da raiz e do caule. Afeta a composição da parede celular em plantas que resiste à penetração de fungos.
Silício	Ajuda as plantas a produzir reações de defesa específicas, incluindo a liberação de compostos fenólicos contra patógenos.

Fonte: Agrios (2004).

Monitoramento - inspeção e exclusão

A detecção e intervenção precoces são a base do manejo de doenças e pragas. Portanto, as plantas devem ser inspecionadas regularmente quanto a sinais precoces de infecção ou presença de pragas que podem resultar em infecção. Sempre que as plantas apresentarem sinais de danos ou estágios iniciais de doença (murcha, ferrugem ou podridão da raiz), é necessário remover os ramos infectados, folhas ou toda a planta para evitar que a doença se espalhe por toda a cultura. Além disso, em relação à exclusão, é importante impor o controle de vetores (fontes) potenciais de vírus, como a mosca-branca, por meio do cultivo de plantas em estruturas à prova de insetos (ver Seção 6.5.1). Além disso, evitar a contaminação do solo, bem como utilizar ferramentas desinfetadas (por exemplo, tesouras usadas para poda/colheita) ajuda a evitar a transmissão de patógenos potenciais para o sistema. Finalmente, é uma boa prática monitorar e registrar todos os sintomas e a progressão de cada doença para determinar os melhores métodos de prevenção e tratamento no futuro.

Tratamento - inorgânico ou químico

Como mencionado acima, a aquaponia é um ecossistema complexo que é mais resiliente do que a hidroponia a doenças transmitidas pelo solo. No entanto, alguns surtos de doenças ainda podem ocorrer em caso de condições ambientais desfavoráveis, como devido a uma maior umidade relativa do ar no interior de estufas ou em climas tropicais, e precisam ser controlados. Como a aquaponia é um sistema integrado que contém peixes, plantas e microrganismos benéficos, não é possível usar os tratamentos de doenças padrão da agricultura convencional (ou seja, fungicidas químicos), pois são tóxicos para os peixes. No entanto, as práticas comuns utilizadas para a agricultura orgânica são possíveis, desde que não prejudiquem os peixes e/ou as bactérias ou não se acumulem no sistema levando a limites superiores aos aceitos. O Apêndice 2 indica os elementos e métodos de aplicação usados na agricultura orgânica que também podem ser usados na aquaponia para combater e prevenir diferentes doenças. Em geral, o tratamento bem-sucedido depende da combinação de algumas estratégias que podem ter efeito sinérgico contra patógenos específicos.

Tratamento - biológico

Alguns agentes de controle biológico podem ser usados para aquaponia, como *Trichoderma* spp., *Ampelomyces* spp. e *Bacillus subtilis*, que são microrganismos cultivados usados contra doenças específicas. Esses agentes biológicos podem ser aplicados nas folhas ou na zona da raiz, e fornecem proteção contra as doenças mais comuns transmitidas pelo solo, incluindo o oídio e algumas bactérias. Em particular, *Trichoderma* spp. tem se mostrado eficaz no controle de *Pythium* spp. e a maioria dos patógenos transmitidos pelo solo, enquanto *Ampelomyces* spp. poderia compensar qualquer necessidade de tratamentos inorgânicos ou químicos contra o oídio. No caso de *Trichoderma* spp., os esporos podem ser distribuídos no substrato durante a semeadura, para permitir que o fungo benéfico proteja as plantas desde o estágio de muda. Informações sobre o produto, produtores e distribuidores devem ser consultados antes do uso, a fim de identificar os melhores métodos de tratamento para doenças específicas.

Para informações mais detalhadas sobre doenças vegetais específicas, incluindo identificação, suscetibilidade e prevalência, consultar os textos recomendados na seção Leitura Adicional.

6.6 PROJETO DE PLANTIO

O *layout* dos canteiros ajuda a maximizar a produção de plantas no espaço disponível. Antes de plantar, é importante escolher muito bem quais plantas serão cultivadas, levando em consideração o espaço necessário para cada planta e qual a época de cultivo adequada. Uma boa prática para todos os projetos de aquaponia é planejar o *layout* dos canteiros no papel para ter uma melhor compreensão de como tudo ficará. As considerações importantes são: diversidade de plantas, plantas companheiras e compatibilidade física, demandas de nutrientes, demandas de mercado e facilidade de acesso. Por exemplo, plantas mais altas (ou seja, tomates) devem ser colocadas no local mais acessível dentro do leito de mídia para tornar a colheita mais fácil.

Incentivando a diversidade de plantas

Em geral, o plantio de várias safras e variedades oferece certo grau de segurança ao produtor. Todas as plantas são suscetíveis a alguns tipos de doenças ou parasitas, e se apenas uma cultura for cultivada, a chance de uma infestação ou epidemia séria é maior, assim como os prejuízos. Isso pode desequilibrar o sistema como um todo. Como tal, encorajam-se os produtores a plantar uma grande variedade de vegetais em unidades de pequena escala (Figura 6.12).

Plantio escalonado

Como mencionado anteriormente, é importante escalonar o plantio. Desta forma, pode haver colheita e replantio constantes, o que ajuda a manter um nível equilibrado de nutrientes na unidade. Ao mesmo tempo, fornece um suprimento constante de plantas para autoconsumo ou mercado. É importante ressaltar que algumas plantas produzem frutos ou folhas que podem ser colhidas continuamente ao longo de uma estação, como algumas variedades de folhosas, manjericão, coentro e tomates, enquanto outras culturas são colhidas inteiras, como couve-rábano, alface e cenoura. Para conseguir o plantio escalonado, deve haver sempre um suprimento pronto de mudas (o desenvolvimento de um viveiro de plantas é discutido no Capítulo 8).

FIGURA 6.12 **Exemplo de dois leitos de mídia com vários tipos de vegetais**

Maximizando espaço em leitos de mídia

Não só a área da superfície deve ser planejada para maximizar o espaço, mas também o espaço vertical e o tempo devem ser considerados. Por exemplo, em relação ao tempo, é interessante plantar hortaliças com períodos curtos de crescimento (verduras para salada) entre plantas com safras de longo prazo (berinjela). O benefício dessa prática é que as verduras para salada podem ser colhidas primeiro e fornecer mais espaço à medida que as berinjelas amadurecem. O replantio contínuo de vegetais tenros, como alface, entre grandes hortaliças frutíferas fornece condições de sombra natural. Importante certificar-se de que as culturas sombreadas não sejam completamente dominadas à medida que as grandes culturas crescem. Hortaliças como pepinos são plantas trepadeiras naturais que podem ser conduzidas para crescer para cima ou para baixo e longe dos leitos. Usar estacas de madeira e/ou barbante para ajudar a apoiar as hortaliças trepadeiras pode ser uma boa estratégia, pois possibilita mais espaço no leito de mídia (Figura 6.13). Um dos benefícios da aquaponia é que as plantas podem ser facilmente movidas, liberando suavemente as raízes do meio de cultivo e colocando a planta em um local diferente.

FIGURA 6.13 **Exemplos de maximização de espaço em leitos de mídia usando culturas trepadeiras (A) e plantio escalonado (B)**

6.7 RESUMO DO CAPÍTULO

- As principais vantagens da aquaponia sobre a agricultura em solo são: (i) nenhum fertilizante desperdiçado; (ii) menor uso de água; (iii) maior produtividade/qualidade; (iv) capacidade de utilizar terras não aráveis; e (v) redução de manejo de solo, capina e outras práticas agrícolas.
- As plantas precisam de luz solar, ar, água e nutrientes para crescer. Os macronutrientes essenciais incluem: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre. Os micronutrientes incluem ferro, zinco, boro, cobre, manganês e molibdênio. As deficiências precisam ser tratadas fornecendo os nutrientes limitantes com fertilizantes suplementares ou aumentando a mineralização.
- O parâmetro de qualidade da água mais importante para as plantas é o pH, pois afeta a disponibilidade de nutrientes essenciais.
- A faixa de temperatura adequada para a maioria das hortaliças é de 18 a 26 °C, embora muitas sejam sazonais. As hortaliças de inverno requerem temperaturas de 8 a 20 °C e as de verão requerem temperaturas de 17 a 30 °C.
- Hortaliças folhosas se dão extremamente bem em aquaponia. Legumes frutíferos grandes também são aplicáveis, incluindo tomate, pimentão, berinjela, pepino, ervilha e feijão-vagem. As raízes e tubérculos são menos comumente cultivados e requerem atenção especial.
- A produção integrada e o manejo de pragas e doenças utilizam práticas físicas, mecânicas e culturais para minimizar pragas/patógenos e, em sequência, usar tratamento químico e biológico seguro para peixes em aplicações específicas, quando necessário.
- O projeto de plantio inteligente pode maximizar o espaço, estimular insetos benéficos e melhorar a produção.
- O plantio escalonado fornece colheita contínua, bem como uma absorção constante de nutrientes e qualidade da água mais consistente.

7. PEIXES EM AQUAPONIA

A primeira seção deste capítulo inclui informações sobre anatomia e fisiologia de peixes, incluindo como eles respiram, digerem os alimentos e excretam resíduos. É introduzida a taxa de conversão alimentar (TCA), importante para toda a aquicultura, que se refere à eficiência com que os peixes convertem a ração em massa corporal. Atenção especial é dedicada ao ciclo de vida e reprodução dos peixes no que se refere à criação e à manutenção de estoques. Em seguida, são discutidos os cuidados e a saúde dos peixes em unidades aquapônicas, abrangendo qualidade da água, oxigênio, temperatura, luz e nutrição. A terceira seção identifica uma série de espécies aquáticas comerciais adequadas para aquaponia, com foco na tilápia, carpa, bagre, truta, robalo e camarão (Figura 7.1). O capítulo termina com uma seção final sobre a saúde individual dos peixes, doenças e métodos de prevenção de doenças.

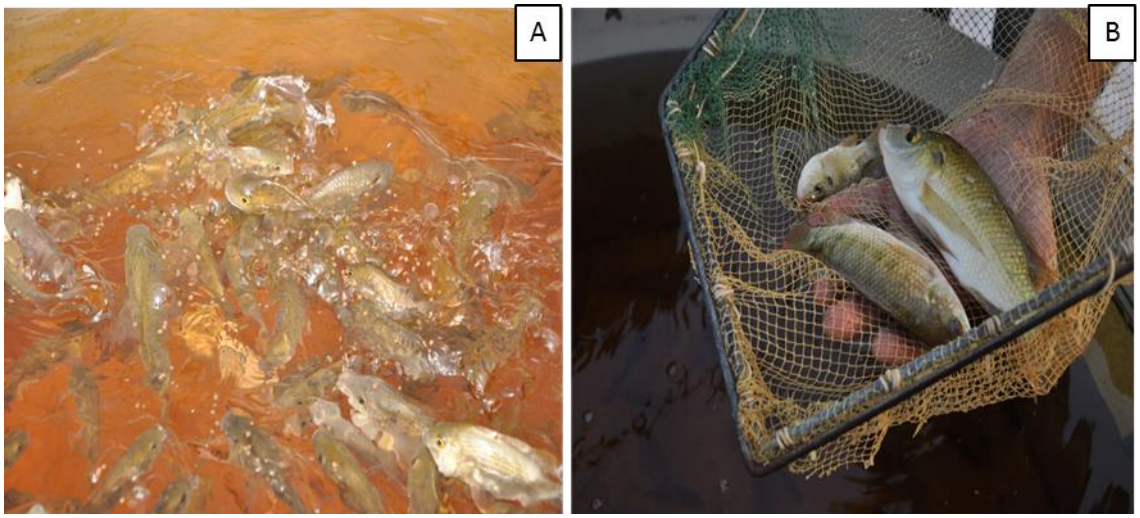


FIGURA 7.1 **Juvenis (A) e adultos (B) de tilápia crescendo em uma unidade aquapônica**

7.1 ANATOMIA, FISIOLOGIA E REPRODUÇÃO DE PEIXES

7.1.1 Anatomia dos peixes

Os peixes representam um grupo diversificado de animais vertebrados que possuem brânquias e vivem na água. Um peixe típico usa brânquias para obter oxigênio da água, enquanto ao mesmo tempo libera dióxido de carbono e resíduos metabólicos (Figura 7.2). O peixe típico é ectotérmico, ou de sangue frio, o que significa que sua temperatura corporal varia de acordo com a temperatura da água. Os peixes têm quase os mesmos órgãos dos animais terrestres; no entanto, eles também possuem uma ‘bexiga natatória’ [NT: também conhecida por vesícula gasosa]. Posicionada no abdômen, é uma vesícula contendo ar que mantém o animal flutuando de maneira neutra na água. A maioria dos peixes usa nadadeiras para se movimentar e tem um corpo hidrodinâmico para se locomover na água. Frequentemente, sua pele é coberta por escamas protetoras. A maioria dos peixes põe ovos. Os peixes possuem órgãos sensoriais bem desenvolvidos que lhes permitem ver, saborear, ouvir, cheirar e tocar. Além disso, a maioria dos peixes tem linhas laterais, que detectam diferenças de pressão na água. Alguns grupos podem até detectar campos elétricos, como os criados

pelos batimentos cardíacos de espécies de presas. No entanto, seu sistema nervoso central não é tão desenvolvido como nos pássaros ou mamíferos.

Principais características anatômicas externas

Olhos - os olhos dos peixes são muito semelhantes aos dos animais terrestres, como de aves e mamíferos, exceto que suas lentes são mais esféricas. Alguns peixes, como a truta e a tilápia, dependem da visão para encontrar presas, enquanto outras espécies usam principalmente o olfato.

Escamas - as escamas protegem os peixes, agindo como escudo contra predadores, parasitas, doenças e abrasão física.

Boca e mandíbulas - os peixes ingerem o alimento pela boca e o decompõem na garganta. Frequentemente, a boca é relativamente grande, permitindo a ingestão de presas substanciais. Alguns peixes têm dentes, inclusive às vezes na língua. Os peixes respiram trazendo água pela boca e expelindo-a pelo opérculo.

Cobertura branquial/opérculo - é a cobertura externa das brânquias, que oferece proteção a esses delicados órgãos. Geralmente é uma placa óssea e pode ser vista abrindo e fechando enquanto o peixe está respirando.

Abertura urogenital e ânus - são aberturas externas na parte inferior do corpo próximo da cauda. Resíduos sólidos e urina passam pelo trato digestivo, pelo ânus , e são expelidos pela abertura. Além disso, a abertura urogenital é onde os gametas reprodutivos (espermatozoides e óvulos) são liberados. A abertura urogenital tem função semelhante a uma cloaca.

Nadadeiras - as nadadeiras em pares, tanto as peitorais como as pélvicas, estão localizadas na parte inferior do corpo do peixe. Elas fornecem manobrabilidade e controle de direção. Nadadeiras ímpares, como as dorsais e anais, podem ser encontradas na parte superior e inferior do corpo do peixe e proporcionam equilíbrio e estabilidade, bem como controle de direção. A nadadeira caudal está na extremidade oposta da cabeça e fornece a principal propulsão e movimento para o peixe. As nadadeiras podem ter espinhos afiados, às vezes com sacos de veneno anexados, que são usados para defesa.

Respiração

Os peixes respiram oxigênio usando suas brânquias, que estão localizadas em cada lado da região da cabeça. As brânquias consistem em estruturas chamadas filamentos. Cada filamento contém uma rede de vasos sanguíneos que fornece uma grande área de superfície específica para a troca de oxigênio e dióxido de carbono. Os peixes trocam gases ‘captando’ água rica em oxigênio pela boca e bombeando-a sobre as brânquias, liberando dióxido de carbono ao mesmo tempo. Em seu habitat natural, o oxigênio é fornecido por vegetais aquáticos que produzem oxigênio por meio da fotossíntese ou por movimentos da água, como ondas e vento, que dissolvem/incorporam o oxigênio atmosférico na água. Sem quantidade de oxigênio dissolvido (OD) adequado na água, a maioria dos peixes morre por hipóxia. É por isso que a aeração adequada é tão crucial para o sucesso da aquicultura. No entanto, algumas espécies de peixes podem ter um órgão de respiração, semelhante aos

pulmões, que lhes permite respirar fora da água. Os bagres da família Clariidae são um desses grupos de peixes importantes na aquicultura.

Excreção

Os resíduos de nitrogênio são gerados à medida que os peixes digerem e metabolizam a ração ingerida. Esses resíduos vêm da quebra de proteínas e da reutilização dos aminoácidos resultantes. Esses resíduos nitrogenados são tóxicos para o corpo e precisam ser excretados. Os peixes podem liberar esses resíduos de três maneiras. Primeiro, a amônia se difunde na água a partir das brânquias. Se os níveis de amônia estiverem altos na água circundante, a amônia não se difunde tão prontamente, o que pode levar ao acúmulo de amônia no sangue e danos aos órgãos internos. Em segundo lugar, os peixes produzem grandes quantidades de urina muito diluída que é expelida pela abertura urogenital. Algum nitrogênio (proteínas, aminoácidos, amônia) também está presente nos resíduos sólidos que são eliminados pelo ânus. Os peixes usam rins para filtrar o sangue e concentrar os resíduos para descarte. A excreção da urina é um processo de regulação osmótica, ajudando os peixes a manter seu teor de sais. Os peixes de água doce não precisam beber água e, na verdade, precisam expelir água ativamente para manter o equilíbrio fisiológico.

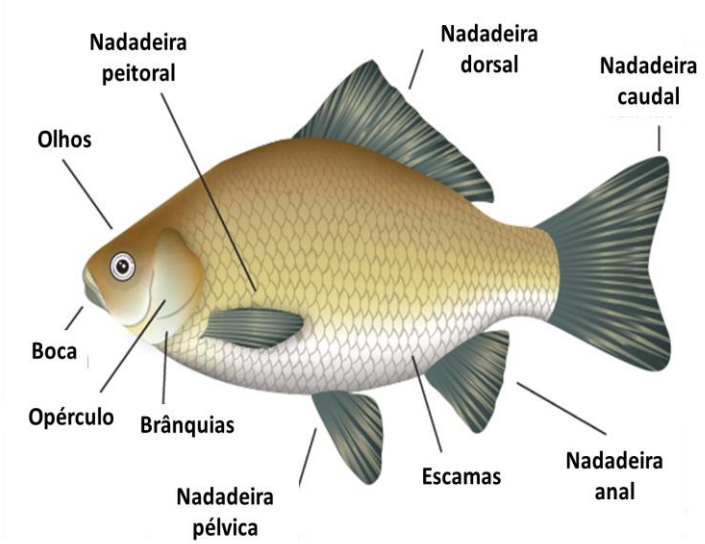


FIGURA 7.2 **Ilustração das principais características anatômicas externas dos peixes**

7.1.2 Reprodução e ciclo de vida dos peixes

Quase todos os peixes põem ovos que se desenvolvem fora do corpo da mãe; na verdade, 97 % de todos os peixes conhecidos são ovíparos. A fertilização dos óvulos pelo esperma, também ocorre externamente na maioria dos casos. Os peixes machos e fêmeas liberam suas células sexuais na água. Algumas espécies mantêm ninhos e fornecem cuidado parental e proteção aos ovos, mas na maioria das espécies simplesmente os ovos fertilizados se dispersam na coluna de água. As tilápias são um exemplo de peixes que têm extenso cuidado dos pais, dedicando-se a manter os ninhos e realmente criar os alevinos na boca das fêmeas. Os órgãos reprodutivos dos peixes incluem testículos, que produzem espermatozoides, e ovários, que produzem óvulos. Alguns peixes são hermafroditas, tendo testículos e ovários simultaneamente ou em diferentes fases do ciclo de vida.

Para os fins desta publicação, um peixe médio passará pelos estágios de vida de ovo, larva, alevino, juvenil, peixe adulto (engorda) e maturidade sexual (Figura 7.3). A duração de cada uma dessas etapas depende da espécie. O estágio do ovo é frequentemente bastante breve e geralmente depende da temperatura da água. Durante esta fase, os ovos são delicados e sensíveis a danos físicos. Em condições de cultivo, a água precisa ter concentração de OD adequada, mas a aeração deve ser suave. Procedimentos estéreis e boas práticas de incubação evitam doenças bacterianas e fúngicas em ovos não incubados. Depois de eclodidos, os peixes jovens são chamados de larvas. Esses peixes pequenos são geralmente mal formados, carregam um grande saco vitelino e costumam ser muito diferentes na aparência dos peixes juvenis e adultos. O saco vitelino é usado para alimentação e é absorvido ao longo da fase larval, que também é bastante curta dependendo da temperatura. No final da fase larval, quando o saco vitelino é absorvido e os peixes jovens começam a nadar mais ativamente, passam para a fase de alevinos.

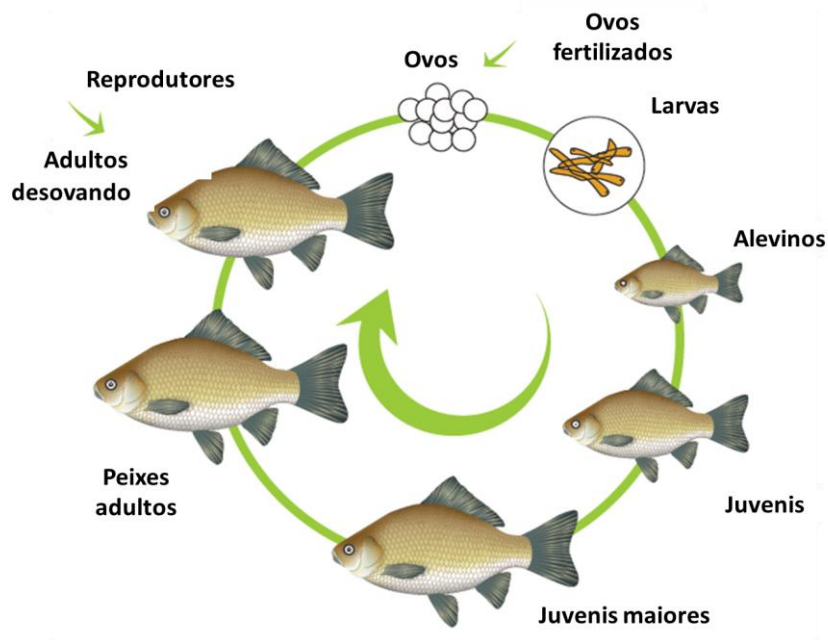


FIGURA 7.3 **Ciclo de vida geral de um peixe**

Na fase de alevinos e juvenis, os peixes começam a ingerir alimentos sólidos. Na natureza, esse alimento é geralmente o plâncton encontrado na coluna de água e algas do substrato. Durante esses estágios, os peixes são comedores vorazes, consumindo cerca de 10 % de seu peso corporal por dia. À medida que os peixes continuam a crescer, a porcentagem do peso corporal dos alimentos reduz diariamente. As demarcações exatas entre alevinos, juvenis e peixes adultos diferem entre as espécies e entre os criadores. Geralmente, alevinos e peixes juvenis precisam ser mantidos separados para evitar que os peixes maiores comam os menores. O estágio de crescimento é aquele no qual a aquaponia normalmente se concentra, porque é quando os peixes estão comendo, crescendo e excretando resíduos para as plantas. A maioria dos peixes é despescada durante a fase de engorda. Se os peixes crescerem além desse estágio, eles começam a atingir a maturidade sexual, onde seu crescimento físico diminui à medida que os peixes dedicam mais energia ao desenvolvimento dos órgãos sexuais. Alguns peixes sexualmente maduros precisam ser mantidos para completar o ciclo durante as operações de reprodução, e esses peixes são chamados de

reprodutores ou matrizes. As tilápias são matrizes excepcionalmente fáceis e podem, de fato, gerar muito para um sistema de pequena escala. Catfish, truta e carpas requerem um manejo mais cuidadoso e pode ser melhor obter os alevinos destes peixes de um fornecedor confiável. Está fora do escopo desta publicação detalhar as técnicas de melhoramento da aquicultura, mas é possível consultar a seção Leitura Adicional para fontes úteis.

7.2 ALIMENTAÇÃO DE PEIXES E NUTRIÇÃO

7.2.1 Componentes da ração para peixes e nutrição

Os peixes requerem o equilíbrio correto de proteínas, carboidratos, gorduras, vitaminas e minerais para crescer e se desenvolverem saudáveis. Este tipo de alimentação é considerado uma alimentação completa. *Pellets* de ração para peixes disponíveis comercialmente são altamente recomendados para aquaponia em pequena escala, especialmente no início. É possível fazer rações para peixes em locais com acesso limitado a rações manufaturadas. No entanto, essas rações caseiras precisam de atenção especial, porque muitas vezes não são alimentos completos e podem carecer de componentes nutricionais essenciais. Mais sobre rações caseiras podem ser encontradas na Seção 9.11 e no Apêndice 5.

A proteína é o componente mais importante para construir a massa corporal dos peixes. Em seu estágio de crescimento, peixes onívoros como tilápia e carpa comum precisam de 25 a 35 % de proteína em sua dieta, enquanto peixes carnívoros precisam de até 45 % de proteína para crescer em níveis ideais. Em geral, peixes mais jovens (alevinos e juvenis) requerem uma dieta mais rica em proteína do que durante o estágio de engorda. As proteínas são a base da estrutura e das enzimas em todos os organismos vivos. As proteínas consistem em aminoácidos, alguns dos quais são sintetizados pelo organismo dos peixes, além de outros que devem ser obtidos a partir dos alimentos. Estes são chamados aminoácidos essenciais. Dos dez aminoácidos essenciais, a metionina e a lisina costumam ser fatores limitantes e precisam ser suplementados em algumas rações à base de vegetais.

Os lipídios são gorduras, moléculas de alta energia necessárias à dieta de um peixe. O óleo de peixe é um componente comum em dietas para peixes. O óleo de peixe é rico em dois tipos especiais de gorduras, ômega-3 e ômega-6, que trazem benefícios à saúde dos humanos. A quantidade desses lipídios saudáveis em peixes de cativeiro depende da ração utilizada.

Os carboidratos consistem em amidos e açúcares. Este componente da ração é um ingrediente barato que aumenta o valor energético da ração. O amido e os açúcares também ajudam a unir os ingredientes para formar um *pellet*. No entanto, os peixes não digerem ou metabolizam os carboidratos muito bem, e grande parte dessa energia pode ser perdida.

Vitaminas e minerais são necessários para a saúde e o crescimento dos peixes. Vitaminas são moléculas orgânicas, sintetizadas por plantas ou industrializadas, que são importantes para o desenvolvimento e o funcionamento do sistema imunológico. Os minerais são elementos inorgânicos. Esses minerais são necessários para que o peixe sintetize seus próprios componentes corporais (ossos), vitaminas e estruturas celulares. Alguns minerais também estão envolvidos na regulação osmótica.

7.2.2 Dietas peletizadas para peixes

Existem vários tamanhos diferentes de *pellets* de ração para peixes, variando de 2 a 10 mm (Figura 7.4). O tamanho recomendado destes *pellets* depende do tamanho do peixe. Alevinos e juvenis têm bocas pequenas e não podem ingerir granulados grandes, enquanto os peixes grandes desperdiçam energia se os *pellets* forem muito pequenos. Se possível, a ração deve ser comprada para cada etapa do ciclo de vida do peixe. Alternativamente, *pellets* grandes podem ser esmagados com um almofariz e pilão para criar pó para alevinos e pedaços menores para os juvenis. Outro método é sempre usar *pellets* de tamanho médio (2-4 mm). Dessa forma, os peixes podem comer o *pellet* do mesmo tamanho desde a fase de alevinagem até a engorda.

FIGURA 7.4 **Exemplo de ração para peixes em *pellets* e pó usado para várias classes de tamanho de peixes**

Os *pellets* de ração para peixes também são projetados para flutuar na superfície ou afundar no fundo do tanque, dependendo dos hábitos alimentares dos peixes. É importante conhecer o comportamento alimentar específico do peixe e fornecer o tipo correto de *pellet*. Os *pellets* flutuantes são vantajosos porque é fácil identificar quanto os peixes estão comendo. Frequentemente, é possível treinar peixes para se alimentarem de acordo com o tipo de ração disponível; entretanto, alguns peixes não mudam sua forma de se alimentar.

A ração deve ser armazenada em local escuro, seco, fresco e seguro. Rações armazenadas em locais úmidos e quentes podem apodrecer, sendo decompostas por bactérias e fungos. Esses microrganismos podem liberar toxinas que são potencialmente perigosas para os peixes; e rações deterioradas nunca devem ser oferecidas aos peixes. A ração para peixes não deve ser armazenada por muito tempo e deve ser comprada fresca e usada imediatamente para conservar a qualidade nutricional, sempre que possível.

Evitando a superalimentação

Os resíduos de ração não consumida nunca devem ser deixados no sistema aquapônico. Os resíduos de ração em casos de fornecimento de ração em excesso são consumidos por bactérias heterotróficas, que, ao mesmo tempo, consomem quantidades substanciais de oxigênio. Além disso, a decomposição dos alimentos pode aumentar a quantidade de amônia e nitrito a níveis tóxicos em um período relativamente curto. Por fim, os *pellets* não consumidos podem obstruir os filtros mecânicos, levando à diminuição do fluxo de água e áreas anóxicas nos tanques. Em geral, os peixes consomem tudo o que precisam de ração em um período de 30

minutos. Após este período de tempo, é necessário retirar as sobras de ração não consumida. Ao observar ração não consumida nos tanques, é importante diminuir a quantidade de ração ofertada na próxima vez. Outras estratégias de alimentação são discutidas na Seção 8.4.

7.2.3 Taxa de conversão alimentar para peixes e taxa de alimentação

A taxa de conversão alimentar (TCA, ou FCR em inglês) descreve a eficiência com que um animal transforma seu alimento em crescimento. Ele responde à questão de quantas unidades de alimento são necessárias para produzir uma unidade animal - a TCA existe para cada animal e oferece uma maneira conveniente de medir a eficiência e os custos de criação desse animal. Os peixes, em geral, possuem uma das melhores TCA. Em boas condições, as tilápias têm uma TCA de 1,4 a 1,8, ou seja, para cultivar uma tilápia de 1 kg, é necessário de 1,4 a 1,8 kg de alimento.

Monitorar a TCA não é tão essencial em aquaponia em pequena escala, mas pode ser útil em algumas circunstâncias. Ao mudar a dieta, por exemplo, vale a pena considerar o quão bem os peixes crescem em relação a quaisquer diferenças de custo entre as rações. Além disso, ao considerar iniciar um pequeno sistema comercial, é necessário calcular a TCA como parte do plano de negócios e/ou análise financeira. Mesmo que não se preocupe com a TCA, é uma boa prática pesar periodicamente uma amostra dos peixes para ter certeza de que estão crescendo bem e para entender o equilíbrio do sistema (Figura 7.5). Isso também fornece uma expectativa da taxa de crescimento mais precisa para o momento da despesca e produção. Como acontece com todo o manuseio de peixes, a pesagem é mais fácil no escuro para evitar estressar os peixes. O Quadro 3 lista etapas simples para pesar peixes. Pesar peixes da mesma idade crescendo no mesmo tanque é geralmente preferível a pesar grupos heterogêneos de peixes porque a medição deve fornecer médias mais confiáveis.

Quadro 3

Passos simples para pesar peixes

1) Encher um pequeno balde (10 L) com água do sistema aquapônico.
2) Pesar o balde com a água em uma balança e registrar o peso (tara).
3) Retirar cinco peixes de tamanho médio com uma rede (puçá), drenar o excesso de água que possa ter acumulado na rede por alguns segundos e colocar os peixes no balde.
4) Pesar novamente e registrar o peso bruto.
5) Calcular o peso total dos peixes subtraindo a 'tara' do peso bruto.
6) Dividir este número por cinco para obter um peso médio para cada peixe.
7) Repetir as etapas 1-6 conforme apropriado. Tentar medir de 10 a 20 % dos peixes (de preferência sem duplicatas) para obter uma média precisa.

Pesagens periódicas darão a taxa média de crescimento dos peixes, que será obtida subtraindo o peso médio dos peixes, calculado acima, em dois períodos.

A TCA é obtida dividindo o total de alimento consumido pelos peixes pelo crescimento total durante um determinado período, com ambos os valores expressos na mesma unidade de peso (ou seja, quilograma, grama).

Ração total / Crescimento total = TCA

O total de ração pode ser obtido somando toda a quantidade registrada de ração consumida a cada dia. O crescimento total pode ser calculado simplesmente multiplicando a taxa média de crescimento pelo número de peixes estocados no tanque.

No estágio de crescimento (engorda), a taxa de alimentação para a maioria dos peixes em cativeiro (conforme discutido nesta publicação) é de 1 a 2 % de seu peso corporal ao dia. Em média, um peixe de 100 g consome de 1 a 2 g de ração peletizada por dia. É importante monitorar esta taxa de alimentação ao mesmo tempo em que a TCA para determinar as taxas de crescimento e o apetite dos peixes e para ajudar a manter o equilíbrio geral do sistema.

FIGURA 7.5 **Pesando uma amostra de peixe usando uma balança**

7.3 QUALIDADE DA ÁGUA PARA PEIXES

O Capítulo 2 discutiu a qualidade da água para aquaponia. Aqui, os parâmetros de qualidade da água mais importantes são listados novamente e resumidos na Tabela 7.1.

7.3.1 Nitrogênio

A amônia e o nitrito são extremamente tóxicos para os peixes e às vezes chamados de ‘assassinos invisíveis’. Amônia e nitrito são considerados tóxicos acima dos níveis de 1 mg/L, embora qualquer nível desses compostos contribua para o estresse dos peixes e efeitos adversos à saúde dos animais. Os níveis detectáveis de ambos em um sistema aquapônico maduro devem ser próximos a zero. O biofiltro é inteiramente responsável por transformar esses produtos químicos tóxicos em uma forma menos tóxica (nitrato). Quaisquer níveis detectáveis indicam que o sistema está desequilibrado com um biofiltro subdimensionado ou que o biofiltro não está funcionando corretamente. A amônia é mais tóxica em condições básicas quentes; se o pH estiver alto, qualquer quantidade detectável de amônia é especialmente perigosa. Os testes de água para amônia são chamados de nitrogênio amoniacal total (NAT), e teste para ambos os tipos de amônia (ionizada e não ionizada). Os sintomas de intoxicação por amônia e nitrito são frequentemente vistos como estrias vermelhas no corpo do peixe, brânquias e olhos, animais raspando o corpo nas laterais do tanque, ‘boqueando’ a superfície da água, letargia e morte. O nitrato, por outro lado, é muito

menos tóxico para a maioria dos peixes. A maioria das espécies é capaz de tolerar níveis de mais de 400 mg/L.

7.3.2 pH

Os peixes podem tolerar uma faixa bastante ampla de pH, mas se dão melhor em níveis de 6,5 a 8,5. Mudanças substanciais no pH em curtos períodos (mudanças de 0,3 em um período de 12 a 24 h) podem ser problemáticas ou mesmo letais para os peixes. Portanto, é importante manter o pH estável o máximo possível. O tamponamento com carbonato é recomendado para evitar grandes oscilações de pH.

7.3.3 Oxigênio dissolvido

Em geral, o máximo de oxigênio dissolvido (OD) possível deve ser adicionado ao sistema aquapônico. Na prática, a maioria dos peixes requer de 4 a 5 mg/L. A maioria dos produtores domésticos não têm a capacidade de verificar o nível de oxigênio em suas unidades porque os medidores de oxigênio digitais são caros e os kits de teste de aquário mais baratos não estão amplamente disponíveis. Mesmo assim, seguir essas recomendações garante níveis adequados de OD. Não estocar peixes em excesso e abster-se de adicionar mais de 20 kg de peixes por 1.000 L de água (volume total). O fluxo dinâmico de água, com água em cascata caindo de volta no sistema, ajuda a arejar a água e incorporar OD. Bombas de ar, sempre que possível, devem ser usadas. A taxa sugerida é de cinco a oito litros de ar por minuto para cada metro cúbico de água, proveniente de pelo menos dois pontos de ar (p. ex. pedras porosas), em locais diferentes no tanque de peixes. Unidades densamente estocadas podem exigir muito mais. Certifique-se de que a água não seja agitada com muita força ou de uma forma que atrapalhe a natação dos peixes.

Um sinal claro de falta de oxigênio é quando os peixes estão com aparência ofegante na superfície. Este comportamento, também chamado de ‘boquear’ a superfície, ocorre quando os peixes nadam perto da superfície da água e levam o ar para a boca. Esta é uma situação de emergência que requer atenção imediata. Os sistemas de aeração de reserva são um recurso valioso para um sistema aquapônico e podem ser usados durante quedas de energia e falhas de equipamento; backups de bateria simples (*nobreaks*) e geradores para bombas de ar possibilitam a sobrevivência dos peixes em situações críticas.

7.3.4 Temperatura

Os peixes são de sangue frio e, portanto, sua capacidade de se ajustar a uma ampla gama de temperaturas da água é baixa. Uma temperatura constante dentro da faixa de tolerância correta mantém os peixes em suas condições ideais e auxilia no crescimento rápido e na TCA eficiente. Além disso, as temperaturas ideais (e, portanto, menos estressantes aos peixes) reduzem o risco de doenças. Isolamento térmico, aquecedores de água e resfriadores ajudam a atingir um nível de temperatura constante, embora possam ter custo elevado em áreas onde a energia é cara, sendo o ideal criar peixes adaptados às condições ambientais locais. Cada peixe possui uma faixa ótima de temperatura que deve ser pesquisada pelo produtor. Geralmente, os peixes tropicais se desenvolvem bem em temperaturas de 22 a 32 °C, enquanto os peixes de água fria preferem 10 a 18 °C. Enquanto isso, alguns peixes de águas temperadas têm ampla variação, por exemplo, a carpa comum e o Largemouth bass podem tolerar de 5 a 30 °C.

7.3.5 Luminosidade

O nível de luz no tanque de peixes deve ser reduzido para evitar o crescimento de algas. No entanto, não deve estar completamente escuro, pois os peixes sentem medo e estresse quando um tanque completamente escuro é descoberto e exposto à luz de forma repentina. A condição ideal é com luz natural indireta por meio de sombreamento, o que evita o crescimento de algas e o estresse dos peixes. Também é recomendado manusear, classificar ou despescar peixes no escuro para reduzir ao mínimo o estresse dos peixes.

TABELA 7.1
Parâmetros de qualidade da água, requerimento protéico e taxas de crescimento esperadas para sete espécies aquáticas usadas comercialmente em aquaponia

Espécie	Temperatura (°C)		Amônia total - N (mg/L)	Nitrito (mg/L)	OD (mg/L)	PB ração (%)	Taxa de crescimento - Fase de crescimento
	vital	ótima					
Carpa comum *Cyprinus carpio*	4-34	25-30	< 1,0	< 1,0	> 4,0	30-38	600 g em 9-11 meses
Tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus*	14-36	27-30	< 2,0	< 1,0	> 4,0	28-32	600 g em 6-8 meses
Catfish do canal *Ictalurus punctatus*	5-34	24-30	< 1,0	< 1,0	> 3,0	25-36	400 g em 9-10 meses
Truta arco-íris *Oncorhynchus mykiss*	10-18	14-16	< 0,5	< 0,3	> 6,0	42	1.000 g em 14-16 meses
Tainha *Mugil cephalus*	8-32	20-27	< 1,0	< 1,0	> 4,0	30-34	750 g em 9-11 meses
Camarão gigante *Macrobrachium rosenbergii*	17-34	26-32	< 0,5	< 2,0	> 3,0	35	30 g em 4-5 meses
Barramundi *Lates calcarifer*	18-34	26-29	< 1,0	< 1,0	> 4,0	38-45	400 g em 9-10 meses

Notas: OD = oxigênio dissolvido. PB = proteína bruta.

7.4 SELEÇÃO DE PEIXES

Várias espécies de peixes registraram excelentes taxas de crescimento em unidades aquapônicas. As espécies de peixes adequadas para a aquaponia incluem: tilápia, carpa comum, carpa prateada, carpa capim, barramundi, perca-jade, bagre, truta, salmão, bacalhau de Murray e Largemouth bass. Algumas dessas espécies, que estão disponíveis em todo o mundo, crescem particularmente bem em unidades aquapônicas e são discutidas em mais detalhes nas seções seguintes. No planejamento de uma instalação aquapônica, é fundamental avaliar a importância da disponibilidade de peixes saudáveis de fornecedores locais confiáveis.

Alguns peixes cultivados foram introduzidos em áreas fora de seu habitat natural, como a tilápia e várias espécies de carpas e bagres. Muitas dessas introduções foram por meio da aquicultura. Também é importante estar ciente dos regulamentos locais que regem a importação de qualquer nova espécie. Espécies exóticas (ou seja, não nativas) nunca devem ser liberadas em corpos d'água locais. Extensionistas locais devem ser contatados para obter mais informações sobre espécies invasoras e espécies nativas adequadas para cultivo.

[NT: Atividades de aquicultura e/ou uso de algumas espécies eventualmente necessitam licenciamento; verificar junto aos órgãos competentes em sua região].

7.4.1 Tilápia

Principais tipos comerciais:

Tilápia azul (*Oreochromis aureus*)
Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)
Tilápia moçambicana (*Oreochromis mossambicus*)
Vários híbridos combinando essas três espécies.

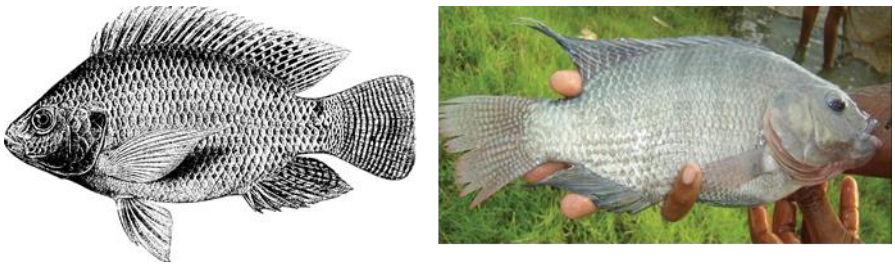


FIGURA 7.6 **Desenho e fotografia de uma tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)**

Descrição

Nativas da África Oriental, as tilápias são uma das espécies de peixes de água doce mais popular para crescer em sistemas de aquicultura em todo o mundo (Figura 7.6). Elas são resistentes a muitos patógenos e parasitas e lidam bem com o estresse, além de tolerar uma ampla gama de condições de qualidade da água, embora se saiam melhor em temperaturas quentes. Embora as tilápias tolerem brevemente temperaturas extremas de 14 e 36 °C, elas não se alimentam ou crescem abaixo de 17 °C e morrem abaixo de 12 °C. A faixa ideal é 27 a 30 °C, o que garante boas taxas de crescimento. Portanto, em climas temperados, as tilápias podem não ser apropriadas para o inverno, a menos que a água seja aquecida. Um método alternativo para climas frios é criar várias espécies ao longo do ano, criando tilápias durante as estações mais quentes e mudando para carpas ou trutas durante o inverno. Em condições ideais, as tilápias

podem crescer do tamanho de juvenis (50 g) até a maturidade (500 g) em cerca de seis meses.

Tilápias são peixes onívoros, o que significa que consomem tanto ração à base de plantas como de animais. As tilápias são candidatas a muitos alimentos alternativos, discutidos na Seção 9.1.2. As tilápias têm sido alimentadas com lentilha d'água, *Azolla* spp., *Moringa oleifera* e outras plantas com alto teor de proteína, mas deve ser tomado cuidado para garantir um alimento completo (ou seja, nutricionalmente completo). As tilápias podem se alimentar de outros peixes, especialmente seus próprios filhotes; durante a reprodução, a tilápia deve ser separada por tamanho. As tilápias com menos de 15 cm consomem peixes menores, embora quando maiores que 15 cm sejam geralmente muito lentas e deixem de ser um problema.

As tilápias são fáceis de reproduzir em sistemas aquapônicos de pequena e média escala. Mais informações estão disponíveis na seção Leitura Adicional, mas uma breve discussão é descrita abaixo. Um método indicado é usar um grande sistema aquapônico para o estágio de engorda, e dois tanques menores separados podem ser usados para abrigar os reprodutores e os juvenis. Pequenos sistemas aquapônicos separados podem ser usados para gerenciar a qualidade da água nesses dois tanques, mas podem não ser necessários com uma baixa densidade de estocagem. Os peixes reprodutores são adultos selecionados manualmente que não são despescados e são escolhidos como espécimes saudáveis para reprodução. As tilápias se reproduzem facilmente, especialmente onde a água é quente, oxigenada (aerada), cheia de algas e sombreada, e em um ambiente calmo e silencioso. O substrato rochoso na parte inferior incentiva a construção do ninho. A proporção ideal de machos para fêmeas também incentiva a reprodução; frequentemente, dois machos são colocados com seis a dez fêmeas para iniciar a desova. Ovos e alevinos de tilápia são vistos na boca das fêmeas ou nadando na superfície. Estes alevinos podem ser transferidos para tanques de criação de juvenis, garantindo que não haja alevinos maiores que os comam, e crescidos até que sejam grandes o suficiente para entrar nos tanques de cultivo principais.

As tilápias podem ser agressivas, especialmente em baixas densidades, porque os machos são territorialistas. Portanto, os peixes devem ser mantidos em altas densidades nos tanques de crescimento. Algumas criações só usam peixes machos nos tanques de crescimento; cultivos realizados só com machos da mesma idade ficam maiores e em um tempo menor, porque os machos não desviam energia no desenvolvimento dos ovários e não param de se alimentar quando desovam os ovos como as fêmeas fazem. Além disso, a taxa de crescimento em tanques formados exclusivamente por machos não é reduzida pela competição por comida de alevinos e juvenis, que são produzidos continuamente se machos e fêmeas sexualmente maduros continuarem crescendo juntos. A tilápia masculina monosexo pode ser obtida por meio de tratamento hormonal ou sexagem manual de alevinos. No primeiro caso, os alevinos são alimentados com ração enriquecida com testosterona durante as primeiras três semanas de vida. Altos níveis do hormônio no sangue causam uma reversão sexual nas fêmeas. Esta técnica, amplamente utilizada na Ásia e na América, mas não na Europa (devido a regulamentações diferentes), permite aos produtores estocar tilápias machos do mesmo tamanho em tanques, a fim de evitar quaisquer problemas de desova e redução de crescimento pela competição alimentar de juvenis mais novos.

A sexagem manual consiste simplesmente em separar os machos das fêmeas observando sua papila genital quando os peixes têm cerca de 40 g ou mais. O processo de identificação é bastante direto. Na região da papila urogenital, os machos têm apenas uma única abertura, enquanto as fêmeas têm duas fendas. A papila urogenital

da fêmea é mais em forma de ‘C’, enquanto nos machos a papila é mais triangular. À medida que os peixes crescem, as características secundárias podem ajudar a identificar os machos das fêmeas. Os peixes machos têm cabeças maiores com uma região da testa mais pronunciada, uma corcunda e características mais quadradas. As fêmeas são mais esguias e têm cabeças menores. Além disso, o comportamento do peixe pode indicar o sexo porque os machos perseguem outros machos e, em seguida, cortejam as fêmeas. A sexagem manual pode ser realizada com um pequeno número de peixes, pois não leva muito tempo. No entanto, esta técnica pode não ser prática em sistemas de grande escala devido ao grande número de peixes sendo criados. No entanto, a tilápia mista pode ser criada em tanques até que os peixes atinjam a maturidade sexual aos cinco meses de idade. Embora as fêmeas tenham um desempenho relativamente baixo, elas ainda não causam problemas com a desova e podem ser despescadas em um estágio anterior (200 g ou mais), permitindo que os machos cresçam ainda mais.

7.4.2 Carpa

Principais tipos comerciais:

Carpa comum (*Cyprinus carpio*)
Carpa prateada (*Hypophthalmichthys molitrix*)
Carpa capim (*Ctenopharyngodon idella*)

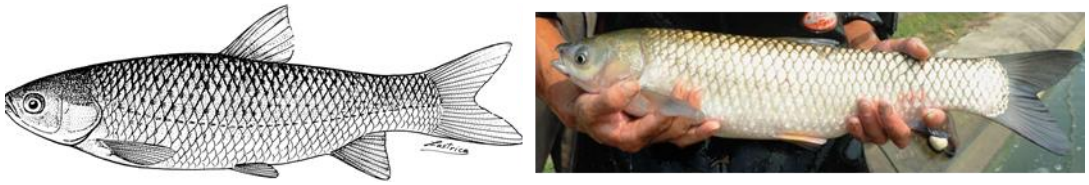


FIGURA 7.7 **Desenho e fotografia de uma carpa capim (*Ctenopharyngodon idella*)**

Descrição

Nativas da Europa oriental e da Ásia, as carpas são atualmente as espécies de peixes mais criadas em todo o mundo (Figura 7.7). A carpa, como a tilápia, é tolerante a níveis relativamente baixos de OD e baixa qualidade da água, mas tem uma faixa de tolerância muito maior para a temperatura da água. A carpa pode sobreviver a temperaturas tão baixas quanto 4 °C e tão altas quanto 34 °C, tornando-as uma escolha ideal para aquaponia em regiões temperadas e tropicais. As melhores taxas de crescimento são obtidas quando as temperaturas estão entre 25 °C e 30 °C. Nessas condições, podem crescer desde o alevino até o tamanho da despesca (500-600 g) em menos de um ano (10 meses). As taxas de crescimento diminuem dramaticamente com temperaturas abaixo de 12 °C. As carpas machos são menores do que as fêmeas, mas ainda podem crescer até 40 kg e 1,0 a 1,2 m de comprimento na natureza.

No ambiente, as carpas são peixes onívoros que se alimentam no fundo e consomem uma grande variedade de alimentos. Elas têm preferência por se alimentar de invertebrados como insetos aquáticos, larvas de insetos, vermes, moluscos e zooplâncton. Algumas espécies de carpas herbívoras também ingerem os caules, folhas e sementes de plantas aquáticas e terrestres, bem como de vegetação em decomposição. A carpa criada em cativeiro pode ser facilmente treinada para comer ração peletizada flutuante.

Os alevinos de carpa são melhor obtidos em larviculturas e instalações dedicadas à reprodução. O procedimento para obter juvenis é mais complicado do que

a tilápia porque a desova em carpas fêmeas é induzida por injeção de hormônio, uma técnica que requer conhecimento adicional da fisiologia dos peixes e experiência.

As carpas podem ser facilmente mantidas em policultivo, e isso tem sido feito há séculos. Consiste principalmente na criação de peixes herbívoros (carpa capim), peixes planctívoros (carpa prateada) e peixes onívoros/detritívoros (carpa comum) em conjunto para cobrir todos os nichos alimentares. Na aquaponia, a combinação dessas três espécies, ou pelo menos da carpa capim junto à carpa comum, resultaria em um melhor aproveitamento dos alimentos nos tanques, já que a primeira se alimentaria tanto de *pellets* quanto de resíduos da colheita dos vegetais, enquanto a segunda também buscaria resíduos que se acumulam no fundo do tanque. O fornecimento de raízes, entre outros resíduos da colheita, seria também extremamente benéfico para o *pool* de nutrientes no sistema aquapônico, porque sua digestão pelos peixes e a sucessiva mineralização de resíduos permitiria que a maioria dos micronutrientes retornasse de volta para as plantas.

Outras espécies de carpas (peixes ornamentais)

As carpas de ouro ou *Koi* são produzidas principalmente para a indústria de peixes ornamentais, em vez de peixes para alimentação (Figura 7.8). Esses peixes também têm uma alta tolerância a uma variedade de condições da água e, portanto, são bons candidatos para um sistema aquapônico. Eles podem ser vendidos para particulares e lojas de aquariofilia por maior preço do que o peixe vendido como alimento. Carpas *Koi* e outros peixes ornamentais são uma escolha popular para os produtores aquapônicos vegetarianos.

Além das características climáticas e questões de manejo de peixes, a escolha de uma espécie de carpa a ser cultivada em aquaponia deve seguir uma análise de custo-benefício que leva em consideração a conveniência de criar um peixe com maior estrutura óssea e que geralmente tem preços de mercado mais baixos do que outras espécies.

FIGURA 7.8 **Peixes ornamentais (*Cyprinus carpio*) no sistema aquapônico**

7.4.3 Catfish (Peixe-gato)

Principais tipos comerciais:

Peixe gato do canal/Catfish do canal (*Ictalurus punctatus*)

Bagre africano (*Clarias gariepinus*)

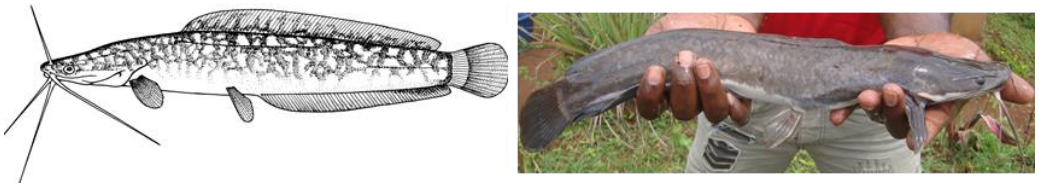


FIGURA 7.9 **Desenho e fotografia de um bagre africano (*Clarias gariepinus*)**

Descrição

Os bagres são um grupo extremamente resistente de peixes, tolerando grandes variações de OD, temperatura e pH (Figura 7.9). Eles também são resistentes a muitas doenças e parasitas, o que os torna ideais para a aquicultura. O catfish pode ser facilmente armazenado em densidades muito altas, até 150 kg/m^3. Essas densidades de estocagem requerem filtração mecânica abrangente e remoção de sólidos além do discutido nesta publicação. O bagre africano é uma das muitas espécies da família Clariidae. Essas espécies respiram ar, o que as torna ideais para aquicultura e aquaponia, pois uma queda repentina e dramática no OD não resultaria na mortalidade dos peixes. Os bagres são as espécies mais fáceis para iniciantes ou para aquaponistas que desejam criar peixes em áreas onde o fornecimento de eletricidade não é confiável. Dada a alta tolerância a baixos níveis de OD e altos níveis de amônia, o bagre pode ser armazenado em densidades mais altas, desde que haja filtração mecânica adequada. Em relação ao gerenciamento de resíduos, é importante destacar que os resíduos sólidos em suspensão produzidos pelo bagre são menos volumosos e mais dissolvidos que o da tilápia, fator que facilita uma maior mineralização. Como a tilápia, o bagre cresce melhor em água quente e prefere uma temperatura de 26 °C; mas no caso do bagre africano o crescimento cessa abaixo de 20-22 °C. A fisiologia do bagre é diferente de outros peixes, pois podem tolerar altos níveis de amônia, mas, de acordo com a literatura recente, concentrações de nitrato acima de 100 mg/L podem reduzir o apetite devido a um controle regulatório interno desencadeado por níveis elevados de nitrato em seu sangue.

Os bagres são peixes bentônicos, o que significa que ocupam apenas a parte inferior do tanque. Isso pode causar dificuldades em criá-los em altas densidades, pois eles não se espalham pela coluna d'água. Em tanques superlotados, os bagres podem se machucar com os espinhos. Na criação de bagres, uma opção é usar um tanque com maior espaço horizontal do que vertical, permitindo assim que os peixes se espalhem pelo fundo. Como alternativa, muitos produtores criam bagres com outras espécies de peixes que utilizam a parte superior do tanque, que poderia ser tilápia. O catfish pode ser treinado para comer *pellets* flutuantes de ração.

7.4.4 Truta

Principal tipo comercial:

Truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*)

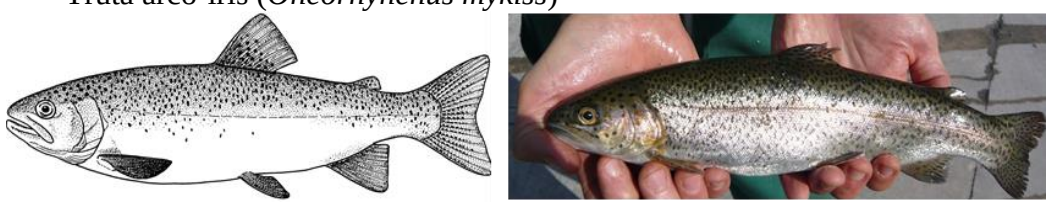


FIGURA 7.10 **Desenho e fotografia de uma truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*)**

Descrição

A truta é um peixe carnívoro de água fria que pertence à família dos salmões (Figura 7.10). Todas as trutas requerem água mais fria do que as outras espécies mencionadas anteriormente, preferindo 10 a 18 °C com uma temperatura ótima de 15 °C. As trutas são ideais para aquaponia em regiões de clima Nórdico ou temperado, especialmente no inverno. Taxas de crescimento tendem a diminuir significativamente à medida que as temperaturas aumentam acima de 21 °C; acima disso, a truta pode não ser capaz de utilizar corretamente o OD, mesmo se disponível. A truta requer uma dieta rica em proteínas em comparação com a carpa e a tilápia, o que significa maiores quantidades de nitrogênio no *pool* geral de nutrientes por unidade de ração adicionada. Esta ocorrência permite mais áreas cultiváveis de hortaliças folhosas, mantendo uma unidade aquapônica equilibrada. A truta tem uma tolerância muito alta à salinidade e muitas variedades podem sobreviver em água doce, água salobra e em ambientes marinhos. No geral, a truta requer melhor qualidade de água do que a tilápia ou a carpa, principalmente no que diz respeito à OD e amônia. A aquicultura bem-sucedida de trutas também requer monitoramento frequente da qualidade da água, bem como sistemas de *backup* de energia (*nobreaks*/geradores) para bombas de ar e água.

A truta arco-íris é a espécie mais comum de truta criada em sistemas de aquicultura nos Estados Unidos da América e Canadá e em gaiolas marinhas ou tanques e lagoas de escoamento no centro ou norte da Europa (Noruega, Escócia [Reino Unido]), em partes de América do Sul (Chile, Peru), em muitas áreas de planalto na África tropical e subtropical e na Ásia (Irã, Nepal, Japão) e Austrália. A truta arco-íris é um peixe comprido, delgado e sem escamas, geralmente azul-esverdeado e manchado no topo com uma faixa vermelha nas laterais. A truta também é cultivada e lançada em riachos e lagos para complementar a pesca esportiva [NT: em países onde esta prática é permitida].

As trutas requerem uma dieta rica em proteínas com uma quantidade substancial de gorduras. A truta é considerada um ‘peixe oleoso’, uma descrição nutricional que indica grande quantidade de vitamina A, vitamina D e ácido graxo ômega-3, sendo uma excelente opção para criação para consumo doméstico. A truta tem preço mais alto em alguns mercados pelo mesmo motivo, mas exige dietas relativamente ricas em óleo de peixe.

7.4.5 Largemouth bass

Principal tipo comercial:

Largemouth bass (*Micropterus salmoides*)

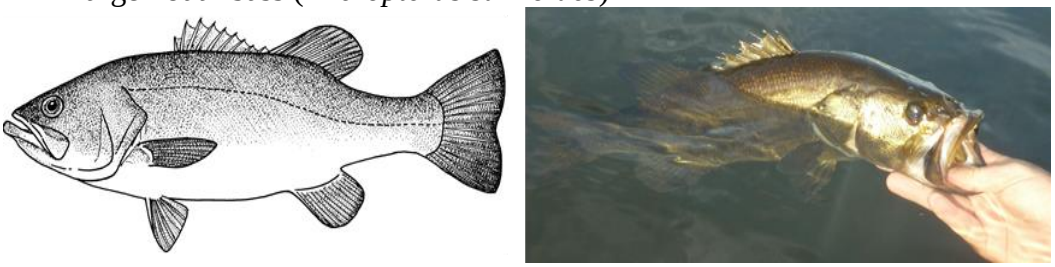


FIGURA 7.11 **Desenho e fotografia de um Largemouth bass (*Micropterus salmoides*)**

Descrição

O Largemouth bass, também conhecido por ‘black bass’ ou achigã, é uma espécie nativa da América do Norte, mas está amplamente espalhada por todo o

mundo, ocorrendo em muitos corpos d'água e lagoas (Figura 7.11). Eles pertencem à ordem Perciformes (peixes parecidos com percas), que também inclui diferentes espécies de robalos e muitos outros.

O Largemouth bass tolera uma ampla faixa de temperatura, pois o crescimento só cessa a menos de 10 °C ou mais de 36 °C; eles cessarão a alimentação em temperaturas abaixo de 10 °C. As temperaturas ideais de crescimento estão na faixa de 24-30 °C para todos os estágios dos peixes. Eles toleram OD e pH baixos, embora para uma boa TCA o OD ideal seja acima de 4 mg/L.

Largemouth bass prefere água limpa com uma concentração de sólidos em suspensão inferior a 25 mg/L, embora tenha sido observado crescimento em tanques com turbidez de até 100 mg/L. Tal como acontece com a truta, o Largemouth bass é um peixe carnívoro, exigindo dietas ricas em proteínas; portanto, as coortes devem ser separadas por tamanho para evitar a predação de alevinos e juvenis muito pequenos por peixes maiores. As taxas de crescimento são altamente dependentes da temperatura e da qualidade da alimentação; em climas temperados, a maior parte do crescimento é obtida durante as estações mais quentes (final da primavera, verão e início do outono). Dada sua alta tolerância ao OD, bem como boa resistência a altos níveis de nitrito, Largemouth bass é uma excelente escolha para produtores aquapônicos, particularmente para aqueles que não podem mudar de espécie entre as estações frias e quentes. Têm sido realizadas tentativas de cultivo desta espécie em policultivo com tilápia. Do ponto de vista nutricional, o Largemouth bass, também chamado de achigã, contém níveis relativamente altos de ácidos graxos ômega-3 em comparação com outros peixes de água doce.

7.4.6 Camarões

Principal tipo comercial:

Camarão gigante da Malásia (*Macrobrachium rosenbergii*)

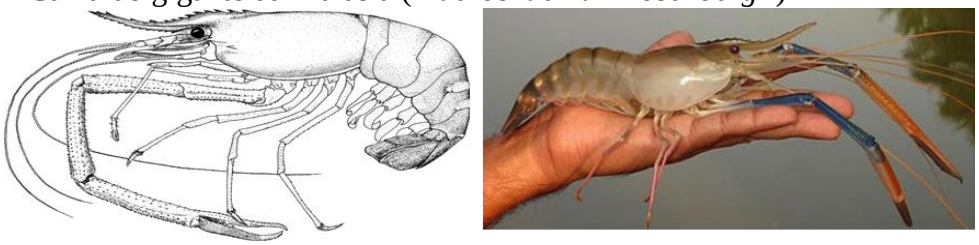


FIGURA 7.12 **Desenho e fotografia de um camarão gigante da Malásia (*Macrobrachium rosenbergii*)**

Descrição

O termo camarão refere-se a um grupo muito diversificado de crustáceos decápodes com olhos pedunculados, abdômen muscular longo e estreito, antena longa e pernas delgadas (Figura 7.12). Eles podem ser encontrados alimentando-se no fundo da maioria das costas e estuários, bem como em sistemas de água doce. Costumam viver de um a sete anos, e a maioria das espécies são onívoras. Camarão comumente se refere a espécies de água salgada e de água doce.

Camarões podem ser um ótimo complemento para um sistema aquapônico. Eles podem se alimentar de sobras de ração não consumidas pelos peixes, dos resíduos dos peixes e qualquer material orgânico que encontrar na água ou no fundo. Como tal, ajudam a limpar e manter a saúde do sistema e aceleram a decomposição da matéria orgânica. É aconselhável criar camarões e peixes de ‘meia-água’ simultaneamente em um sistema aquapônico, pois os camarões não podem ser cultivados em densidades

altas o suficiente para produzir resíduos adequados para as plantas. Os camarões são muito territorialistas, por isso precisam de uma alocação substancial de espaço lateral; a área da superfície horizontal determina o número de indivíduos que podem ser elevados, embora as camadas de rede empilhadas possam aumentar a área da superfície e aumentar a quantidade. Alguns sistemas de policultivo com tilápia foram testados com vários graus de sucesso, embora o número de indivíduos que podem ser estocados seja baixo. A maioria dos camarões têm necessidades semelhantes, que incluem água dura, temperaturas quentes (24-31 °C) e boa qualidade da água, mas as condições devem ser ajustadas para as espécies cultivadas em particular.

Em condições ideais, os camarões têm um ciclo de crescimento de quatro meses, o que significa que é teoricamente possível cultivar três safras por ano. As pós-larvas de camarão precisam ser compradas de uma larvicultura. O ciclo larval dos camarões é bastante complexo, exigindo um monitoramento cuidadoso da qualidade da água e alimentação especial. Embora seja possível em pequena escala, a criação de camarões só é recomendada para especialistas. Como eles podem comer as raízes das plantas, os camarões devem ser cultivados apenas nos tanques de peixes.

7.5 ACLIMATAÇÃO DE PEIXES

A aclimatação dos peixes em novos tanques pode ser um processo altamente estressante para os peixes, particularmente o transporte de um local para outro em sacos ou pequenos tanques (Figura 7.13). É importante tentar remover o máximo possível de fatores estressantes que podem causar mortalidade em novos peixes. Existem dois fatores principais que causam estresse ao aclimatar os peixes: mudanças na temperatura e no pH entre a água original e a nova; estes devem ser reduzidos ao mínimo.

Idealmente, o pH da água de cultivo e da água de transporte deve ser testado. Se os valores de pH diferirem mais de 0,5, os peixes precisarão de pelo menos 24 horas para se ajustar. Mantenha os peixes em um pequeno tanque aerado com sua água original e adicione lentamente a água do novo tanque ao longo de um dia. Mesmo que os valores de pH dos dois ambientes sejam bastante próximos, os peixes ainda precisam se aclimatar. O melhor método para fazer isso é permitir que a temperatura se equilibre lentamente, flutuando os sacos de transporte lacrados contendo os peixes na água de cultivo. Isso deve ser feito por pelo menos 15 minutos. Neste momento, pequenas quantidades de água de cultivo devem ser adicionadas à água de transporte dos peixes, misturando as duas águas (de cultivo e de transporte) aos poucos. Novamente, isso deve levar pelo menos 15 min para aclimatar lentamente os peixes. Finalmente, os peixes podem ser adicionados ao novo tanque.

FIGURA 7.13 **Aclimatação de peixes. Os peixes juvenis são transportados em um saco plástico (A) que flutua no tanque receptor por um tempo (B) e posteriormente os peixes são liberados no tanque (C)**

7.6 SAÚDE E DOENÇAS DOS PEIXES

A forma mais importante de manter peixes saudáveis em qualquer sistema de aquicultura é monitorá-los e observá-los diariamente, observando seu comportamento e aparência física. Adquirir alevinos de boa procedência e saudáveis é fundamental. Normalmente, os peixes devem ser observados antes, durante e após a alimentação. Manter uma alimentação adequada com rações de boa qualidade e armazenamento, além de uma boa qualidade da água, incluindo todos os parâmetros discutidos acima, torna os peixes mais resistentes a parasitas e doenças, permitindo que o sistema imunológico natural dos peixes lute contra infecções. Esta seção discute brevemente os principais aspectos da saúde dos peixes, incluindo métodos práticos para identificar peixes não saudáveis e prevenir doenças dos peixes. Esses aspectos principais são:

- Observar o comportamento e a aparência dos peixes diariamente, notando quaisquer alterações.
- Compreender os sinais e sintomas de estresse, doenças e parasitas.
- Manter um ambiente de baixo estresse, com qualidade de água boa e consistente, específico para a espécie.
- Manter a densidade de estocagem recomendada, assim como as taxas de alimentação.

7.6.1 Saúde e bem-estar dos peixes

O principal indicador do bem-estar dos peixes é o seu comportamento. Para manter os peixes saudáveis, é importante reconhecer o comportamento dos peixes saudáveis, bem como os sinais de estresse, doenças e parasitas. A melhor época para observar os peixes é durante sua alimentação diária, antes e depois de adicionar a ração, e observando a quantidade de ração ingerida. Peixes saudáveis exibem o seguinte comportamento:

- As nadadeiras são estendidas, as caudas são retas.
- Nadam em padrões normais, sem letargia. No entanto, os bagres costumam dormir no fundo até acordarem e começarem a se alimentar.
- Forte apetite e não se intimidando na presença do alimentador.
- Sem marcas ao longo do corpo. Sem manchas, estrias ou linhas descoloridas.
- Sem fricção ou raspagem nas laterais do tanque.
- Sem respirar o ar da superfície.
- Olhos claros e brilhantes.

7.6.2 Estresse

O estresse foi mencionado várias vezes ao longo desta publicação e merece atenção especial aqui. Geralmente, o estresse é uma resposta fisiológica dos peixes quando vivem em condições aquém das ideais. Excesso de estoque, temperaturas ou pH incorretos, baixo OD e alimentação inadequada causam estresse (Tabela 7.2). Os corpos dos peixes têm que trabalhar mais para superar essas más condições, resultando em um sistema imunológico deprimido. Com um sistema imunológico deprimido, a capacidade dos peixes de curar e evitar doenças é reduzida. O estresse pode ser medido em peixes monitorando certos hormônios. O estresse é um estado geral de ser, e o estresse por si só não mata os peixes. No entanto, se os peixes ficarem estressados por um longo período, eles inevitavelmente desenvolverão doenças de várias bactérias,

fungos e/ou parasitas. Evite o estresse sempre que possível e perceba que vários fatores podem contribuir para o estresse ao mesmo tempo.

TABELA 7.2
Causas e sintomas de estresse em peixes

Causas do estresse	**Sintomas do estresse**
Temperatura fora da faixa ou mudanças rápidas de temperatura	Redução do apetite
pH fora da faixa ou mudanças rápidas de pH (mais de 0,3/dia)	Comportamento de natação incomum, descansando na superfície ou no fundo
Amônia, nitrito ou toxinas presentes em níveis elevados	Esfregar ou raspar as laterais do tanque, tubulações em superfície, manchas vermelhas e estrias
O oxigênio dissolvido é muito baixo	'Boqueamento' na superfície
Desnutrição e/ou superlotação	As nadadeiras estão 'coladas' ao corpo, lesões físicas
Má qualidade da água	Respiração acelerada/hiperventilação
Manuseio inadequado de peixes, ruído ou distúrbios leves	Comportamento errático
Intimidação ou importunação por outros peixes	Lesões físicas

7.6.3 Doenças em peixes

A doença é sempre resultado de um desequilíbrio entre os peixes, o patógeno/agente causador e o meio ambiente. Fraqueza no animal e uma maior incidência do patógeno em certas condições causam doenças. Boas práticas de manejo de peixes que fortaleçam o sistema de defesa do animal são as principais ações para garantir um estoque saudável. Portanto, o controle ambiental adequado é igualmente essencial para evitar o estresse nos peixes e reduzir a incidência de patógenos.

As doenças são causadas por fatores abióticos e bióticos. Nos capítulos anteriores, os parâmetros de qualidade da água já foram apontados como fatores determinantes para evitar distúrbios metabólicos e mortalidade. Além disso, o controle das condições climáticas, bem como de contaminantes, pode compensar muitas infecções oportunistas e toxicidade. As características de ambiente limitado dos sistemas de recirculação tornam os sistemas aquapônicos menos propensos à introdução de patógenos e surtos de doenças devido ao melhor controle dos insumos e ao gerenciamento dos principais parâmetros hídricos e ambientais. No caso de entrada de água de corpos d'água, a simples adoção de filtração lenta com areia pode proteger o sistema aquapônico de qualquer possível introdução de parasitas ou bactérias. Da mesma forma, a eliminação de caramujos e pequenos crustáceos, além de evitar o acesso ou a contaminação de animais e pássaros, pode ajudar a amenizar os problemas de parasitas e também de possível contaminação bacteriana.

Os três principais grupos de patógenos que causam doenças em peixes são fungos, bactérias e parasitas. Todos esses patógenos podem facilmente entrar em um sistema de aquicultura vindos do meio ambiente, ao adicionar novos peixes ou água, ou podem ter existido anteriormente na unidade. A prevenção é, de longe, a melhor maneira de prevenir doenças em peixes. A observação diária de peixes e o

monitoramento de doenças permitem que a doença, se presente, seja tratada rapidamente para evitar que mais peixes sejam infectados (Figura 7.14). As opções de tratamento para sistemas aquapônicos de pequena escala são limitadas. O mais importante é prevenir o acometimento por doenças tanto quanto possível.

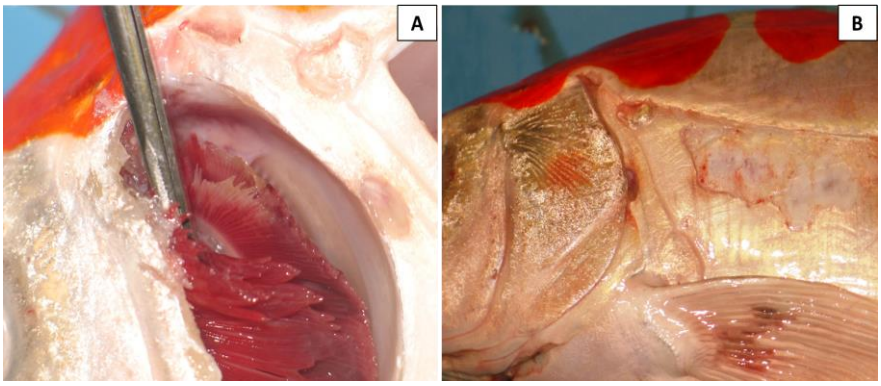


FIGURA 7.14 **Peixes doentes apresentando vários sintomas clínicos: (A) lesão branquial (B) necrose branquial severa**

Prevenção de doenças

A lista abaixo descreve algumas ações-chave para prevenir doenças e resume as principais lições para o cultivo de peixes em aquaponia:

- Obter alevinos saudáveis de um produtor confiável, respeitável e profissional.
- Nunca adicionar peixes que possam ser prejudiciais ao sistema. Examinar os novos peixes em busca de sinais de doenças.
- É aconselhável, em alguns casos, colocar novos peixes em quarentena em um tanque de isolamento por 45 dias antes de adicioná-los ao sistema principal.
- Se possível e necessário, tratar os novos peixes com um banho de sal (descrito abaixo) para remover os parasitas ou tratar algumas infecções em estágio inicial.
- Certificar-se de que a fonte de água é de origem confiável e usar algum método de esterilização se vier de um poço ou corpos d'água. Remover o cloro da água se for de uma fonte municipal de abastecimento.
- Manter parâmetros-chave de qualidade da água em níveis ótimos em todos os momentos.
- Evitar mudanças bruscas de pH, amônia, OD e temperatura.
- Garantir filtração biológica adequada para evitar o acúmulo de amônia ou nitrito.
- Assegurar que a aeração seja adequada para manter o nível de OD o mais alto possível.
- Alimentar os peixes com uma dieta nutritiva e balanceada, usando rações de boa qualidade e armazenadas adequadamente.
- Manter as rações de peixes em um local fresco, seco e escuro para evitar mofo.
- Certificar-se de que as fontes de alimentos vivos sejam livres de patógenos e parasitas. Alimentos que não sejam de origem verificável devem ser pasteurizados ou esterilizados.
- Remover a ração não consumida e qualquer fonte de poluição orgânica do tanque.
- Certificar-se de que o tanque de peixes esteja protegido da luz solar direta, mas não totalmente escuro.
- Impedir o acesso de pássaros, caracóis, anfíbios e roedores que podem ser vetores de patógenos ou parasitas.

- Não permitir o acesso de animais domésticos ou qualquer outro animal à área de produção.
- Seguir os procedimentos de higiene padrão, lavando as mãos e limpando/esterilizando os equipamentos.
- Não permitir que os visitantes toquem na água ou manipulem peixes sem seguir os procedimentos de higiene adequados. [NT: Realizar a desinfecção de pés - pedilúvio - e de veículos que adentram a propriedade].
- Utilizar uma rede de pesca para cada tanque de peixes para prevenir a contaminação cruzada de doenças ou parasitas.
- Evitar ruídos altos, luzes piscando ou vibração perto dos tanques de peixes.

Reconhecendo doenças

As doenças podem ocorrer mesmo com todas as técnicas de prevenção listadas acima. É importante ficar vigilante, monitorar e observar o comportamento dos peixes diariamente para reconhecer as doenças precocemente. As listas a seguir descrevem sintomas físicos e comportamentais comuns de doenças. Para uma lista mais detalhada de sintomas e soluções mais específicas, consultar o Apêndice 3.

Sinais externos de doença:

- úlceras na superfície corporal, manchas descoloridas, manchas brancas ou pretas;
- nadadeiras irregulares, raios das nadadeiras expostas;
- necrose e apodrecimento das brânquias e nadadeiras;
- configuração corporal anormal, coluna torcida, mandíbulas deformadas;
- abdômen distendido, aparência inchada;
- lesões semelhantes a algodão no corpo;
- olhos inchados e saltados (exoftalmia).

Sinais comportamentais da doença:

- falta de apetite, mudanças nos hábitos alimentares;
- letargia, diferentes padrões de natação, apatia;
- posição ímpar na água, cabeça ou cauda para baixo, dificuldade em manter a flutuabilidade;
- peixe ofegante, 'boqueando' na superfície;
- peixe esfregando ou raspando o corpo nos objetos ou paredes do tanque.

Doenças abióticas

A maioria das mortalidades na aquaponia não é causada por patógenos, mas sim por causas abióticas relacionadas principalmente à qualidade ou toxicidade da água. No entanto, esses agentes podem induzir infecções oportunistas que podem ocorrer facilmente em peixes insalubres ou estressados. A identificação dessas causas também pode ajudar o aquaponista a distinguir entre doenças metabólicas e patogênicas e levar à pronta identificação das causas e soluções. O Apêndice 3 contém uma lista das doenças abióticas mais comuns e seus sintomas.

Doenças bióticas

Em geral, a aquaponia e os sistemas de recirculação são menos afetados por patógenos do que a aquicultura em tanques ou gaiolas. Na maioria dos casos, os patógenos já estão realmente presentes no sistema, mas a doença não ocorre porque o sistema imunológico dos peixes está resistindo à infecção e/ou o ambiente é desfavorável para o desenvolvimento do patógeno. O manejo saudável através das

boas práticas de manejo, a prevenção do estresse e o controle de qualidade da água são, portanto, necessários para minimizar a incidência de doenças. Sempre que ocorrer uma doença, é importante isolar ou eliminar os peixes infectados do restante do estoque e implementar estratégias para prevenir qualquer risco de transmissão para o restante do estoque. Se houver cura, é fundamental que os peixes sejam tratados em tanque de quarentena, e que os produtos utilizados não sejam introduzidos no sistema aquapônico. Isso é para evitar consequências imprevisíveis para as bactérias benéficas. O Apêndice 3 indica algumas das doenças bióticas mais comuns que ocorrem na piscicultura e as soluções normalmente adotadas. Mais detalhes estão disponíveis na literatura e nos serviços de extensão locais.

Tratando doenças

Se uma porcentagem significativa de peixes apresenta sinais de doença, é provável que as condições ambientais estejam causando estresse. Nestes casos, é necessário verificar os níveis de amônia, nitrito, nitrato, pH e temperatura e agir adequadamente. Se apenas alguns peixes forem afetados, é importante removê-los imediatamente para evitar que a doença se espalhe para outros peixes. Uma vez removido, é preciso inspecionar o peixe cuidadosamente e tentar determinar a doença/causa específica. Esta publicação serve como um guia inicial e, a seguir, pode-se consultar a literatura externa. No entanto, pode ser necessário um diagnóstico profissional realizado por um veterinário, agente de extensão rural ou outro especialista em aquicultura. Saber a doença específica ajuda a determinar as opções de tratamento. Para tanto, é necessário colocar os peixes afetados em um tanque separado, às vezes chamado de quarentena ou tanque hospital, para observação posterior. A morte e o descarte dos peixes devem ser feitas de forma apropriada.

As opções de tratamento de doenças em aquaponias de pequena escala são limitadas. Os medicamentos comerciais podem ser caros e/ou difíceis de adquirir. Além disso, os tratamentos antibacterianos e antiparasitários têm efeitos prejudiciais no resto do sistema, incluindo o biofiltro e as plantas. Se o tratamento for absolutamente necessário, deve ser feito apenas em um tanque ‘hospitalar’, separado dos demais. Produtos químicos antibacterianos nunca devem ser adicionados a uma unidade aquapônica. Uma opção de tratamento eficaz contra algumas das infecções bacterianas e parasitárias mais comuns é o banho de sal.

Tratamento de banho de sal

Peixes afetados com alguns ectoparasitas, fungos e contaminação bacteriana das brânquias podem se beneficiar do tratamento com banho de sal. Os peixes infectados podem ser removidos do aquário principal e colocados em um banho de sal em um tanque separado. Este banho de sal é tóxico para os patógenos, mas não fatal para os peixes. A concentração de sal para o banho deve ser de 1 kg de sal para 100 L de água. Os peixes afetados devem ser colocados nesta solução com sal por 20 a 30 min e, em seguida, transferidos para um segundo tanque de isolamento contendo 1 a 2 g/L de sal por mais cinco a sete dias.

Em infecções graves de mancha branca, todos os peixes podem precisar ser removidos do sistema aquapônico principal e tratados dessa forma por pelo menos uma semana no tanque ‘hospitalar’. Durante esse tempo, qualquer parasita emergente na unidade aquapônica não conseguirá encontrar um hospedeiro e, eventualmente, morrerá. O aquecimento da água no sistema aquapônico também pode encurtar o ciclo de vida do parasita e tornar o tratamento com sal mais eficaz. Não use a água do banho

de sal ao mover os peixes de volta para o sistema aquapônico porque as concentrações de sal afetariam negativamente as plantas cultivadas.

7.7 QUALIDADE DO PRODUTO

Em peixes cultivados, especialmente em espécies de água doce, muitas vezes existe o risco de sabor estranho (*off-flavor*). Em geral, essa redução na qualidade da carne deve-se à presença de compostos específicos, sendo os mais comuns a geosmina e o 2-metilisoborneol. Esses metabólitos secundários, que se acumulam no tecido lipídico dos peixes, são produzidos por algas verde-azuladas (cianobactérias) ou pelas bactérias do gênero *Streptomyces*, actinomicetos e mixobactérias. A geosmina dá um sabor característico de lama, enquanto 2-metilisoborneol dá um gosto de mofo que pode afetar severamente a aceitação do consumidor e atrapalhar a comercialização do produto. Sabor estranho ocorre em tanques de terra e RASs.

Uma forma de evitar sabores estranhos na carne do peixe consiste em purgar o peixe por três a cinco dias em água limpa antes da venda ou consumo. Os peixes devem permanecer sem alimento e mantidos em um tanque separado e areado. Em aquaponia, este processo pode ser facilmente integrado ao manejo normal, uma vez que a água utilizada para a purga pode ser eventualmente utilizada para reabastecer o sistema.

7.8 RESUMO DO CAPÍTULO

- Rações peletizadas fabricadas para peixes são recomendadas em aquaponia por serem um alimento completo, contendo o equilíbrio correto de proteínas, carboidratos, gorduras, vitaminas e minerais necessários para os peixes.
- A proteína é o componente mais importante para a construção da massa corporal dos peixes. Os peixes onívoros, como a tilápia e a carpa comum, precisam de aproximadamente 32 % de proteína em sua dieta, os peixes carnívoros precisam de mais.
- Importante não superalimentar os peixes e remover os alimentos não consumidos após 30 min para reduzir os riscos de toxicidade por amônia ou sulfeto de hidrogênio.
- A qualidade da água deve ser mantida adequada para os peixes. A amônia e o nitrito devem ser próximos a 0 mg/L, pois são tóxicos em qualquer nível detectável. O nitrato deve ser inferior a 400 mg/L. A concentração de OD deve ser de 4 a 8 mg/L.
- A tilápia, a carpa e o catfish são altamente adequados para aquaponia em condições tropicais ou áridas, pois crescem rapidamente e podem sobreviver em água de baixa qualidade e em níveis mais baixos de OD. As trutas crescem bem em água fria, mas requerem água de melhor qualidade.
- A saúde dos peixes deve ser monitorada diariamente e o estresse deve ser minimizado. A má qualidade da água e/ou alteração, superlotação e distúrbios físicos podem causar estresse, o que pode levar a surtos de doenças.
- Anormalidades ou mudanças no comportamento físico podem indicar estresse, má qualidade da água, parasitas ou doenças. Reserve um tempo para observar e monitorar os peixes a fim de reconhecer os sintomas precocemente e tratar.

8. MANEJO E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS

Os capítulos anteriores focaram na importância das bactérias para garantir um bom crescimento de plantas e peixes, os fatores-chave na construção das diferentes unidades aquapônicas e como cuidar adequadamente de peixes e plantas em uma única unidade aquapônica. Este capítulo resume os princípios e as 'regras práticas' para fornecer uma referência sobre a proporção ideal de peixe para planta, regime de alimentação e dimensionamento do biofiltro.

A segunda seção deste capítulo lista todas as fases importantes de manejo, desde o início de uma unidade até o gerenciamento da produção ao longo de uma estação de cultivo inteira. Há também uma discussão aprofundada sobre o manejo de peixes e plantas durante os primeiros três meses de produção. Finalmente, este capítulo apresenta listas de verificação práticas diárias, semanais e mensais para o gerenciamento de uma unidade durante uma estação de cultivo e o que fazer se surgirem problemas.

8.1 CÁLCULOS E RELAÇÃO DE COMPONENTES

Os sistemas aquapônicos precisam ser equilibrados. Os peixes (e, portanto, a alimentação dos peixes) precisam fornecer nutrientes adequados para as plantas; as plantas precisam filtrar a água para os peixes. O biofiltro precisa ser grande o suficiente para processar todos os resíduos de peixes e é necessário um volume de água suficiente para circular neste sistema. Esse equilíbrio pode ser difícil de atingir em um novo sistema, mas esta seção fornece cálculos úteis para estimar os tamanhos de cada um dos componentes.

8.1.1 Área de cultivo das plantas, quantidade de ração para peixes e quantidade de peixes

A maneira mais bem-sucedida de equilibrar um sistema aquapônico é usar a taxa de alimentação descrita na Seção 2.1.4. Essa proporção é o cálculo mais importante para a aquaponia, de modo que os peixes e as plantas possam prosperar simbioticamente dentro do ecossistema aquapônico.

A proporção estima a quantidade de alimento para peixes que deve ser adicionada ao sistema a cada dia e é calculada com base na área disponível para o crescimento da planta. Essa proporção depende do tipo de planta que está sendo cultivada. As hortaliças frutíferas requerem cerca de um terço a mais de nutrientes do que as folhosas verdes para permitir o desenvolvimento das flores e frutos. O tipo de ração também influencia a taxa de alimentação, e todos os cálculos fornecidos aqui consideram uma ração para peixes padrão da indústria com 32 % de proteína.

Hortaliças folhosas	Hortaliças frutíferas
40-50 g de ração por m^2 ao dia	50-80 g de ração por m^2 ao dia

A primeira etapa recomendada no cálculo é determinar quantas plantas são desejadas. Em média, as plantas podem ser cultivadas na densidade de plantio mostrada abaixo (Figura 8.1). Esses números são apenas médias e muitas variáveis

existem dependendo do tipo de planta e do tamanho à colheita e, portanto, devem ser usados apenas como diretrizes.

Hortaliças folhosas	Hortaliças frutíferas
20-25 plantas por m^2	4-8 plantas por m^2

Uma vez escolhido o número de plantas desejado, é possível determinar a área de cultivo necessária e, consequentemente, a quantidade de ração que deve ser adicionada ao sistema diariamente.

FIGURA 8.1 **Alface densamente plantada em uma unidade de leito de mídia**

Uma vez que as quantidades de área de cultivo e ração para peixes foram calculadas, é possível determinar a biomassa dos peixes necessária para ingerir esta ração. Peixes de tamanhos diferentes têm requisitos e regimes alimentares diferentes, o que significa que muitos peixes pequenos consomem tanto quanto alguns peixes grandes. Em termos de equilíbrio de uma unidade aquapônica, o número real de peixes não é tão importante quanto à biomassa total de peixes no tanque. Em média, para as espécies discutidas na Seção 7.4, os peixes consomem 1 a 2 % de seu peso corporal ao dia durante o estágio de crescimento.

Taxa de alimentação de peixes
1-2 % do peso corporal total por dia

O exemplo abaixo demonstra como conduzir esse conjunto de cálculos, determinando que, para produzir 25 cabeças de alface por semana, um sistema aquapônico deve ter de 10 a 20 kg de peixes, alimentados com 200 g de ração por dia, e ter uma área de cultivo de 4 m^2. Os cálculos são os seguintes:

A alface requer 4 semanas para crescer uma vez que as mudas são transplantadas

para o sistema e 25 cabeças por semana são colhidas, portanto:

25 cabeças/semana × 4 semanas = 100 cabeças no sistema

Cada 25 cabeças de alface requerem 1 m^2 de espaço de cultivo, portanto:

$$\textbf{100 cabeças} \times \frac{\textbf{1 m}^2}{\textbf{25 cabeças}} = \textbf{4 m}^2$$

Cada metro quadrado de espaço de cultivo requer 50 g de ração para peixes por dia, portanto:

$$\textbf{4 m}^2 \times \frac{\textbf{50 g ração/dia}}{\textbf{1 m}^2} = \textbf{200 g de ração/dia}$$

O peixe (biomassa) em um sistema consome 1-2 % do seu peso corporal por dia, portanto:

$$\textbf{200 g de ração/dia} \times \frac{\textbf{100 g de peixe}}{\textbf{1-2 g ração/dia}} = \textbf{10-20 kg de biomassa de peixe}$$

Embora extremamente útil, essa proporção de ração é realmente apenas um guia, especialmente para unidades de pequena escala. Existem muitas variáveis envolvidas com esta proporção, incluindo o tamanho e o tipo de peixe, temperatura da água, conteúdo de proteína da ração e demandas de nutrientes das plantas, que podem mudar significativamente durante a estação de crescimento. Essas mudanças podem exigir que o produtor ajuste a taxa de alimentação.

Testar a água para nitrogênio ajuda a determinar se o sistema permanece em equilíbrio. Se os níveis de nitrato forem muito baixos (menos de 5 mg/L), pode ser necessário aumentar lentamente a taxa de arraçoamento ao dia, porém tomando cuidados para não alimentar os peixes em excesso. Se os níveis de nitrato forem estáveis, pode haver deficiências em outros nutrientes e pode ser necessária suplementação, especialmente para cálcio, potássio e ferro. Se os níveis de nitrato estão aumentando, então trocas ocasionais de água podem ser necessárias caso o nitrato acumule em níveis acima de 150 mg/L. O aumento dos níveis de nitrato sugere que a concentração de outros nutrientes essenciais está adequada.

8.1.2 Volume de água

O volume de água é mais importante para o aspecto da aquicultura dentro do sistema de aquaponia. Diferentes densidades de estocagem afetam o crescimento e a saúde dos peixes e é uma das causas mais comuns do estresse dos peixes. No entanto, o volume total de água não afeta o componente hidropônico, exceto que, com grandes volumes de água, leva mais tempo para a água acumular uma concentração substancial de nutrientes durante o ciclo inicial, especialmente nitrato. Assim, se uma unidade tem um volume de água relativamente grande, o único impacto é que demoraria mais para atingir as concentrações ideais de nutrientes para as plantas. Grandes volumes de água ajudam a mitigar mudanças na qualidade da água, mas podem mascarar os problemas por mais tempo. O método DWC sempre tem um volume total de água maior do que o NFT ou leitos de mídia.

A densidade máxima recomendada é de 20 kg de peixes para 1.000 L de água (tanque de peixes). As unidades de pequena escala descritas nesta publicação têm cerca de 1.000 L de água e devem conter de 10 a 20 kg de peixes. Densidades de

estocagem mais altas requerem técnicas de aeração mais sofisticadas para manter os níveis de OD estáveis para os peixes, bem como um sistema de filtração mais complexo para lidar com os resíduos sólidos. Recomenda-se fortemente aos novos produtores aquapônicos que não excedam a densidade de 20 kg de peixes por 1.000 L. Este é particularmente o caso onde um fornecimento constante de eletricidade não é garantido, porque uma breve interrupção pode matar todos os peixes em uma hora em altas densidades de estocagem. Esta mesma densidade de estocagem se aplica a tanques de qualquer tamanho com mais de 500 L; e é possível utilizar esta proporção para calcular a densidade máxima de lotação para um determinado volume de água. Se o tanque tiver volume inferior a 500 L, é possível reduzir a densidade de estocagem para a metade, ou 1 kg para 100 L, embora não seja recomendado o cultivo de peixes para consumo em um tanque menor que 500 L. Para referência, uma tilápia média pesa 500 g no tamanho da despesca e 50 g no tamanho do estoque/povoamento.

Densidade de estocagem de peixes
10-20 kg de peixes por 1.000 L de água

8.1.3 Requisitos de filtração - biofiltro e separador mecânico

A quantidade de biofiltração necessária em aquaponia é determinada pela quantidade de alimento que entra no sistema diariamente. A principal consideração é o tipo de material e a área de superfície específica da mídia biofiltrante utilizada. Quanto maior a área de superfície específica, maior a colônia bacteriana que pode ser hospedada e mais rápido a amônia é convertida em nitrato. Duas proporções são fornecidas, uma para o cascalho vulcânico encontrado em leitos de mídia e outra para os Bioballs® encontradas em unidades NFT e DWC. Esse cálculo deve ser considerado como um mínimo necessário, sendo que o excesso de biofiltração não prejudica o sistema, mas torna o sistema mais resistente contra picos de amônia e nitrito. Os biofiltros devem ser superdimensionados se houver suspeita de que as baixas temperaturas podem afetar a atividade bacteriana. O Apêndice 4 contém mais informações sobre o dimensionamento de biofiltros e o cálculo do volume necessário. O separador mecânico deve ser dimensionado com base no volume de água. Geralmente, o separador mecânico deve ter um volume de 10 a 30 % do tamanho do tanque de peixes. Filtros mecânicos são necessários para os sistemas NFT e DWC, bem como sistemas de leito de mídia com altas densidades de estocagem (> 20 kg/1.000 L).

Material de biofiltro	Área de superfície específica (m^2/m^3)	Volume necessário (L/g de ração)
Cascalho vulcânico	300	1
Bioballs®	600	0,5

8.1.4 Resumo dos cálculos dos componentes

- A proporção da taxa de alimentação fornece uma maneira de equilibrar os componentes de um sistema aquapônico e calcular a área de plantio, a

alimentação dos peixes e a biomassa dos peixes. O separador mecânico deve ter um volume de 10 a 30 % do tamanho do tanque de peixes.

- Taxa de alimentação para sistemas aquapônicos:
  - 40 a 50 g de ração diária por m^2 (hortaliças folhosas).
  - 50 a 80 g de ração diária por m^2 (hortaliças frutíferas).
- Taxa de alimentação dos peixes: 1 a 2 % de seu peso corporal por dia.
- Densidade de lotação de peixes: 10 a 20 kg/1.000 L.
- Volume de biofiltração:
  - 1 litro por grama de ração diária
  - ½ litro por grama de ração diária (Bioballs® em NFT e DWC)

A Tabela 8.1 resume os principais índices e proporções para projetar um leito de mídia em pequena escala, unidades NFT e DWC. É importante estar ciente de que os números são apenas guias, pois outros fatores externos (por exemplo, condições climáticas e acesso a um fornecimento constante de eletricidade) podem alterar o design no terreno. Observe as notas de rodapé abaixo da tabela que explicam as figuras e a aplicabilidade de cada coluna por método aquapônico.

TABELA 8.1
Guia prático de design de sistema para unidades aquapônicas de pequena escala

Volume do tanque de peixes (L)	Biomassa[1] máxima de peixes (kg)	Oferta de ração[2] (g/dia)	Taxa de vazão de bombeamento (L/h)	Volume dos filtros[3] (L)	Volume mínimo de mídia no biofiltro[4] (L)		Área de cultivo de plantas[5] (m^2)
					Tufo vulcânico	Bioball®	
200	5	50	800	20	50	25	1
500	10	100	1.200	20-50	100	50	2
1.000	20	200	2.000	100-200	200	100	4
1.500	30	300	2.500	200-300	300	150	6
2.000	40	400	3.200	300-400	400	200	8
3.000	60	600	4.500	400-500	600	300	12

Notas:

1. A densidade de peixes recomendada é baseada em uma densidade máxima animal de 20 kg/1.000 L. Densidades mais altas são possíveis com mais aeração e filtração mecânica, mas isso não é recomendado para iniciantes.
2. A taxa de alimentação (arraçoamento) recomendada é de 1 % do peso corporal por dia para peixes com mais de 100 g de massa corporal. A proporção da taxa de alimentação é: 40 a 50 g/m^2 para hortaliças folhosas verdes; e 50 a 80 g/m^2 para hortaliças frutíferas.
3. Os volumes do separador mecânico e do biofiltro devem ser de 10-30 % do volume total do tanque de peixes. Na realidade, a escolha dos contêineres depende de seu tamanho, custo e disponibilidade. Biofiltros são necessários apenas para unidades NFT e DWC; os separadores mecânicos são aplicáveis para unidades NFT, DWC e unidades de leito de mídia com uma densidade de peixes de mais de 20 kg/1.000 L.
4. Esses números pressupõem que as bactérias estão em condições ideais o tempo todo. Caso contrário, por um determinado período (inverno), pode ser necessário adicionar mídia filtrante extra como um *buffer*/efeito tampão. Valores diferentes são fornecidos para os dois meios de biofiltro mais comuns com base em suas respectivas áreas de superfície específicas.

5. Os números para o espaço de cultivo das hortaliças incluem apenas as folhosas. As hortaliças frutíferas teriam uma área ligeiramente inferior.

8.2 NOVOS SISTEMAS AQUAPÔNICOS E MANEJO INICIAL

8.2.1 Construindo e preparando a unidade

Instruções detalhadas de construção passo a passo são fornecidas no Apêndice 8. Depois que a unidade estiver concluída, é hora de preparar o sistema para as funções de rotina. Embora o manejo da unidade aquapônica não exija tempo e esforço excessivos, é importante lembrar que um sistema que funcione bem requer um mínimo de 10 a 20 minutos de manutenção todos os dias. Antes de abastecer um novo sistema com peixes e plantar as hortaliças, é fundamental garantir que todo o sistema e seus equipamentos estejam funcionando corretamente. Os aspectos mais importantes a verificar são a bomba de água, a bomba de ar e os aquecedores de água (quando aplicável). É essencial verificar se os tubos NFT e os leitos de mídia estão estáveis e equilibrados horizontalmente. Comece a circular a água no sistema e certifique-se de que não há vazamentos ou conexões de encanamento soltas. Se houver, aperte ou fixe-os imediatamente. A Seção 9.3 fornece outros métodos para proteger os níveis de água e evitar eventos catastróficos de perda de água. Depois de construída, execute um ciclo de água por pelo menos dois dias para permitir que o cloro se dissipe, se for o caso. Este processo pode ser acelerado usando aeração pesada. Isso não é necessário quando a fonte de água não contém cloro.

Preparação da unidade de leito de mídia

O meio de cultivo (cascalho vulcânico, argila expandida) deve ser bem lavado. Os leitos devem ser preenchidos com a mídia e deixar a água correr por ele; a água deve estar clara. Importante remover qualquer material sedimentado (se houver) enxaguando os leitos com água. Se estiver usando um cronômetro elétrico para inundar e drenar os canteiros, é interessante sincronizar o tempo que leva para encher os canteiros de cultivo e a taxa de fluxo da água que entra no canteiro. Se estiver usando um sifão de sino, a taxa de fluxo de água deve ser ajustada para garantir a função de sifão automático. A vazão da água deve ser suficiente para ativar o sifão, mas não tão forte que impeça a parada da sucção.

Preparação das unidades NFT e DWC

É necessário certificar-se de que a água que flui em cada tubo de cultivo ou canal está fluindo na taxa correta (1-2 L/min para NFT; tempo de retenção de 1 a 4 h para DWC). Taxas de fluxo mais altas têm um impacto negativo nas raízes das plantas, enquanto taxas de fluxo mais baixo não fornecem nutrientes e oxigênio adequados.

8.2.2 Ciclagem do sistema e estabelecimento do biofiltro

Assim que a unidade tiver passado nas verificações iniciais dos componentes e estiver funcionando por dois a três dias sem problemas, é hora de ciclar a unidade. Conforme discutido no Capítulo 5, a ciclagem do sistema é o termo que descreve o processo inicial de estabelecimento de uma colônia bacteriana em uma nova unidade aquapônica. Normalmente, este é um processo de três a seis semanas que envolve a

introdução de uma fonte de amônia na unidade para alimentar as bactérias nitrificantes e ajudá-las a proliferar. As etapas envolvidas foram descritas no Capítulo 5 e devem ser seguidas para cada nova unidade.

Durante o processo de ciclagem, é vital testar os níveis de amônia, nitrito e nitrato a cada três a cinco dias para garantir que as concentrações de amônia não se tornem prejudiciais para as bactérias (> 4 mg/L). Se isso acontecer, uma troca de água é necessária. O processo de ciclagem na unidade é concluído quando os níveis de nitrato começam a subir e os níveis de amônia e nitrito caem perto de zero.

8.3 PRÁTICAS DE MANEJO PARA PLANTAS

As mudas podem ser plantadas no sistema assim que o nitrato for detectado. Espere que essas primeiras plantas cresçam lentamente e exibam algumas deficiências temporárias devido ao suprimento de nutrientes na água temporariamente baixo. Recomenda-se esperar de três a quatro semanas para possibilitar que os nutrientes se acumulem. Em geral, os sistemas aquapônicos mostram uma taxa de crescimento ligeiramente menor do que no solo ou na produção hidropônica nas primeiras seis semanas. No entanto, uma vez que uma base de nutrientes suficiente tenha sido estabelecida dentro da unidade (um a três meses), as taxas de crescimento da planta tornam-se duas a três vezes mais rápidas do que no solo.

8.3.1 Revisão das orientações de plantio

Seleção de plantas

É melhor começar um novo sistema aquapônico com plantas robustas e de crescimento rápido e com baixa demanda de nutrientes. Alguns exemplos são hortaliças folhosas, como saladas, ou plantas fixadoras de nitrogênio, como feijão ou ervilha. Depois de dois a três meses, o sistema estará pronto para hortaliças frutíferas maiores que exigem uma quantidade maior de nutrientes.

Espaçamento de plantas

As mudas podem ser plantadas usando um espaçamento ligeiramente mais denso do que a maioria dos vegetais no solo porque na aquaponia as plantas não competem por água e nutrientes. Mesmo assim, as plantas ainda precisam de espaço suficiente para atingir seu tamanho maduro e evitar a competição por luz, o que reduziria sua qualidade comercial ou favoreceria o crescimento vegetativo ao invés de frutos. Além disso, considere os efeitos de sombreamento das plantas crescidas, o que permite o cultivo simultâneo de espécies tolerantes à sombra ao lado de plantas mais altas.

Suplementando ferro

Algumas novas unidades aquapônicas apresentam deficiências de ferro nos primeiros dois a três meses de crescimento, pois o ferro é importante durante os estágios iniciais do crescimento da planta e não é abundante na alimentação dos peixes. Assim, pode ser necessário adicionar inicialmente ferro quelado (ferro solúvel em pó) à unidade para atender aos requisitos das plantas. A recomendação é adicionar 1 a 2 mg/L nos primeiros três meses do início de uma unidade e novamente quando houver deficiência de ferro. O ferro quelado pode ser comprado de fornecedores agrícolas na forma de pó. O ferro também pode ser suplementado com o uso de fertilizantes orgânicos seguros para a aquaponia, como o composto de algas marinhas,

pois o ferro é abundante em ambos. A Seção 9.1.1 discute fertilizantes orgânicos seguros para a aquaponia.

8.3.2 Estabelecendo um viveiro de mudas

Hortaliça é a parte mais importante na produção aquapônica em pequena escala. É essencial que apenas mudas fortes e saudáveis sejam plantadas. Além disso, os métodos de plantio aplicados devem evitar ao máximo o choque do transplante. Assim, a recomendação é a implantação de um viveiro simples para garantir um abastecimento adequado de mudas sãs e prontas para serem plantadas nas unidades aquapônicas. É sempre melhor ter um excesso de plantas prontas para entrar no sistema e, muitas vezes, esperar pelas mudas é uma fonte de atraso da produção.

Um viveiro simples pode ser construído usando ripas de madeira com forro de polietileno, como mostrado na Figura 8.2. A água é bombeada para o canteiro por cerca de meia hora todos os dias (controlado por um simples cronômetro elétrico), permitindo que a água e a umidade penetrem no substrato. A água é então lentamente drenada para um tanque abaixo. Este ciclo é repetido diariamente para evitar o encharcamento das mudas. Muita umidade aumenta o risco de infecções fúngicas.

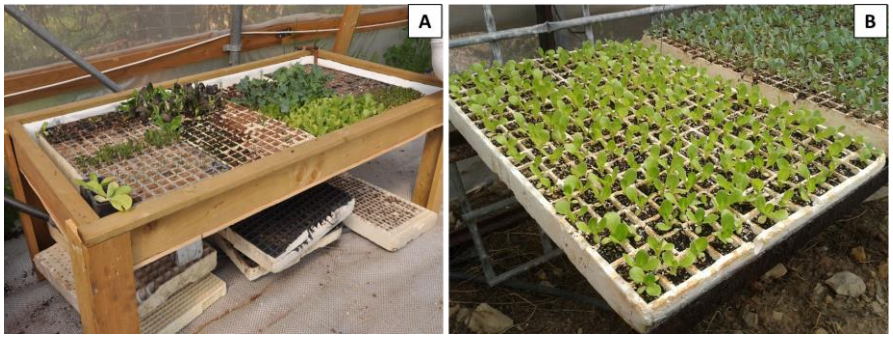


FIGURA 8.2 **Exemplos de viveiro de plantas (A) e mudas de alface (B)**

As bandejas de propagação de poliestireno (isopor) são colocadas na cama do viveiro e são preenchidas com solo, substratos inertes, como lã de rocha, turfa, fibra de coco, vermiculita, perlita ou uma mistura com uma combinação dos vários substratos. Alternativas mais simples para bandejas de propagação também podem utilizar materiais recicláveis, como caixas de ovos vazias (Figura 8.3). Escolha bandejas de propagação que permitam uma distância adequada entre as mudas para favorecer o bom crescimento sem competição pela luz. O Quadro 4 lista sete etapas para semear as sementes.

FIGURA 8.3 **Uso de bandeja de ovos vazia como bandeja de germinação**

Semeadura direta em leitos de mídia

É possível semear as sementes diretamente no leito de mídia (Figura 8.4). Se usar um mecanismo de inundação e drenagem (por exemplo, sifão de sino), as sementes podem ser lavadas. Portanto, o sifão deve ser retirado durante a semeadura no canteiro e recolocado quando as primeiras folhas começarem a aparecer.

FIGURA 8.4 **Semeadura direta em um leito de mídia usando algodão para reter a umidade**

8.3.3 Transplante de mudas

O transplante de mudas obtidas em canteiros de solo não é recomendado; só deve ser feito se for estritamente necessário. Nesse caso, todo o solo precisa ser removido do sistema radicular com muita suavidade (Figura 8.5), pois pode conter patógenos de plantas. Este processo de lavagem é muito estressante para as mudas e é possível perder de quatro a cinco dias de crescimento à medida que a planta se ajusta às novas condições. Assim, é preferível iniciar as sementes usando substratos inertes (lã de rocha, vermiculita ou fibra de coco) em bandejas de propagação conforme explicado acima. Dessa forma, as mudas podem ser transplantadas com o mínimo de choque. Plantas maiores em vasos também podem ser plantadas, embora novamente o solo precise ser removido. Deve-se evitar transplantar no meio do dia porque as raízes das plantas são extremamente sensíveis à luz solar direta e as folhas podem sofrer estresse hídrico devido às novas condições de cultivo. Recomenda-se plantar ao entardecer para que as mudas jovens tenham uma noite para se aclimatar ao novo ambiente antes do sol da manhã.

Quadro 4

Sete etapas para semear usando bandejas de propagação caseiras

1) Encher uma bandeja de ovos vazia ou outra bandeja de mudas com substrato, como composto ou fibra de coco.
2) Semear as sementes em covas com cerca de 0,5 cm de profundidade; cobrir os orifícios com o substrato restante sem compactá-la.
3) Colocar a bandeja em uma área sombreada e irrigar. Os sistemas de rega automáticos reduzem o trabalho.
4) Após a germinação e brotação e assim que aparecerem as primeiras folhas, começar a rustificar as mudas colocando-as sob luz solar cada vez mais intensa por algumas horas por dia.
5) Fertilizar as mudas uma vez por semana com um fertilizante orgânico suave rico em fósforo para fortalecer suas raízes (opcional).
6) Manter as mudas por pelo menos duas semanas após o aparecimento da primeira

folha para garantir o crescimento adequado da raiz.
7) Transplantar as mudas para o sistema quando o crescimento adequado for alcançado e as plantas forem suficientemente fortes. Retirar as mudas e seu torrão de substrato usando um pequeno instrumento sem corte.

FIGURA 8.5 **Mudas de alface com solo removido das raízes antes de serem transferidas para uma unidade aquapônica**

Plantio em leitos de mídia

Ao plantar em cascalho vulcânico ou qualquer outro meio de cultivo recomendado no Capítulo 6, basta afastar o cascalho e cavar um buraco que seja grande o suficiente para conter a planta (Figura 8.6). Plantar no ponto mais alto de inundação no leito de mídia (cerca de 5 a 7 cm abaixo da superfície do cascalho) para que as raízes fiquem parcialmente submersas na água. Não é aconselhável plantar muito profundamente, o que poderia permitir que a água entrasse em contato com o caule ou as folhas e poderia causar doenças (podridão do colo, por exemplo).

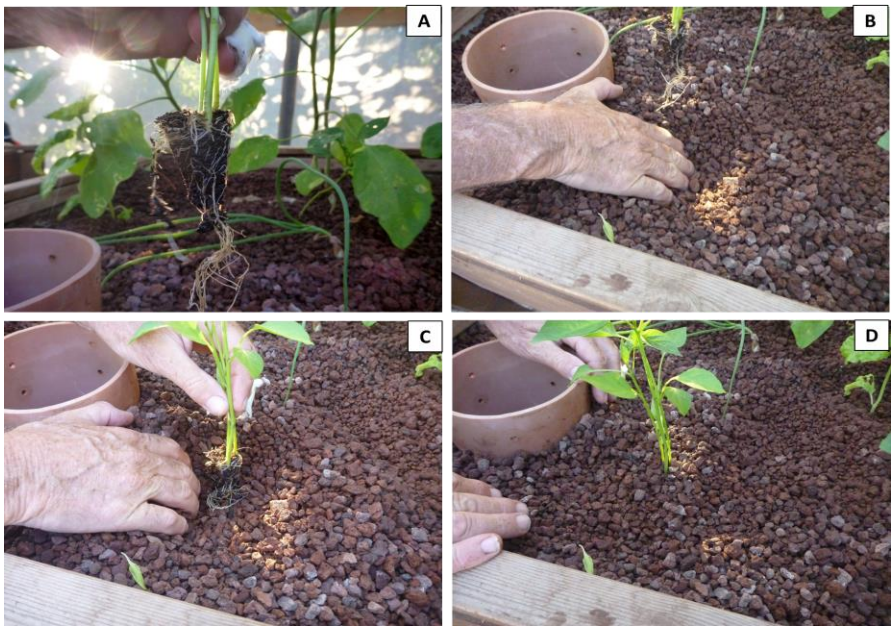


FIGURA 8.6 **Procedimento passo a passo de transferência de uma muda para uma unidade de leito de mídia. Retirar a muda da bandeja do viveiro (A); cavar um pequeno buraco no meio (B); plantio da muda (C); e preenchimento com o meio (D)**

Plantio em NFT

Para plantar nos tubos/perfis de cultivo, a muda precisa ser sustentada por um tubo curto ou copo de rede contendo 3 a 4 cm de cascalho ou outro meio de cultivo (Figura 8.7). O resto do copo de rede deve ser preenchido com uma mistura de cascalho e um substrato retentor de umidade, como composto ou fibra de coco. O substrato ajuda a reter a umidade porque as raízes das plantas jovens mal tocam o fluxo de água dentro do tubo de cultivo. Se a fibra de coco ou o composto não estiverem disponíveis, qualquer substrato padrão será suficiente. Após uma semana, as raízes devem ter se estendido através da rede para dentro do tubo de cultivo, com acesso total à água que flui ao longo do fundo do tubo. Além disso, pavios podem ser estendidos do fundo do copo de rede para o fluxo de água, se necessário.

FIGURA 8.7 **Preparação da muda, meio de cultivo, copo de rede e extensor para uma unidade técnica do filme de nutrientes (A); colocar a muda e o meio no copo de rede (B); e inserir o copo de rede no tubo de cultivo (C)**

Plantio em DWC

Semelhante ao plantio em sistemas NFT, os sistemas DWC precisam que a planta seja suportada usando um pequeno copo de rede preenchido com 3 a 4 cm de meio inerte (Figura 8.8). Quando a muda estiver bem apoiada, coloque-a em um dos

orifícios feitos nas folhas de poliestireno (isopor) para flutuar na água. O fundo do copo de rede deve apenas tocar o nível da água.

FIGURA 8.8 **Preparação da muda, do meio de cultivo e do copo para uma unidade de cultivo em águas profundas (A); colocação da muda e do meio no copo de rede (B); e inserção do copo de rede na bandeja flutuante (C)**

8.3.4 Colheita das hortaliças

Em um a dois meses, hortaliças folhosas devem estar prontas para a colheita. Depois de três meses, a unidade também deve ter uma base de nutrientes suficiente para começar a plantar hortaliças frutíferas maiores. Os pontos a seguir detalham as diretrizes finais para o cultivo de plantas após o período inicial de três meses.

Plantio e colheita escalonados

Conforme discutido no Capítulo 6, vale a pena escalonar o plantio ao longo do tempo para evitar a colheita de toda a safra de uma vez. Se isso acontecesse, os níveis de nutrientes diminuiriam pouco antes da colheita, o que poderia criar problemas nutricionais para as plantas, e aumentariam após a colheita, o que estressaria os peixes. Além disso, escalonar o plantio permite a colheita e o transplante contínuos de vegetais e garante a absorção constante de nutrientes e a filtração da água.

Métodos de colheita

Ao colher plantas inteiras de canteiros de leitos de mídia (por exemplo, alface), deve-se certificar que todo o sistema radicular seja removido, sacudindo o cascalho preso entre as raízes e colocando o cascalho de volta no leito da mídia. Em tubos/canais/perfis NFT e DWC também é preciso certificar-se de que todo o sistema radicular seja removido (Figura 8.9). As raízes das plantas devem ser descartadas em uma caixa de compostagem para reciclar os resíduos vegetais. Deixar raízes e folhas no sistema pode estimular o surgimento de doenças. Ao colher os vegetais, use uma faca limpa e afiada. Para evitar qualquer contaminação por bactérias, a água do sistema de aquaponia não pode molhar as folhas. As plantas colhidas devem ser mantidas em um saco limpo, lavadas e resfriadas o mais rápido possível para manter o frescor.

FIGURA 8.9 **Durante a colheita, toda a planta (incluindo raízes) é removida**

8.3.5 Manejando plantas em sistemas 'maduros'

Estabilizando o pH

É vital para o bom crescimento das plantas manter o pH entre 6 e 7, para que as plantas tenham acesso a todos os nutrientes disponíveis na água. Para tanto, é preciso adicionar pequenas quantidades de base ou tampão sempre que o pH se aproximar de 6 para manter os níveis de pH ideais, conforme descrito na Seção 3.6. Adicionar água da chuva ou corrigir com um ácido a água rica em alcalinidade apenas se o nível de dureza no sistema aquapônico for muito alto para evitar que as bactérias nitrificantes baixem naturalmente o pH para níveis ideais. A água deve ser corrigida com ácido fora do sistema aquapônico e despejada no sistema após verificação do pH.

Fertilizantes orgânicos

Se ocorrerem deficiências, é necessário adicionar nutrientes extras. Fertilizantes líquidos orgânicos podem ser usados como fertilizante foliar diluído nas folhas das plantas ou derramado diretamente na zona da raiz. O Capítulo 9 discute métodos para produzir fertilizantes caseiros simples que são seguros para a aquaponia. É recomendado adicionar o extrato de composto e o extrato de algas marinhas. As deficiências são discutidas na Seção 6.2.3. As deficiências geralmente ocorrem quando há muitas plantas para o número de peixes ou quando a alimentação é reduzida durante os meses de inverno. Antes de adicionar fertilizantes, é preciso certificar-se do pH para garantir que não haja indisponibilidade de nutrientes.

Pragas e doenças

É possível tentar prevenir pragas usando as técnicas de produção integrada e manejo de pragas, discutidas na Seção 6.5. Se as pragas continuarem sendo um problema, pode-se utilizar as técnicas de remoção mecânica antes de considerar pulverizações. Deve-se utilizar apenas produtos seguros para a aquaponia, como: extratos ou repelentes de plantas, inseticidas biológicos (*Bacillus thuringiensis* e *Beauveria bassiana*), cinzas, óleos vegetais ou extratos de óleos essenciais, armadilhas cromáticas/atraentes e plantas atrativas externas tratadas com inseticidas. Independentemente disso, evite deixar o pulverizado entrar na água.

Cultivos sazonais

Até certo ponto, os métodos de produção aquapônica de alimentos fornecem um meio de estender as estações de plantio, especialmente se a unidade estiver instalada dentro de uma estufa. No entanto, ainda é fortemente recomendado seguir as

recomendações locais de cultivo sazonal. As plantas crescem melhor na estação e nas condições ambientais às quais estão adaptadas.

8.3.6 Plantas - resumo

- Usar plantas com baixa demanda de nutrientes nos primeiros 3 a 6 meses, por exemplo alface e feijão/ervilha.
- Plantas com alta demanda de nutrientes podem ser plantadas após os primeiros três a seis meses.
- Usar plantas recomendadas para aquaponia e seguir os guias de plantio sazonais do local.
- Estabelecer um viveiro para garantir um número adequado de mudas saudáveis.
- Transplantar mudas adequadamente fortes e que tenham um sistema radicular bem desenvolvido.
- Remover suavemente o excesso de substrato das raízes antes de plantar no sistema.
- Deixar espaçamento suficiente entre as plantas de acordo com seu tamanho quando maduras.
- Planejar um sistema de colheita escalonado.
- Fertilizantes orgânicos podem ser necessários se ocorrerem deficiências.
- Manter a qualidade da água apropriada, especialmente um pH entre 6 e 7.

8.4 PRÁTICAS DE MANEJO PARA PEIXES

Adicionar peixes a uma nova unidade aquapônica é um evento importante. É melhor esperar até que o processo de ciclagem inicial seja totalmente concluído e o biofiltro esteja funcionando totalmente, ou seja, esteja ‘maduro’. Idealmente, a amônia e o nitrito estão em zero e os nitratos estão começando a subir. Este é o momento mais seguro para adicionar os peixes. Se for decidido adicionar peixes antes da ciclagem, um número reduzido de peixes deve ser adicionado. Este período será muito estressante para os peixes, e trocas de água podem ser necessárias. Ciclar o sistema com peixes pode levar mais tempo do que ciclar sem os peixes.

Os peixes devem ser devidamente aclimatados à nova água, monitorando a temperatura e o pH, e sempre aclimatando os peixes lentamente (conforme descrito na Seção 7.5). Ao comprar alevinos de um produtor local, é preciso certificar-se de que os peixes estão saudáveis, verificando cuidadosamente se há sinais de doença.

8.4.1 Alimentação dos peixes e taxas de crescimento

O método de cálculo da alimentação dos peixes usando a razão da taxa de alimentação aplica-se a sistemas maduros durante o estágio de crescimento dos peixes e precisa de mais consideração aqui. Usando o mesmo exemplo da Seção 8.1.1, a biomassa alvo para um tanque de 1.000 L é de 10 a 20 kg. Isso seria cerca de 40 tilápias do tamanho de despesca. No entanto, durante os primeiros dois a três meses, os peixes são pequenos e não consomem tanto quanto foi calculado (200 g de ração por dia) para fornecer nutrientes para todo o canteiro de plantas. Mais especificamente, peixes do tamanho de alevinos recém-estocados pesam cerca de 50 g. Os peixes juvenis podem ser alimentados com cerca de 3 % de seu peso corporal por dia. Portanto, uma lotação inicial de 40 alevinos pesaria 2.000 g e, juntos, comeriam cerca de 60 g de ração para peixes por dia.

Uma baixa densidade inicial de estocagem é uma boa prática para sistemas aquapônicos imaturos porque dá ao biofiltro tempo adicional para se desenvolver e permite que as plantas cresçam e filtrem mais nitrato. A recomendação é estimar a alimentação com base no peso corporal, mas monitorar cuidadosamente o comportamento alimentar e ajustar a ração adequadamente. Conforme os peixes crescem, maiores quantidades de ração passam a ser ofertadas. Além disso, é recomendado fornecer uma dieta comparativamente mais rica em proteínas para peixes juvenis, se diferentes formulações de rações estiverem disponíveis e forem viáveis.

Após dois a três meses de alimentação nesta taxa, os 40 peixes terão crescido para 80 a 100 g cada e pesando um total de 3.200 a 4.000 g. Nesse ponto, eles devem ser capazes de comer 80 a 100 g de ração por dia, o que ainda é apenas metade do calculado pela taxa de alimentação no exemplo anterior. Deve-se alimentar os peixes o quanto eles quiserem, mas aumentar a quantidade de ração lentamente para evitar o desperdício. Dentro de mais alguns meses, esses mesmos peixes pesarão 500 g cada um com uma biomassa total de 20 kg e comerão 200 g de ração para peixes por dia. Para a tilápia cultivada em boa qualidade de água a 25 °C, leva de seis a oito meses para crescer de um tamanho de estoque de 50 g para um tamanho de despesca de 500 g.

A alimentação deve ser dividida em rações matinais e vespertinas. Além disso, os peixes juvenis se beneficiam de uma alimentação adicional ao meio dia. A divisão da ração é mais saudável para os peixes e também para as plantas, proporcionando uma distribuição uniforme dos nutrientes ao longo do dia. A ração deve ser ofertada por toda a superfície da água para que todos os peixes possam comer sem se machucar ou bater na lateral do tanque. Deve-se evitar assustar os peixes durante a alimentação, evitando movimentos bruscos. Neste momento deve-se observar os peixes, bem como seu comportamento. Importante remover qualquer ração de peixe não consumida após 30 minutos e ajustar a próxima quantidade de ração a ser ofertada de acordo com o consumo anterior. Se não sobrar ração após 30 minutos, aumente a quantidade; se sobrar muito, diminua a quantidade.

Um dos principais indicadores de peixes saudáveis é um bom apetite, por isso é importante observar seu comportamento geral de alimentação. Se seu apetite diminuir ou se eles pararem de se alimentar, esse é um grande sinal de que algo está errado com a unidade (provavelmente, água de baixa qualidade). Além disso, o apetite dos peixes está diretamente relacionado à temperatura da água, especialmente para peixes tropicais como a tilápia, portanto, deve-se ajustar ou até mesmo interromper a alimentação durante os meses mais frios do inverno.

8.4.2 Despesca e estoque escalonado

Uma biomassa constante de peixes nos tanques garante um fornecimento constante de nutrientes às plantas. Isso garante que os peixes comam a quantidade de alimento calculada usando a proporção da taxa de alimentação. O exemplo anterior mostra como a ração depende do tamanho dos peixes, e os peixes pequenos não são capazes de comer ração suficiente para abastecer toda a área de cultivo com nutrientes adequados. Para atingir uma biomassa constante nos tanques de peixes, um método de lotação escalonada deve ser adotado. Essa técnica envolve a manutenção de três classes de idade, ou coortes, dentro do mesmo tanque. Aproximadamente a cada três meses, os peixes maduros (500 g cada) são coletados e imediatamente o tanque é reabastecido com novos alevinos (50 g cada). Este método evita despescar todos os peixes de uma vez e, em vez disso, retém uma biomassa mais consistente.

A Tabela 8.2 descreve as taxas de crescimento potencial de tilápia em um tanque ao longo de um ano usando o método de lotação escalonada. O aspecto importante desta tabela é que o peso total dos peixes varia entre 10 e 25 kg, com uma biomassa média de 17 kg. Esta tabela é uma orientação básica que descreve as condições ideais para o crescimento dos peixes. Na realidade, fatores como temperatura da água e ambientes estressantes para peixes podem modificar os números apresentados aqui.

TABELA 8.2
Taxas de crescimento potencial de tilápia em um tanque ao longo de um ano usando o método de lotação escalonada

Mês	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Rodada de estocagem	**Peso (kg)**												
1	1,5	3,75	6,0	8,25	10,5	12,75	15,0*						
2				1,5	3,75	6,0	8,25	10,5	12,75	15,0*			
3							1,5	3,75	6,0	8,25	10,5	12,75	15,0*
4										1,5	3,75	6,0	8,25
5													1,5
Biomassa total de peixes (Kg)	1,5	3,75	6,0	9,75	14,25	18,75	24,75 - 9,75	14,25	18,75	24,75 - 9,75	14,25	18,75	24,75 - 9,75
Ação							Pov Desp			Pov Desp			Pov Desp

Notas: Alevinos de tilápia (1,5 kg = 50 g/peixe × 30 peixes) são estocados a cada três meses. Cada peixe sobrevive e cresce até atingir o tamanho da despesca (15 kg = 500 g/peixe × 30 peixes) em seis meses. O asterisco indica despesca. O intervalo durante os meses de despesca/povoamento representa o intervalo se nem todos os 30 peixes forem despescados de uma vez, ou seja, os 30 peixes em tamanho de abate forem coletados ao longo do mês. Esta tabela serve apenas como um guia teórico para ilustrar a despesca escalonada e a lotação em condições ideais.
Pov = povoamento. Desp = despesca

Se não for possível obter alevinos regularmente, um sistema aquapônico ainda pode ser manejado armazenando um maior número de peixes juvenis e despescando-os progressivamente durante a estação para manter uma biomassa estável para fertilizar as plantas. A Tabela 8.3 mostra o caso de um sistema abastecido semestralmente com alevinos de tilápia de 50 g. Nesse caso, a primeira despesca começa a partir do terceiro mês. Várias combinações na frequência de lotação, o número e o peso dos peixes podem ser aplicadas, desde que a biomassa dos peixes fique abaixo do limite máximo de 20 kg/m^3. Se os peixes forem mistos, a despesca deve ser primeiramente direcionada às fêmeas para evitar a reprodução quando elas atingirem a maturidade sexual a partir dos cinco meses de idade. A reprodução debilita todo o lote. No caso da tilápia de sexos mistos, os peixes podem ser inicialmente

estocados em uma gaiola e os machos podem ser deixados livres no tanque após a determinação do sexo.

TABELA 8.3
Taxas potenciais de crescimento de tilápia em um tanque ao longo de um ano usando uma técnica de despesca progressiva

Mês	**Dez**	**Jan**	**Fev**	**Mar**	**Abr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**
1ª rodada de estocagem													
Número de peixes no tanque	80	80	70	60	50	40	30	10					
Peso dos peixes (g)	50	125	200	275	350	425	500	575					
Biomassa do lote (kg)	4	10	14	17	18	17	15	5,8					
2ª rodada de estocagem													
Número de peixes no tanque							80	80	70	60	50	40	30
Peso dos peixes (g)							50	125	200	275	350	425	500
Biomassa do lote (kg)							4	10	14	17	18	17	15
Biomassa total do tanque (kg)	**4**	**10**	**14**	**17**	**18**	**17**	**19**	**15,8**	**14**	**17**	**18**	**17**	**15**

Notas: Os alevinos de tilápia são estocados a cada seis meses. A despesca escalonada começa a partir do terceiro mês para manter o total de peixes abaixo da biomassa de estocagem máxima de 20 kg/m^3. A tabela mostra o peso teórico de cada lote de peixe despescado ao longo do ano se os peixes forem criados em condições ideais.

Peixes adultos de tilápia, catfish e truta irão predar os peixes menores se forem estocados juntos. Uma técnica para manter todos esses peixes com segurança no mesmo tanque é isolar os menores em uma estrutura flutuante. Esta moldura é essencialmente uma gaiola flutuante, que pode ser construída como um cubo com tubo de PVC usado como moldura e coberto com malha de plástico. É importante garantir que peixes maiores não possam entrar na gaiola flutuante por cima, então se certifique

de que as laterais se estendam pelo menos 15 cm acima do nível da água. Cada uma das classes de tamanho vulneráveis deve ser mantida em estruturas flutuantes separadas no tanque de peixes principal. À medida que os peixes crescem o suficiente para não correrem perigo, eles podem ser movidos para o tanque principal. Com este método, é possível ter até três pesos de estocagem/lotação diferentes em um tanque, por isso é importante que o tamanho do grânulo de ração para peixes possa ser consumido por peixes de todos os tamanhos. Os peixes em gaiolas também têm a vantagem de serem monitorados de perto para determinar a TCA medindo o incremento de peso e o peso da ração ofertada ao longo de um período.

8.4.3 Peixes - resumo

- Adicionar peixes somente depois que o processo de ciclagem sem os peixes estiver concluído, se possível.
- Alimentar os peixes à vontade (o tanto quanto eles comerem) durante 30 minutos, duas vezes por dia. Sempre remover a ração não consumida após 30 minutos. Registrar a quantidade total de ração adicionada. Equilibrar a taxa de alimentação com o número de plantas usando a proporção da taxa de alimentação, mas evitar super ou subalimentação dos peixes.
- O apetite dos peixes está diretamente relacionado à temperatura da água, especialmente para peixes tropicais como a tilápia, portanto, deve-se ajustar a alimentação durante os meses mais frios do inverno.
- Um alevino de tilápia (50 g) atingirá o tamanho da despesca (500 g) em seis a oito meses sob condições ideais. A lotação escalonada é uma técnica que envolve o abastecimento/povoamento de um sistema com novos alevinos cada vez que alguns dos peixes em tamanho ideal para despesca são coletados. Esta técnica fornece uma maneira de manter a biomassa, taxa de alimentação e concentração de nutrientes relativamente constantes para as plantas.

8.5 PRÁTICAS DE MANEJO ROTINEIRAS

Abaixo estão as atividades diárias, semanais e mensais a serem realizadas para garantir que a unidade aquapônica esteja funcionando bem. Essas listas devem ser transformadas em listas de verificação e registradas. Dessa forma, vários operadores sempre sabem exatamente o que fazer, e as listas de verificação evitam o descuido que pode ocorrer com atividades de rotina. Essas listas não pretendem ser exaustivas, mas apenas uma orientação baseada nos sistemas descritos aqui nesta publicação e uma revisão das atividades de manejo.

8.5.1 Atividades diárias

- Verificar se as bombas de água e ar estão funcionando bem e limpar suas entradas para evitar obstruções.
- Verificar se a água está fluindo.
- Verificar o nível de água e adicionar mais água para compensar a evaporação, conforme necessário.
- Verificar se há vazamentos.
- Verificar a temperatura da água.
- Alimentar os peixes (duas a três vezes ao dia, se possível), remover restos de ração não consumida e ajustar as taxas de alimentação.
- A cada vez que for alimentar os peixes, verificar o comportamento e aparência.

- Verificar se há pragas nas plantas. Controlar pragas, se necessário.
- Remover qualquer peixe morto. Remover todas as plantas/ramos doentes.
- Retirar os sólidos do clarificador e lavar todos os filtros.

8.5.2 Atividades semanais

- Realizar testes de qualidade da água para pH, amônia, nitrito e nitrato antes de alimentar os peixes.
- Ajustar o pH, conforme necessário.
- Verificar as plantas em busca de deficiências. Adicionar fertilizante orgânico, conforme necessário.
- Limpar os resíduos de peixes do fundo dos tanques e do biofiltro.
- Plantar e colher os vegetais, conforme necessário.
- Despescar os peixes, se necessário.
- Verificar se as raízes das plantas não estão obstruindo os canos ou o fluxo de água.

8.5.3 Atividades mensais

- Estocar novos peixes nos tanques, se necessário.
- Limpar o biofiltro, o clarificador e todos os filtros.
- Limpar o fundo do tanque de peixes usando redes de despesca.
- Pesar uma amostra de peixe e verificar cuidadosamente se há doenças.

8.6 SEGURANÇA NO TRABALHO

A segurança é importante para o operador humano e para o próprio sistema. O aspecto mais perigoso da aquaponia é a proximidade da eletricidade e da água, portanto, devem ser tomadas as devidas precauções. A segurança no processo de produção de alimentos é importante para garantir que nenhum patógeno seja transferido para a alimentação humana. Finalmente, é importante tomar precauções contra a introdução de patógenos humanos no sistema aquapônico.

8.6.1 Segurança elétrica

Sempre usar um dispositivo de corrente residual (RCD). Este é um tipo de disjuntor que corta a energia do sistema se a eletricidade cair na água. A melhor opção é que um eletricista instale um na junção elétrica principal. Como alternativa, adaptadores RCD estão disponíveis, e baratos, em qualquer loja de materiais elétricos ou de construção. Um exemplo de RCD pode ser encontrado na maioria dos secadores de cabelo. Essa simples precaução pode salvar vidas. Além disso, nunca se devem pendurar fios sobre os tanques de peixes ou filtros. Importante proteger cabos, tomadas e plugues das intempéries, principalmente chuva, respingos de água e umidade. Existem caixas de junção externas disponíveis para esses fins. Verificar frequentemente se há fios expostos, cabos desgastados ou equipamentos com defeito e substituir de acordo. Utilizar '*loops* de gotejamento' onde for apropriado para evitar que a água escorra por um fio na junção.

8.6.2 Segurança alimentar

Boas práticas agrícolas (BPAs) devem ser adotadas para reduzir, tanto quanto possível, quaisquer doenças de origem alimentar, e várias se aplicam à aquaponia. A primeira e mais importante é simples: manter a limpeza em tudo. A maioria das doenças que afetam os humanos seria introduzida no sistema pelos próprios trabalhadores. Usar técnicas adequadas de lavagem das mãos e sempre higienizar os equipamentos e materiais de colheita e despesca. Na hora da colheita, não deixar a água tocar nas hortaliças; não deixar que as mãos ou luvas molhadas toquem nos produtos. Se presentes, a maioria dos patógenos estará na água e não no produto. Sempre lavar os produtos após a colheita e novamente antes do consumo.

Em segundo lugar, é importante evitar a entrada de solo e fezes no sistema. Não colocar o equipamento de colheita no solo. Impeça a entrada de animais nocivos, como ratos, no sistema e mantenha animais de estimação e gado afastados da área. Animais de sangue quente costumam ser portadores de doenças que podem ser transmitidas aos humanos. Evitar que as aves contaminem o sistema da maneira que for possível, inclusive por meio do uso de redes de exclusão e meios de dissuasão. Se estiver usando a coleta de água da chuva, é preciso certificar-se de que as aves não estejam empoleiradas na área de coleta ou tratar a água antes de adicioná-la ao sistema. De preferência, não manusear os peixes, plantas ou mídias com as mãos desprotegidas, em vez disso, usar luvas descartáveis.

8.6.3 Segurança geral

Frequentemente, unidades aquapônicas e fazendas em geral apresentam outros perigos gerais que podem ser evitados com simples precauções. Evitar deixar cabos de alimentação, linhas de ar ou canos nos locais de passagem, pois eles podem representar perigo de tropeço. Água e substratos/mídia são pesados, então deve-se buscar técnicas de elevação/sustentação adequadas. Utilizar luvas de proteção ao trabalhar com os peixes para evitar acidentes com espinhos. Tratar quaisquer arranhões e perfurações imediatamente com os procedimentos padrão de primeiros socorros - lavar, desinfetar e enfaixar a ferida. Procurar atendimento médico se necessário. Não deixar sangue ou fluidos corporais entrarem no sistema e não trabalhar com feridas abertas. Ao construir o sistema, estar ciente de serras, brocas e outras ferramentas. Manter ácidos e bases em áreas seguras de armazenamento e usar equipamentos de segurança adequados ao manusear esses produtos químicos. Sempre manter todos os produtos químicos e objetos perigosos devidamente armazenados, [NT: identificados] e fora do alcance das crianças.

8.6.4 Segurança - resumo

- Usar RCD em componentes elétricos para evitar eletrocussão.
- Proteger as conexões elétricas da chuva, respingos e umidade, usando o equipamento correto.
- Adotar boas práticas agrícolas para evitar a contaminação dos produtos. Sempre manter as ferramentas de colheita limpas, lavar as mãos com frequência e usar luvas. Não deixar que as fezes dos animais contaminem o sistema.
- Não contaminar o sistema usando as mãos desprotegidas na água.
- Evitar riscos de tropeços e quedas mantendo uma estação de trabalho organizada.
- Usar luvas ao manusear peixes para evitar espinhos.

- Lavar e desinfetar as feridas imediatamente. Não trabalhar com feridas abertas. Não deixar o sangue entrar no sistema.
- Ter cuidado com ferramentas elétricas e produtos químicos perigosos e usar equipamentos de proteção.

8.7 RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS

A Tabela 8.4 lista os problemas mais comuns durante o funcionamento de uma unidade aquapônica. Se algo parecer fora do normal, verificar imediatamente se a bomba de água e as bombas de ar estão funcionando. Baixo nível de OD, incluindo vazamentos acidentais, são as principais causas de mortalidades de peixes em unidades aquapônicas. Enquanto a água estiver fluindo, o sistema não estará em uma fase de emergência e o problema pode ser resolvido de forma sistemática e calma. O primeiro passo é sempre conduzir uma análise completa da qualidade da água. Compreender a qualidade da água fornece um feedback essencial para determinar como resolver qualquer problema.

TABELA 8.4 1
Resolução de problemas comuns em sistemas aquapônicos

Situação	Razão	Problema	Solução
1) Problemas com eletricidade / bomba e sistema			
Bomba não funciona; a eletricidade está desligada.	Sem energia elétrica.	OD irá diminuir.	1) Se o fornecimento de eletricidade não for confiável, um sistema de energia de backup CC deve ser instalado. 2) Despeje a água do tanque de depósito no tanque de peixes, reabastecendo temporariamente os níveis de oxigênio; repita este processo a cada 1-2 h até que a energia retorne. 3) Instale um recipiente de 200 L acima do tanque de peixes que possa liberar um fluxo lento de água no tanque de peixes,

			criando bolhas.
Bomba não funciona; a eletricidade está ligada.	A bomba está quebrada, com defeito ou entupida.	OD irá diminuir.	Verifique e limpe quaisquer obstruções no pré-filtro ou nos tubos. Substitua a bomba imediatamente, se estiver com defeito.
Poça de água sob o sistema ou água excepcionalmente baixa.	Vazamentos ou rachaduras.	Toda a água irá drenar, estressando e eventualmente matando os peixes e as plantas.	1) Corrija quaisquer vazamentos ou furos imediatamente. 2) Use o tubo vertical para evitar que o tanque de peixes perca água. 3) Reabasteça os tanques com água.
A água no sistema e nas laterais do tanque de peixes parece verde.	Floração de algas.	OD irá diminuir.	Sombreie o sistema e remova fisicamente a proliferação de algas.
2) Problemas com a qualidade de água			
Amônia ou nitrito > 1 mg/L.	1) As bactérias não estão atuando. 2) Muitos peixes para o tamanho do biofiltro. 3) Biomassa não viva acumulada: restos de comida, peixes mortos, resíduos sólidos.	Os peixes ficarão estressados e morrerão.	1) Troque imediatamente ⅓-½ da água do sistema por água nova. 2) Remova todos os restos de ração, peixes mortos ou de resíduos sólidos no tanque. 3) Pare de alimentar os peixes até que os níveis diminuam. 4) Certifique-se de que o pH e a temperatura sejam ideais para as bactérias. 5) Se o nitrito estiver alto,

			adicione 1 g de sal para cada litro para neutralizar imediatamente o risco de toxicidade. Depois, troque todo o volume de água durante um período de duas semanas. 6) Recalcular as proporções de componentes, tamanho do biofiltro e regime de alimentação.
Níveis de nitrato > 120 mg/L durante várias semanas.	Alta taxa de arraçoamento.	Sem problemas imediatos, mas pode ocorrer toxicidade se o nitrato continuar aumentando.	Troque a água. Essa água retirada do sistema pode ser utilizada para irrigar as plantações.
A dureza de carbonato (KH) é de 0 mg/L.	Todo o carbonato é usado pelo ácido gerado na unidade aquapônica.	O pH da água mudará rapidamente, estressando os peixes e as plantas.	Adicione carbonato de cálcio (pedra calcária ou conchas) à unidade.
3) Problemas com os peixes			
Os peixes estão ‘boqueando’ na superfície da água.	Os níveis de oxigênio estão muito baixos.	Os peixes ficarão altamente estressados e morrerão.	1) Certifique-se de que a eletricidade está ligada e a bomba está funcionando totalmente. 2) Certifique-se de que o sifão de sino e as bombas de ar estejam funcionando. 3) Certifique-se de que os tanques do sistema estejam totalmente cobertos para reduzir a temperatura. 4) Adicione aeração

			suplementar.
Os peixes não estão comendo.	1) OD está baixo. 2) Amônia e/ou nitrito estão muito altos. 3) O pH está muito alto ou muito baixo. 4) Os peixes têm doenças.	Os peixes ficam estressados e desenvolvem doenças ou morrem.	1) Realizar testes de qualidade da água para amônia, pH, nitrito e nitrato. 2) Identifique a causa do estresse (aumento de pH, aumento de amônia ou nitrito, diminuição de oxigênio, poluição orgânica, doenças) e resolva o problema.
A temperatura da água está muito alta (> 33 °C) ou muito baixa (< 15 °C).	Clima.	Se a temperatura estiver muito alta, os peixes param de comer e as plantas começam a murchar e morrer. Se a temperatura estiver muito baixa, as bactérias param de atuar, alguns peixes podem não comer.	1) No verão, certifique-se de que os tanques do sistema estejam sombreados para que a água permaneça relativamente fria. 2) No inverno, isole os tanques de peixes. Em seguida, use aquecedores solares ou elétricos e reduza a quantidade de ração e hortaliças na unidade. 3) Substitua as espécies de peixes por outras mais apropriadas para aquele clima.
4) Problemas com as plantas			
As plantas não estão crescendo e/ou as folhas estão mudando de cor.	As plantas estão com deficiência em alguns nutrientes essenciais (ou a temperatura está muito alta para	As plantas não crescerão ou produzirão frutos.	1) Certifique-se de que a qualidade da água está ótima para as plantas. 2) Verifique os níveis de nitrato: se

	certas plantas, as plantas estão doentes).		estiverem muito baixos, aumente lentamente a quantidade de ração dos peixes por dia. 3) Verifique se há alguma doença de raiz/caule. 4) Adicione fertilizante seguro para aquaponia nas plantas.
Os níveis de nitrato são altos, mas as folhas das plantas estão amarelando.	1) O pH não está no nível ideal (muito alto ou baixo). 2) As plantas estão com deficiência em alguns nutrientes essenciais.	As plantas não crescerão totalmente ou produzirão frutos.	1) Verifique se o amarelecimento está nas folhas novas ou velhas. Se for nas novas, adicione ferro até 3 mg/L. 2) Verifique o pH e ajuste se não estiver ótimo. 3) Adicione fertilizante seguro para aquaponia, como composto ou extrato de algas marinhas, às plantas.
Os vegetais ao redor do tubo de entrada de água estão prosperando enquanto outros vegetais mais distantes estão crescendo com dificuldades.	Os vegetais ao redor do tubo de entrada estão consumindo todos os nutrientes.	Crescimento desigual de hortaliças em leitos de mídia.	1) Espalhe a água ao redor dos canteiros de cultivo usando um tubo de irrigação com pequenos orifícios. 2) Remova o tubo vertical do leito de mídia todos os dias para liberar a água do leito de mídia para o tanque do reservatório. 3) Verifique os níveis de nitrato; se estiver muito baixo, aumente lentamente a

			quantidade de ração dos peixes fornecida por dia.

8.8 RESUMO DO CAPÍTULO

Os dez aspectos mais importantes do manejo da unidade aquapônica são:

- Observar e monitorar o sistema todos os dias.
- Assegurar aeração e circulação de água adequadas com bombas de água e bombas de ar.
- Manter a boa qualidade da água: pH 6-7; OD > 5 mg/L; NAT < 1 mg/L; NO_2^- < 1 mg/L; NO_3^- 5-150 mg/L; temperatura 18-30 °C.
- Escolher peixes e plantas de acordo com o clima local e da estação.
- Não superlotar os tanques de peixes (< 20 kg/1.000 L).
- Evitar a superalimentação e remover qualquer ração não consumida após 30 minutos.
- Remover os resíduos sólidos e manter os tanques limpos e sombreados.
- Equilibrar o número de plantas, peixes e tamanho do biofiltro.
- Colheita escalonada e repovoamento/replantio para manter o equilíbrio.
- Não deixar que os agentes patogênicos entrem no sistema vindos de pessoas ou animais e não contaminar as hortaliças com a água do sistema, permitindo que a água do sistema molhe as folhas.

9. TÓPICOS ADICIONAIS EM AQUAPONIA

Este capítulo final discute tópicos menores, mas também importantes, relacionados ao manejo de unidades aquapônicas de pequena escala. Aquaponia requer vários insumos essenciais, incluindo ração para peixes, eletricidade, sementes/mudas, alevinos de peixes, fertilizante vegetal suplementar e água para reabastecer a unidade. Todos esses insumos estão disponíveis para compra, mas existem métodos simples de produção, muitos deles localmente disponíveis, usando práticas sustentáveis. Esses métodos podem reduzir os custos operacionais anuais da unidade e ajudar a manter a produção o mais ambientalmente responsável possível.

Não permita que toda a água escoe do sistema aquapônico. Canos quebrados, conexões soltas ou mangueiras não protegidas podem drenar toda a água. Isso mataria os peixes e causaria grande perturbação no sistema. Diversas técnicas de segurança contra falhas são discutidas para proteger o nível da água. Finalmente, há uma breve discussão sobre como a aquaponia se encaixa em outros tipos de agricultura e como pode ser mais integrada.

9.1 ALTERNATIVAS LOCAIS SUSTENTÁVEIS PARA INSUMOS AQUAPÔNICOS

9.1.1 Fertilizantes orgânicos para plantas

O Capítulo 6 discute como mesmo sistemas aquapônicos equilibrados podem sofrer deficiências de nutrientes. Embora a ração para peixes seja um alimento completo para peixes, ela não tem necessariamente as quantidades certas de nutrientes para as plantas. Geralmente, as rações para peixes têm baixos valores de ferro, cálcio e potássio. Deficiências nas plantas também podem surgir em condições de crescimento abaixo do ideal, como clima frio e meses de inverno. Assim, uma adição suplementar de fertilizantes de plantas pode ser necessária, particularmente ao cultivar hortaliças frutíferas ou aqueles com alta demanda de nutrientes. Os fertilizantes sintéticos costumam ser indesejáveis na aquaponia e podem perturbar o equilíbrio do ecossistema; em vez disso, a aquaponia pode contar com o extrato de composto para qualquer suplementação de nutrientes.

Processo geral de compostagem

O composto é um fertilizante rico feito de matéria orgânica decomposta, incluindo resíduos de alimentos. O composto é extremamente útil nos plantios realizados no solo para reabastecer a matéria orgânica, reter a umidade e fornecer nutrientes. Além disso, o composto pode ser usado para criar um fertilizante líquido, chamado extrato de composto, que pode ser adicionado à água do sistema de aquaponia para aumentar o fornecimento de nutrientes. Convenientemente, um composto de alta qualidade pode ser feito a partir de resíduos alimentares domésticos. Basicamente, estes resíduos são adicionados a um recipiente, denominado unidade de compostagem. Dentro da unidade de compostagem, bactérias aeróbicas, fungos e outros organismos decompõem a matéria orgânica em nutrientes simples para serem consumidos pelas plantas. A substância final produzida é chamada de húmus. Consiste em cerca de 65 % de matéria orgânica, é livre de patógenos e está repleto de nutrientes. Todo o processo, desde os resíduos de alimentos até o húmus, pode levar

até seis meses, dependendo da temperatura dentro da unidade de compostagem e da qualidade da aeração.

Uma unidade de compostagem é geralmente um recipiente em forma de tambor de 200 a 300 L com uma tampa e muitas aberturas (Figura 9.1). Geralmente são de cor escura para reter o calor, o que acelera o processo de decomposição. Muitos tipos de unidades de compostagem estão disponíveis, e eles são muito fáceis de construir com peças recicladas. Unidades de compostagem que possam ser giradas ou tombadas, como por exemplo tambores/barris, são recomendadas porque requerem menos espaço e permanecem bem arejadas e homogêneas. Importante certificar-se de ter espaço suficiente para girar o tambor corretamente. Todas as unidades de compostagem exigem fluxo de ar.

FIGURA 9.1 **Unidade de compostagem vertical**

Ao fazer o composto, é importante administrar os materiais que vão para ele. É melhor manter uma boa proporção de material orgânico seco e úmido em camadas em quantidades iguais para atingir um teor de umidade de cerca de 60 a 70 %. Como as duas a três semanas iniciais são um processo aeróbio térmico com temperaturas de até 60-70 °C, é importante evitar umidade excessiva que poderia reduzir o calor. A fase térmica acelera o processo de compostagem e ajuda a pasteurizar os resíduos orgânicos de quaisquer patógenos possíveis. A estratificação é importante para evitar que o composto fique muito úmido e para evitar zonas anaeróbicas. A aeração frequente da pilha é uma tarefa importante para manter as bactérias em condições aeróbias e processar os resíduos de maneira uniforme. A operação consiste em simplesmente virar os resíduos de cabeça para baixo ou girar periodicamente o tambor/recipiente. Isso ajuda a aerar as bactérias aeróbias.

Um bom composto verde pode ser obtido a partir de uma mistura de materiais úmidos, como sobras de alimentos vegetais, café moído, frutas e hortaliças, e materiais secos como pão, aparas de grama, folhas secas, palha, cinzas, serragem ou lascas de madeira (sem tratamento). No entanto, é importante manter um equilíbrio ideal entre carbono e nitrogênio (razão C:N entre 20 e 30), pois isso resulta em uma transformação rápida do material. Em geral, é aconselhável não usar muita palha ou aparas de madeira (C:N > 100), mas sim resíduos ‘verdes’, como aparas de grama, de preferência ligeiramente secas para reduzir seu teor de umidade. Não é recomendado

usar muitas cinzas de madeira para evitar aumentos excessivos de pH, e usar apenas cinzas de madeira/origem vegetal, pois outras fontes (por exemplo, papel) podem conter substâncias tóxicas. Alguns materiais nunca devem ser compostados [NT: para uso em aquaponia], incluindo laticínios, carne, frutas cítricas, plástico, vidro, metal e náilon. O composto é muito tolerante, mas idealmente o composto deve ter umidade e nitrogênio suficientes para alimentar todos os organismos benéficos. Água pode ser adicionada se o composto estiver muito seco. O aumento da temperatura do composto indica intensa atividade microbiana, indicando que o processo de compostagem está ocorrendo. Na verdade, o composto fica tão quente que pode ser usado para aquecer estufas.

Vermicompostagem é um método especial de compostagem que usa minhocas na unidade de compostagem (Figura 9.2). Existem vários benefícios em adicionar minhocas. Primeiro, elas aceleram o processo de decomposição à medida que consomem resíduos orgânicos. Em segundo lugar, seus resíduos são um fertilizante extremamente eficaz e completo. Unidades de vermicomposto especiais podem ser compradas ou construídas, e há uma abundância de informações disponíveis. É importante obter minhocas de uma fonte confiável e garantir que elas nunca tenham comido carne ou resíduos de animais. Depois de compostado, o material pode ser usado diretamente no viveiro de plantas para iniciar com as sementes, pois isso irá introduzir os nutrientes no sistema aquapônico assim que as mudas forem transplantadas. Como alternativa, os resíduos podem ser transformados em um extrato de composto.

FIGURA 9.2 **Minhocas (*Eisenia fetida*) de uma unidade de vermicompostagem**

Extrato de composto e mineralização secundária

Quando o lixo orgânico finalmente se decompõe em húmus, o que pode levar de quatro a seis meses, é possível fazer o extrato do composto. O processo é simples. Vários grandes punhados de composto são amarrados dentro de um saco de malha, com algumas pedras para fazer peso. Esta bolsa fica suspensa em um balde d'água (20 L). Uma pedra porosa conectada a uma pequena bomba de ar é posicionada embaixo da bolsa de malha para que agitem o conteúdo (Figura 9.3). A aeração é muito importante para evitar a ocorrência de fermentação anaeróbica. A mistura é deixada vários dias com aeração constante. O conteúdo deve ser agitado ocasionalmente para evitar áreas anóxicas. Após dois ou três dias, o extrato do composto está pronto para ser usado na unidade. O extrato deve ser coado em um pano fino e diluído com água na proporção de 1:10. Aplicar nas plantas como suplemento

foliar utilizando um recipiente de pulverização ou como fertilizante líquido direto nas raízes da planta. Se adicionar o extrato diluído diretamente na unidade, é aconselhável iniciar com pequenas quantidades (50 mL) e documentar pacientemente a mudança no crescimento das plantas. Reaplicar quando necessário, mas com cuidado para não adicionar demais.

FIGURA 9.3 **Preparando extrato de composto (colocado na malha) em um balde usando uma bomba de ar**

Outros extratos de nutrientes

Além do composto, existem muitos outros materiais orgânicos ricos em nutrientes que podem ser transformados em extratos de nutrientes da maneira explicada acima. Uma delas é o aproveitamento dos resíduos sólidos do tanque de peixes, coletados pelo filtro mecânico. Produzidos da mesma forma, os resíduos sólidos são completamente mineralizados e disponíveis para serem adicionados de volta ao sistema aquapônico. Outras fontes incluem algas, urtigas e confrei. Algas marinhas são um ótimo complemento por serem ricas em potássio e ferro, que muitas vezes faltam na aquaponia, mas é necessário certificar-se de enxaguar o sal residual das algas marinhas. Grandes quantidades de extratos de fertilizantes orgânicos também podem ser usados para manter temporariamente o sistema aquapônico sem peixes. Isso pode ser útil nos meses mais frios do ano, quando o metabolismo dos peixes é baixo e as plantas precisam de um reforço de nutrientes.

Segurança do composto

Ao usar o composto, deve-se certificar de que esteja totalmente decomposto - tornando-o livre de patógenos. Nunca utilizar fontes orgânicas de animais de sangue quente, o que aumenta o risco de introdução de patógenos. Além disso, a água deve estar bem oxigenada e constantemente aerada ao produzir o extrato, pois isso ajuda na mineralização e previne o crescimento de alguns tipos de bactérias patogênicas. Deve-se evitar colocar a água do sistema aquapônico nas folhas das plantas, especialmente quando usar extrato de composto. Para mais informações sobre como preparar o extrato composto, consultar a seção Leitura Adicional.

9.1.2 Dieta alternativa para peixes

A ração para peixes é um dos insumos mais importantes e caros para qualquer sistema aquapônico. Esta pode ser adquirida ou produzida. Os autores recomendam

fortemente o uso de ração para peixes de qualidade, porque deve ser um alimento completo para peixes, ou seja, os *pellets* devem atender a todas as necessidades nutricionais dos peixes. Mesmo assim, abaixo está um exemplo de ração suplementar caseira para peixes que pode ser facilmente produzida, o que pode ajudar a economizar ou ser usada temporariamente se rações industrializadas não estiverem disponíveis ou forem muito caras. Mais informações sobre a produção de *pellets* de ração caseira estão disponíveis no Apêndice 5.

Lentilha d´água

A lentilha d'água é uma planta aquática flutuante de crescimento rápido que é rica em proteínas e pode servir como fonte de alimento para carpas e tilápias (Figura 9.4). A lentilha d'água pode dobrar sua massa a cada um ou dois dias em condições ideais, o que significa que metade da lentilha d'água pode ser colhida todos os dias. A lentilha d'água deve ser cultivada em um tanque separado dos peixes, pois, caso contrário, os peixes consumiriam todo o estoque. A aeração não é necessária e a água deve fluir lentamente através do contêiner. A lentilha d'água pode ser cultivada em locais expostos ao sol ou semi-sombreados. O excedente de lentilha d'água pode ser armazenado e congelado em sacos para uso posterior. A lentilha d'água também é um alimento útil para aves.

A lentilha d'água é um complemento útil para um sistema aquapônico, especialmente se o contêiner de lentilha d'água estiver localizado ao longo da linha de retorno entre os canteiros de plantas e o tanque de peixes. Quaisquer nutrientes que escapam dos canteiros de plantas fertilizam a lentilha d'água, garantindo assim uma água possivelmente mais limpa retornando aos peixes. A lentilha d'água não fixa o nitrogênio atmosférico e, em última análise, toda a proteína da lentilha d'água vem da ração dos peixes ou de outras fontes externas.

FIGURA 9.4 **Lentilha d'água crescendo em um recipiente como suplemento alimentar para peixes**

Azolla, uma pteridófita aquática

Azolla é um gênero de pteridófita que cresce flutuando na superfície da água, muito parecido com a lentilha d'água (Figura 9.5). A principal diferença é que a *Azolla* é capaz de fixar o nitrogênio atmosférico, essencialmente criando proteínas a partir do ar. Isso ocorre porque a *Azolla* tem uma relação simbiótica com uma espécie de bactéria, *Anabaena azollae*, que está contida nas folhas. Além de fornecer uma fonte gratuita de proteína, *Azolla* é uma fonte de alimento interessante devido à sua taxa de crescimento excepcionalmente alta. Como a lentilha d'água, a *Azolla* deve ser cultivada em um tanque separado com fluxo lento de água. Seu crescimento é frequentemente limitado pelo fósforo, portanto, se a *Azolla* for cultivada intensivamente, uma fonte adicional de fósforo é necessária, como o extrato de composto.

FIGURA 9.5 ***Azolla* spp. crescendo em um recipiente como suplemento alimentar para peixes**

Insetos

Os insetos são considerados pragas indesejáveis em muitas culturas. No entanto, eles têm um enorme potencial para apoiar as cadeias alimentares tradicionais com soluções mais sustentáveis. Em muitos países, os insetos já fazem parte da dieta das pessoas e são vendidos nos mercados. Além disso, eles têm sido usados como ração animal há séculos.

Os insetos são uma fonte saudável de nutrientes porque são ricos em proteínas e ácidos graxos poli-insaturados e repletos de minerais essenciais. Seu conteúdo de proteína bruta varia entre 13 e 77 % (em média 40 %) e varia de acordo com a espécie, o estágio de crescimento e a dieta de criação. Os insetos também são ricos em aminoácidos essenciais, que são um fator limitante em muitos ingredientes da ração (Apêndice 5). Os insetos comestíveis também são uma boa fonte de lipídios, pois sua quantidade de gordura pode variar entre 9 e 67 %. Em muitas espécies, o conteúdo de ácidos graxos poli-insaturados essenciais também é alto. Juntas, essas características tornam os insetos uma opção saudável e ideal tanto para alimentação humana quanto para ração de animais ou peixes.

Dado a sua enorme variedade, a escolha do inseto a ser criado pode ser adaptada à sua disponibilidade local, condições climáticas/sazonalidade e tipo de alimento disponível. A fonte de alimento para os insetos pode incluir cascas de

alimentos básicos, folhas de vegetais, resíduos vegetais, esterco e até mesmo madeira ou materiais orgânicos ricos em celulose, que são adequados para cupins, desde que a madeira não tenha sido tratada quimicamente. Os insetos também contribuem muito para a biodegradação dos resíduos, pois decompõem a matéria orgânica até que ela seja consumida por fungos e bactérias e mineralizada em nutrientes para as plantas.

A criação de insetos não é tão desafiadora quanto a de outros animais, uma vez que o único fator limitante é a alimentação e não o espaço de criação. Às vezes, os insetos são chamados de 'micro gado'. A necessidade de pouco espaço significa que 'fazendas de insetos' podem ser criadas com áreas e custos de investimento muito limitados. Além disso, os insetos são organismos de 'sangue frio' [NT: hemolinfa], o que significa que sua eficiência de conversão alimentar é muito maior do que a dos animais terrestres e semelhante à dos peixes. Existem muitas opções possíveis e conhecimento adicional sobre criação de insetos como ração na seção Leitura Adicional. Entre as muitas espécies disponíveis, uma espécie interessante para ser usada como alimento para peixes é a mosca soldado negro (veja abaixo).

Mosca soldado negro (black soldier)

As larvas das moscas soldado negro, *Hermetia illucens*, são extremamente ricas em proteínas e uma valiosa fonte de proteína para a alimentação de animais de criação, incluindo peixes (Figura 9.6). O ciclo de vida deste inseto torna conveniente e interessante a sua adição em um sistema integrado de agricultura familiar em condições climáticas favoráveis. As larvas se alimentam de esterco, animais mortos e resíduos alimentares. No cultivo de moscas soldado negro, esses resíduos são colocados em uma unidade de compostagem com drenagem e fluxo de ar adequados. Conforme as larvas atingem a maturidade, elas rastejam para longe de sua fonte de alimentação por meio de uma rampa instalada na unidade de compostagem que leva a um balde de coleta. Essencialmente, as larvas devoram resíduos, acumulam proteínas e então são coletadas. Dois terços das larvas podem ser transformadas em ração, enquanto o terço restante deve se desenvolver em moscas adultas em uma área separada. As moscas adultas não são vetores de doenças; as moscas adultas não têm aparelho bucal, não se alimentam e não são atraídas por nenhuma atividade humana. As moscas adultas simplesmente acasalam e depois retornam à unidade de compostagem para botar ovos, morrendo depois de uma semana. Foi demonstrado que as moscas soldado negro previnem as moscas domésticas e varejeiras em instalações de criação de animais e podem, na verdade, diminuir a carga de patógenos no composto. Mesmo assim, antes de alimentar os peixes com as larvas, estas devem ser processadas por segurança. Assar em um forno (170 °C por 1 h) destrói todos os patógenos e as larvas secas resultantes podem ser moídas e processadas em uma ração.

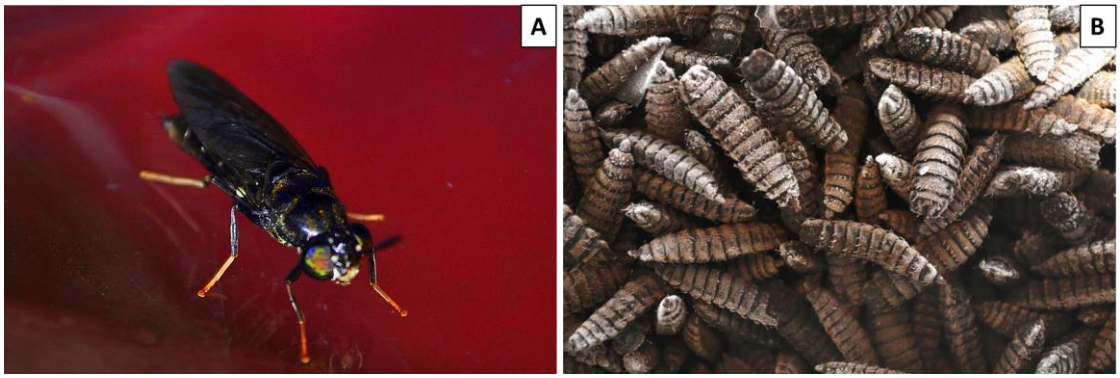


FIGURA 9.6 **Mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) adulto (A) e larvas (B)**

Moringa ou acácia branca

Moringa oleifera é uma espécie de árvore tropical muito rica em nutrientes, incluindo proteínas e vitaminas. Classificada por alguns como um superalimento e atualmente sendo usada para combater a desnutrição, é um complemento valioso para rações caseiras de peixes por causa desses nutrientes essenciais. Todas as partes da árvore podem ser comestíveis e adequadas para consumo humano, mas para a aquicultura normalmente são as folhas que são usadas. Na verdade, vários projetos aquapônicos de pequena escala na África têm tido sucesso usando folhas desta árvore como a única fonte de alimento para a tilápia. Essas árvores têm crescimento rápido e são resistentes à seca e facilmente propagadas por meio de estacas ou sementes. No entanto, elas são intolerantes à geada ou congelamento e não são apropriadas para áreas frias. Para a produção de folhas, todos os ramos são colhidos até o tronco principal quatro vezes por ano em um processo de poda.

9.1.3 Coleta de sementes

A coleta de sementes de plantas em cultivo é outra estratégia sustentável e de economia de custos importante em muitos tipos de agricultura em pequena escala. É especialmente eficaz para a aquaponia porque os vegetais são o objetivo principal da produção. A coleta de sementes é um processo simples; as sementes são discutidas aqui como duas categorias principais, sementes em frutos secos ou carnosos. [NT: Não confundir com sementes ortodoxas ou recalcitrantes, respectivamente que toleram ou não a dessecação para armazenamento; a maioria das sementes de hortaliças são ortodoxas, inclusive dos frutos secos ou carnosos mencionadas abaixo.]

Em geral, é recomendado utilizar apenas sementes de plantas maduras. As sementes das plantas jovens não germinam e as plantas velhas já terão dispersado suas sementes. Também deve-se evitar sementes de plantas híbridas, que podem ser estéreis. A coleta de muitas plantas ajuda a manter a diversidade genética e plantas saudáveis. Além disso, deve-se considerar os grupos locais de troca de sementes que estão disponíveis para comercializar sementes com outros pequenos agricultores.

Sementes em frutos secos

Esta subcategoria inclui manjericão, alface, rúcula e brócolis. As sementes de algumas dessas plantas podem ser colhidas ao longo do ciclo de crescimento, por ex. manjericão (Figura 9.7). Outras sementes só podem ser coletadas após a planta estar totalmente madura e não mais utilizável como hortaliças, por ex. alface e brócolis. O processo geral é colocar os caules secos/maduros cortados em um grande saco de papel e armazenar por três a cinco dias em um local fresco e escuro. Durante esse tempo, é útil agitar levemente o saco de papel lacrado para liberar as sementes. Em seguida, abra o saco e sacuda o caule ou toda a planta uma última vez, ainda dentro do saco. Em seguida, retire os caules e todos os restos da planta e passe-os por uma peneira para recolher o restante das sementes. Reúna essas sementes e coloque-as de volta no saco de papel, certificando-se de que apenas as sementes e nenhum resíduo de planta permaneçam.

FIGURA 9.7 **Coleta de sementes de uma planta seca de manjericão (*Ocimum* spp.)**

Sementes em frutos carnosos

Esta subcategoria inclui pepinos, tomates e pimentões. As sementes se desenvolvem dentro do próprio fruto, geralmente revestido por um saco gelatinoso, que impede a germinação das sementes. Quando os frutos estiverem prontos para a colheita, geralmente indicados por uma cor forte e vibrante, retire o fruto da planta, corte o fruto com uma faca e recolha as sementes com uma colher. Pegue as sementes revestidas com gel e coloque em uma peneira e comece a lavar o gel com água e um pano macio. Em seguida, retire as sementes e estenda-as e seque-as à sombra, virando-as de vez em quando até que estejam totalmente secas. Por fim, remova qualquer gel ou restos de plantas remanescentes e armazene-os em um pequeno saco de papel.

Armazenamento de sementes

Recomenda-se armazenar as sementes em sacos de papel ou envelopes lacrados, em local fresco, seco e escuro com o mínimo de umidade. Um pequeno refrigerador é um lugar perfeito para armazenar sementes, melhor se em um recipiente hermético com um saco dessecante (ou seja, sílica gel) para manter a umidade abaixo dos níveis necessários para o crescimento de fungos. É vital certificar-se que apenas as sementes estejam presentes, sem outras plantas ou restos de solo para afastar o risco de doenças ou germinação prematura. Resíduos de plantas e umidade também podem estimular fungos e mofo que podem danificar as sementes. Uma vez colocado nos sacos, escreva a data e o tipo de planta. Para altas porcentagens de germinação de sementes, estas devem ser usadas dentro de duas a três safras. [NT: Orientações adequadas apenas para sementes ortodoxas, a maioria das hortaliças.]

9.1.4 Captação de água da chuva

Os sistemas aquapônicos descritos nesta publicação perdem de 1 a 3 % de sua água por dia, principalmente através da transpiração pelas folhas das plantas. A coleta de água da chuva para reabastecer as unidades aquapônicas é outra forma eficaz de reduzir os custos de operação. Existem vários benefícios em usar a água da chuva para a aquaponia. Em primeiro lugar, a chuva é gratuita. A água é um recurso precioso e pode ser caro e pouco confiável em algumas áreas. Em segundo lugar, a maior parte da

água da chuva é de alta qualidade. É improvável que a água da chuva tenha toxinas ou patógenos. A água da chuva não contém sais. A água da chuva também tem baixos níveis de dureza geral (GH) e dureza carbonatada (KH) e normalmente é ligeiramente ácida. Isso é bastante útil, especialmente em áreas onde a água tem uma alta alcalinidade, porque a água da chuva pode compensar a necessidade de correção ácida da água que entra para manter o sistema aquapônico dentro da faixa de pH ideal de 6,0 a 7,0. No entanto, a dureza carbonatada (KH) mais baixa da água da chuva significa que esta fonte de água não funcionaria muito bem como um tampão contra mudanças ácidas no pH. Portanto, se estiver usando água da chuva como a principal fonte de água, uma fonte de carbonato de cálcio deve ser adicionada, conforme descrito na Seção 3.5.2. Importante ter cuidado com a superfície de coleta de água e tentar evitar coletar água ao redor de poleiros de pássaros ou onde quer que excrementos de animais se acumulem. Um método simples para reduzir qualquer risco de contaminação por patógenos é através da filtração lenta em areia, que pode ser obtida simplesmente percolando água em um filtro de areia fina de 50 a 60 cm de altura e coletando a água filtrada na abertura inferior do tanque.

A coleta de água da chuva pode ser facilmente alcançada conectando-se um grande recipiente limpo aos tubos de drenagem de água ao redor de uma edificação (Figura 9.8). Por exemplo, uma área de captação de 36 m^2 irá coletar 11.900 L de água com apenas 330 mm de chuva por ano. Parte dessa água é perdida, mas o bastante é capturado para ser suficiente para uma unidade aquapônica de pequena escala. As unidades descritas aqui consomem, em média, 2.000 a 4.000 L de água por ano. Coletar água da chuva é a parte fácil; armazenar a água da chuva é mais importante e pode ser mais desafiador. A água deve ser retida até que o sistema precise dela e a água deve ser mantida limpa. Os recipientes devem ser cobertos com uma tela para evitar a entrada de mosquitos e restos de plantas. Também ajuda manter alguns pequenos *guppies* ou alevinos de tilápia na água da chuva para comer insetos, e uma única pedra de ar evita o desenvolvimento de bactérias anóxicas.

FIGURA 9.8 **Coleta de água da chuva de um telhado**

9.1.5 Técnicas alternativas de construção para unidades aquapônicas

A engenhosidade humana forneceu inúmeras variações sobre o tema básico da aquaponia. Em seu sentido mais básico, aquaponia é simplesmente colocar peixes e vegetais em recipientes diferentes com água devidamente oxigenada/aerada

compartilhada. Tanques de água antigos, banheiras, barris de plástico, mesas, peças de madeira e metal podem ser usados na construção de uma unidade aquapônica (Figura 9.9). ‘Jangadas’ flutuantes e copos de plantio para sistemas DWC podem ser construídos de bambu ou plástico reciclado; e os sistemas de mídia podem ser preenchidos com cascalho disponível localmente. Deve-se sempre conferir se nenhum dos componentes (tanque de peixes, leitos de mídia, tubos/perfis de cultivo e acessórios de encanamento) tenha sido usado anteriormente para armazenar substâncias tóxicas ou nocivas que possam prejudicar os peixes, plantas ou humanos. Além disso, é necessário lavar bem todo o material antes de usá-lo.

O sistema aquapônico mais barato consiste em um grande buraco no solo, forrado com um forro de plástico barato de polietileno de 0,6 mm. Este tanque é separado com arame ou rede para separar os peixes das plantas. Um lado do tanque é o tanque de peixes, abastecido com uma densidade relativamente baixa de peixes, enquanto o outro é um canal DWC coberto com espuma de poliestireno. A aeração e o movimento da água são sempre necessários, mas podem ser realizados por meio de uma queda d'água a partir de uma altura considerável ou por bombeamento movido a energia humana. Transportar a água até um tanque coletor mais elevado e permitir que ela caia em cascata é um método de adicionar oxigênio sem eletricidade. Essa abordagem pode ser usada em locais onde barris e contêineres IBC são muito caros para os produtores considerarem o uso, embora a produção geral seja menor.

O Apêndice 8 demonstra métodos para fazer unidades aquapônicas usando IBCs, que podem ser facilmente encontrados em todo o mundo. Além disso, a seção Leitura Adicional lista dois diferentes guias ‘faça você mesmo’ de aquaponia.

FIGURA 9.9 **Uma banheira reciclada como leito de mídia**

9.1.6 Energia alternativa para unidades aquapônicas

A operação das bombas elétricas da unidade, tanto de ar quanto de água, requer uma fonte de energia. Normalmente, a rede elétrica normal é usada, mas não é obrigatória. Esses sistemas podem ser operados totalmente com energia renovável. Está fora do escopo desta publicação especificar planos para construção de sistemas de energia renovável, mas recursos úteis são listados na seção Leitura Adicional.

Eletricidade fotovoltaica

A energia solar é uma energia alternativa e renovável que vem da luz solar. Os painéis fotovoltaicos convertem a radiação eletromagnética do sol em energia térmica ou eletricidade (Figura 9.10). As bombas de água e ar para um sistema aquapônico podem ser alimentadas com energia solar usando células solares fotovoltaicas, um inversor de tensão CA/CC e grandes baterias para garantir o fornecimento de energia 24 h à noite ou em dias nublados. Embora altamente sustentável, a energia solar envolve um grande investimento inicial devido aos custos do equipamento extra necessário para converter e armazenar a energia das células fotovoltaicas. Contudo, em algumas áreas, há incentivos para o uso de energia solar, o que pode ajudar a compensar esses custos.

FIGURA 9.10 **Células fotovoltaicas usadas para alimentar uma bomba d'água**

Isolamento

No inverno, pode ser necessário aquecer a água. Existem muitos métodos para alcançar esse aquecimento usando combustíveis fósseis. No entanto, opções mais baratas e sustentáveis estão disponíveis, como isolamento do tanque e aquecimento em espiral. Isolar os tanques de peixes com isolamento padrão durante os meses de inverno evita a dispersão de calor do tanque de peixes. A energia térmica significativa é, na verdade, dispersa pela atividade das pedras de ar, portanto, é melhor cobrir e isolar o biofiltro ou adotar soluções alternativas de aeração que evitem o borbulhamento do ar.

Aquecimento em espiral

O aquecimento em espiral é uma forma de captura passiva de calor da energia solar. A água do sistema circula por meio de uma mangueira preta, enrolada em espiral. O material preto captura o calor do sol e o transfere para a água. Para aquecer ainda mais o sistema, a serpentina de aquecimento em espiral pode ser contida dentro de uma pequena casa de painel de vidro que serve como uma mini estufa para aumentar ainda mais o calor. Um fundo preto também pode ajudar a reter o calor. Para os sistemas descritos aqui, as dimensões recomendadas são um tubo de 25 mm de diâmetro com um comprimento de 40 a 80 m (Figura 9.11).

FIGURA 9.11 **Técnica de aquecimento de água usando tubo preto disposto em espiral**

9.2 GARANTINDO NÍVEIS DE ÁGUA PARA UMA UNIDADE DE PEQUENA ESCALA

Um dos desastres mais comuns para unidades aquapônicas de pequena escala ou comerciais é um evento de perda de água em que toda a água é drenada da unidade. Isso pode ser catastrófico e matar todos os peixes, destruindo o sistema. Existem várias maneiras comuns de isso acontecer, incluindo cortes de eletricidade, canos entupidos, ralos deixados abertos, esquecimento de adicionar água nova ou interrupção do fluxo de água por animais. Todos esses problemas podem ser fatais para os peixes em questão de horas, se os problemas não forem resolvidos imediatamente. Abaixo está uma lista de métodos para evitar algumas das situações acima.

9.2.1 Boia de nível

Boias de nível são dispositivos baratos usados para controlar a bomba dependendo do nível de água (Figura 9.12). Se o nível de água no tanque coletor cair abaixo de uma certa altura, a boia desligará a bomba. Isso evita que a bomba bombeie toda a água para fora do tanque. Da mesma forma, boias podem ser usadas para encher o sistema aquapônico com água de uma mangueira ou cano principal. Uma boia de nível semelhante a uma válvula de banheiro pode garantir que o nível da água nunca caia abaixo de um certo ponto. Deve-se notar que em certos tipos de eventos de perda de água, como um cano quebrado, este método pode garantir que os peixes sobrevivam, mas na verdade torna a inundação muito pior, e pode não ser apropriado para aplicações em ambientes internos.

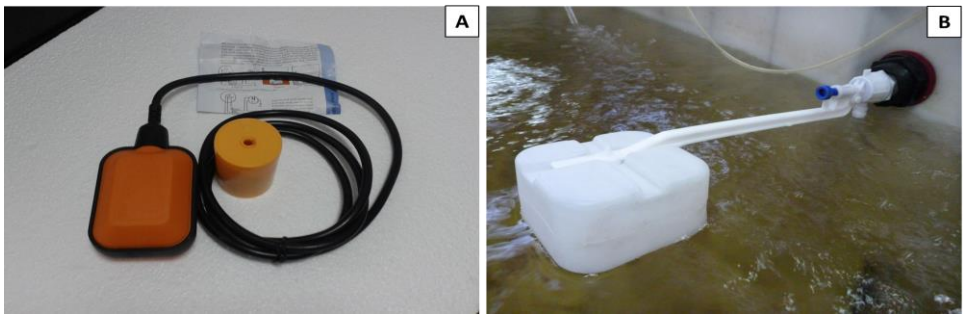


FIGURA 9.12 **Boia automática flutuante controlando uma bomba de água (A) e uma boia de nível flutuante controlando a rede de água (B)**

9.2.2 Tubos de transbordamento (dreno/ 'ladrão')

Tubos de transbordamento devolvem a água do ponto mais alto da unidade de volta ao reservatório, caso os canos de drenagem normais fiquem entupidos (Figura 9.13). Nestes designs, o ponto mais alto é o tanque de peixes, mas outros designs têm canteiros de crescimento acima do tanque de peixes. Independentemente disso, se os tubos ficarem obstruídos, o que pode ocorrer se folhas de plantas, mídia ou resíduos de peixes se acumularem, os tubos de transbordamento, também chamados de 'ladrão', podem drenar a água com segurança de volta para o reservatório. Isso elimina o risco de bombear a água pela parte superior do sistema e drenar os tanques.

9.2.3 Tubos verticais

Tubos verticais são usados em tanques de drenagem de fundo para evitar que toda a água escoe, normalmente instalados em tanques de peixes. Dentro do tanque em questão, um tubo vertical é inserido no dreno (Figura 9.14). Essa técnica define a altura da coluna d'água; a água não fica mais profunda ou rasa do que o topo do tubo. No entanto, esta solução também significa que a água do fundo do tanque de peixes não é drenada, a menos que um tubo mais largo e mais alto com aberturas largas no fundo seja posicionado para circundar concentricamente o tubo vertical. Ao fazer isso, a água entra pelo fundo e flui para cima no interespaço estreito até que ele saia do topo do tubo vertical. Este método é muito seguro, mas requer que o tubo externo seja ocasionalmente movido para mobilizar os resíduos entupidos no espaço entre os dois tubos.

FIGURA 9.13 **Tubo de transbordamento em um biofiltro**

FIGURA 9.14 **Tubo vertical em um canal de cultivo em águas profundas mantendo a altura da coluna de água**

9.2.4 Cercas para animais

Animais e pássaros oportunistas também podem causar perda de água ao remover, deslocar ou quebrar canos de água no processo de busca de água para beber ou peixes e hortaliças para comer. Para evitar isso, uma cerca simples para animais pode ser instalada.

9.3 INTEGRAÇÃO DA AQUAPONIA COM OUTROS CULTIVOS

Aquaponia pode ser usada sozinha, mas se torna uma ferramenta mais forte para o pequeno agricultor quando usada em conjunto com outras técnicas agrícolas. Já foi discutido como outras plantas e insetos podem ser cultivados para complementar a dieta dos peixes, mas a aquaponia também pode ajudar outros cultivos. Geralmente, a água rica em nutrientes das unidades aquapônicas pode ser compartilhada entre outras áreas de produção de plantas.

9.3.1 Irrigação e fertilização

As unidades aquapônicas são uma fonte de água rica em nutrientes para a produção de hortaliças. Essa água também pode ser usada para fertilizar plantas ornamentais, gramados ou árvores. A água aquapônica é um excelente fertilizante orgânico para todas as atividades de produção baseadas no solo. Para vegetais crescendo em canteiros ou canteiros elevados, a água aquapônica pode ser periodicamente retirada da unidade e irrigada para o espaço de cultivo, dando ao solo um reforço de nutrientes essenciais para os vegetais. Se cultivar hortaliças frutíferas maiores, como por exemplo tomates, utilizando vasos ou em qualquer espaço com bom acesso à luz solar, a água aquapônica também pode ser usada como fertilizante rico em nitrato durante os estágios iniciais do desenvolvimento de folhas e caules. A água aquapônica também é boa para a germinação das sementes.

9.3.2 Irrigando leitos de absorção

Leitos de absorção são outra forma de canteiro de cultivo elevado que é extremamente eficiente em termos de água. O próprio leito tem um reservatório de água no fundo do recipiente cheio de cascalho graúdo. Acima desse cascalho está uma boa mistura de algum substrato que retenha umidade. Essas duas zonas são geralmente separadas com tecido ou tela de sombreamento, geotêxtil ou outro tecido. As plantas são plantadas no solo. Um tubo de abastecimento desce através da zona superior do solo até a zona inferior do reservatório de água. A água é puxada para cima do reservatório para a zona radicular por capilaridade (Figura 9.15). Isso elimina a necessidade de irrigação aérea e muito menos água é perdida por evaporação. As raízes que crescem no solo úmido têm um suprimento contínuo de água, oxigênio e nutrientes. Os canteiros podem ser regados com água padrão, mas o uso de água aquapônica também fornece nutrientes e evita a necessidade de fertilizantes. Uma válvula instalada na parte inferior dos recipientes das camas de drenagem ajuda a liberar periodicamente a água evitando o acúmulo de sais e/ou zonas anaeróbicas.

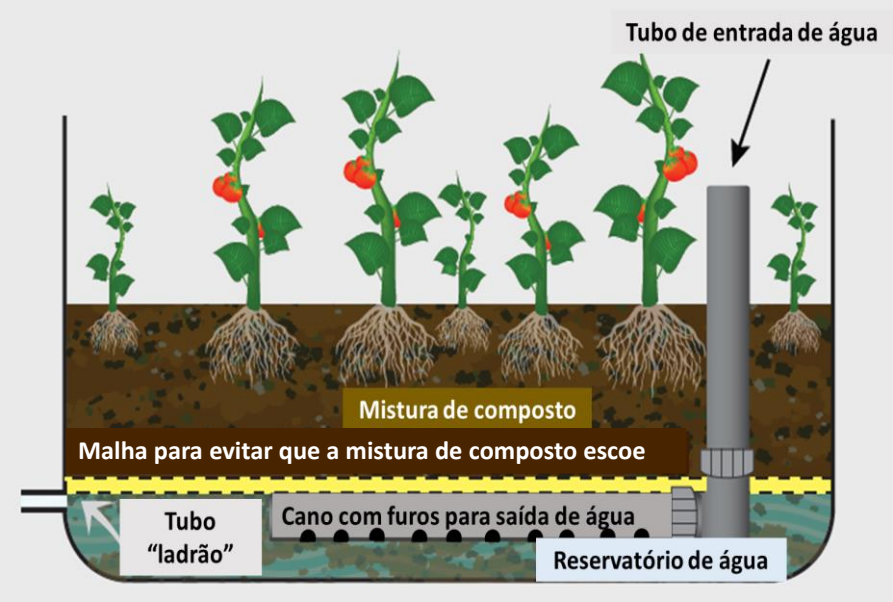


FIGURA 9.15 **Ilustração de um sistema de leito de absorção**

Canteiros com leitos de absorção são um excelente método de cultivo de hortaliças em regiões áridas e com escassez de água, pois apenas metade da água é necessária em comparação com os métodos de irrigação padrão 'de cima para baixo'. Os canteiros podem ser feitos de recipientes à prova d'água ou escavados no solo e impermeabilizados com um forro de polietileno que armazena a água, tornando-os métodos ideais para produzir alimentos em áreas urbanas áridas e semiáridas com pouco ou nenhum acesso ao solo (Figura 9.16).

FIGURA 9.16 **Um exemplo de um leito de absorção usando um recipiente plástico**

Outro método é colocar um leito de absorção em cima de um leito de mídia dentro do sistema aquapônico adequado. O tecido cria essencialmente uma passagem de sentido único, mantendo o solo fora do sistema, mas permitindo que a água percorra a zona da raiz. Este método pode ser usado para cultivar tubérculos e raízes vegetais, como taro, cebola, beterraba e cenoura. Para obter mais informações sobre o conceito de leito de absorção, é possível consultar as fontes listadas na seção Leitura Adicional.

9.4 EXEMPLOS DE CONFIGURAÇÕES AQUAPÔNICAS DE PEQUENA ESCALA

A aquaponia tem sido usada com sucesso em uma ampla variedade de locais. Além disso, as técnicas aquapônicas foram revisadas para atender às diversas necessidades e objetivos dos agricultores, além dos métodos comuns de IBC ou tambor (descritos ao longo desta publicação). Existem muitos exemplos, mas estes foram escolhidos para destacar a adaptabilidade e diversidade da aquaponia.

9.4.1 Aquaponia para sustento em Mianmar

Um sistema aquapônico em escala piloto foi construído em Mianmar para promover a agricultura em micro escala durante a implementação de um projeto *e-Women* financiado pela Cooperação Italiana para o Desenvolvimento. O objetivo era criar uma unidade produtiva sob critérios de baixa tecnologia e baixo custo usando materiais localmente disponíveis e energia solar autônoma. O sistema abrigava tilápia e uma grande variedade de hortaliças (Figura 9.17). O sistema foi utilizado para o desenvolvimento de uma análise de custo-benefício, incluindo depreciação, para sistemas de escala domiciliar com o objetivo de atingir a meta de renda diária de US$ 1,25 estabelecida pelo Objetivo de Desenvolvimento do Milênio.

FIGURA 9.17 **Uma estrutura de bambu é preenchida com solo (A), escavada e então forrada com polietileno para criar um canal de cultivo e um leito de mídia (B)**

Usando os preços locais de Mianmar, um sistema aquapônico de 27 m^2 dentro de uma estufa telada feita de bambu e alimentado por painel solar custa US$ 25,00/m^2. Este sistema fornece um lucro líquido de US$ 1,60 a 2,20 por dia com hortaliças e fornece diariamente cerca de 400 g de tilápia para consumo doméstico. O período de retorno é de 8,5 a 12 meses, dependendo das safras. A estufa telada de bambu evita qualquer necessidade de controle de pragas e evita a sazonalidade, garantindo renda e proteção contra as condições climáticas adversas (chuva). A produção de alevinos, muito comum entre os agricultores do Sudeste Asiático, pode ser outra opção interessante em aquaponia para aumentar ainda mais a renda de famílias pobres ou sem-terra.

Este projeto piloto mostrou que a aquaponia pode desempenhar um papel importante na segurança alimentar e meios de subsistência em muitas áreas do mundo. A produção de peixes e vegetais em pequenos lotes permite que pessoas em vulnerabilidade gerem renda, agrega valor ao trabalho doméstico e empodera as mulheres em nível comunitário.

9.4.2 Aquaponia salina

A integração da aquicultura marinha ou de água salobra com a agricultura oferece novas maneiras de produzir alimentos em áreas costeiras ou propensas à salinidade, onde a agricultura tradicional não pode ser desenvolvida. O cultivo interior de animais aquáticos, além dos benefícios ambientais derivados da poluição ou da restauração da paisagem, é benéfico para o maior controle dos fatores de produção e redução dos riscos relacionados a contaminantes ou patógenos. Mesmo que a água salgada não seja ideal para as plantas, pois cria choques osmóticos, limita o crescimento e causa toxicidade pelo sódio, ainda é possível cultivar algumas plantas capazes de desenvolverem-se em salinidade mais baixa.

Uma ampla gama de plantas pode se beneficiar da água rica em nutrientes obtida a partir da aquaponia ou de sistemas fechados de recirculação. Halófitas (espécies tolerantes ao sal) podem aumentar a produção de alimentos em áreas áridas e salinas e aumentar a produtividade agrícola. Algumas espécies são culturas especializadas de alto valor, como *Salsola* spp. (Figura 9.18), erva-doce, *Atriplex* spp.

ou *Salicornia* spp., enquanto outras são cultivadas para grãos, como milheto, quinoa e erva-doce, e ainda outras podem ser cultivadas para biodiesel. As condições salinas ideais para halófitas estão na faixa de salinidade de um terço a metade da encontrada no mar, mas algumas plantas são tolerantes a condições hipersalinas.

FIGURA 9.18 ***Salsola*** **spp. crescendo em água com salinidade de dois terços da salinidade do mar.** ***Salsola*** **produz de 2 a 5 kg/m^2 todos os meses**

A adaptação de plantas hortícolas à água salgada é um dos maiores desafios da agricultura moderna. No entanto, é possível cultivar algumas espécies hortícolas diretamente com água salobra. A maioria das plantas pertencentes à família Chenopodiaceae (beterraba, acelga) pode crescer facilmente em uma salinidade de um sexto a um terço da salinidade do mar devido à sua maior resistência ao sal (Figura 9.19). Outras espécies comuns, como tomate e manjericão, podem atingir uma produção substancial em até um décimo da salinidade do mar (Figura 9.20), desde que estratégias agronômicas personalizadas sejam adotadas: aumento das concentrações de nutrientes, biocondicionamento de plantas, enxertia com porta-enxertos tolerantes ao sal, melhor controle climático e maiores densidades de plantio. No entanto, as características qualitativas das culturas salinas são superiores às de água doce, tanto por suas características organolépticas, quanto pelo sabor e pelo tempo de prateleira.

FIGURA 9.19 **Beterraba marítima crescendo em uma folha de poliestireno em uma unidade de cultivo em águas profundas com um terço da salinidade marinha**

FIGURA 9.20 **Tomate enxertado crescendo na areia a um décimo da salinidade marinha**

9.4.3 *Bumina* e *Yumina*

Existe uma técnica aquapônica da Indonésia que merece atenção especial. Em Bahasa, Indonésia, essa técnica é chamada de *bumina* e *yumina*, traduzidas literalmente como 'fruta-peixe' e 'vegetal-peixe', respectivamente. Este nome demonstra o quão intimamente ligados estão as plantas e os peixes dentro de um sistema aquapônico. *Bumina* e *yumina* são essencialmente uma versão da técnica do leito de mídia.

Os peixes são alojados em um tanque escavado na terra e revestido com sacos de areia ou tijolos ocos. Este tanque é forrado com uma lona, ou melhor, um forro de polietileno. O revestimento do solo é necessário para evitar a ocorrência de reações biológicas e químicas indesejadas nos sedimentos do fundo e ajuda a manter o sistema limpo. Alternativamente, os peixes são alojados dentro de uma cisterna elevada de concreto. A água é bombeada desse tanque para um tanque coletor, geralmente construído com um grande tambor de plástico. Este tambor pode conter material filtrante mecânico e biológico se a densidade de estocagem for alta o suficiente para exigi-lo. A partir deste tambor coletor, a água é alimentada, por gravidade, através de um tubo de distribuição. Todo o tanque é forrado com vasos satélites, vasos de flores simples ou outros pequenos recipientes cheios de substratos orgânicos. O tubo de distribuição fica em cima desses vasos satélites e a água é fornecida por pequenos orifícios. A água irriga e fertiliza as plantas nesses vasos e, em seguida, sai do fundo dos vasos de volta para o tanque de peixes (Figura 9.21). O efeito da água em cascata também ajuda a aerar o tanque de peixes.

Bumina e *yumina* são usadas como um componente importante das iniciativas de segurança alimentar em toda a Indonésia com o objetivo de aumentar a produção doméstica de proteínas. O investimento inicial desses sistemas é menor do que o dos sistemas IBC descritos nesta publicação, mas eles exigem um tanque no solo, portanto, não são aplicáveis para algumas situações urbanas, internas ou em terraços.

FIGURA 9.21 **Sistemas *bumina* na Indonésia com tanques de peixes de concreto centralizados (A, B) cercados por leitos de mídia satélites cultivando morango (C) e tomate (D)**

9.5 RESUMO DO CAPÍTULO

- O extrato de composto pode ser usado para suplementar nutrientes para as plantas e ser produzido em pequena escala pela compostagem de resíduos vegetais.
- Dietas alternativas e suplementares para peixes podem ser cultivadas e/ou produzidas em pequena escala, incluindo lentilha-d'água, *Azolla* spp., insetos e moringa.
- As sementes podem ser coletadas e armazenadas usando técnicas simples para reduzir os custos de nova propagação.
- A coleta e o armazenamento de água potável fornecem uma maneira econômica de reabastecer a água do sistema aquapônico.
- Devem ser empregados métodos à prova de falhas para evitar eventos catastróficos de perda de água que podem matar os peixes.
- A água do sistema aquapônico pode ser usada para fertilizar e irrigar outras atividades agrícolas ou de jardinagem.
- Existem muitos tipos e métodos de aquaponia além dos exemplos descritos nesta publicação.

Leitura Adicional

Recirculação na aquicultura e reprodução de peixes

Lim, C. & Webster, C.D. 2006. *Tilapia: biology, culture, and nutrition.* Bing Hampton, USA, Haworth Press. 678pp.

Timmons, M.B. & Ebeling, J.M. 2010. *Recirculating aquaculture.* Ithaca, USA, Cayuga Aqua Ventures. 975pp.

Szyper, J.P., Tamaru, C.S., Howerton, R.D., Hopkins, K.D., Fast, A.W. & Weidenbach, R.P. 2001. *Maturation, hatchery and nursery techniques for Chinese catfish,* Clarias fuscus*, in Hawaii.* Aquaculture Extension Bulletin. University of Hawaii Sea Grant College Program.

Woynarovich, A., Moth-Poulsen, T. & Péteri, A. 2010. *Carp polyculture in Central and Eastern Europe, the Caucasus and Central Asia: A manual.* FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 554. Rome, FAO. 73 pp. (Também disponível em: www.fao.org/docrep/013/i1794e/i1794e00.htm).

Perfis de espécies

FAO. 2014. Species profiles. In: *FAO Aquaculture Feed and Fertilizer Resources Information System* [online]. Rome. [Cited 2September 2014]. www.fao.org/fishery/affris/species-profiles/en/

FAO. 2014. Nile tilapia - *Oreochromis niloticus*. In: *FAO Aquaculture Feed and Fertilizer Resources Information System* [online]. Rome. [Cited 2September 2014]. www.fao.org/fishery/affris/species-profiles/nile-tilapia/nile-tilapia-home/en/

FAO. 2014. Common carp - *Cyprinus carpio*. In: *FAO Aquaculture Feed and Fertilizer Resources Information System* [online]. Rome. [Cited 2September 2014]. www.fao.org/fishery/affris/species-profiles/common-carp/common-carp-home/en/

Aquaponia

Backyard Aquaponics. 2011. *The IBC of aquaponics* [online]. Edition 1.0. Backyard Aquaponics, Success Western, Australia. Available at: www.backyardaquaponics.com/Travis/IBCofAquaponics1.pdf

Bailey, D.S., Rakocy, J.E., Cole, W.M. & Shultz, K.A. 1997. Economic analysis of a commercial-scale aquaponic system for the production of tilapia and lettuce. In: *Tilapia Aquaculture: Proceedings of the Fourth International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Orlando, Florida.*

Bernstein, S. 2011. *Aquaponic gardening: a step-by-step guide to raising vegetables and fish together.* Gabriola Island, Canada, New Society Publishers. 255pp.

Danaher, J.J., Pantanella, E., Rakocy, J.E., Shultz, R.C. & Bailey, D.S. 2011. *Dewatering and composting aquaculture waste as a growing medium in the nursery production of tomato plants.* Acta Hort., (ISHS) 891. pp.223-229.

Diver, S. 2007. *Aquaponics-integration of hydroponics with aquaculture.* ATTRA – National Sustainable Agriculture Information Service. 46pp.

Gloger, K.C., Rakocy, J.E., Cotner, J.B., Bailey, D.S., Cole, W.M. & Shultz, K.A. 1995. *Waste treatment capacity of raft hydroponics in a closed recirculating fish culture system.* World Aquaculture Society, Book of Abstracts. pp.126-127.

Hughey, T.W. 2005. *Barrel-ponics (a.k.a. aquaponics in a barrel)* [online]. Available at: www.aces.edu/dept/fisheries/education/documents/barrel-ponics.pdf

Lennard, W.A. & Leonard, B.V. 2006. *A comparison of three different hydroponic subsystems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an aquaponic test system.* Aquaculture International, 14(6): 539-550.
Pantanella, E. 2012. *Integrated marine aquaculture-agriculture: sea farming out of the sea.* Global Aquaculture Advocate, 15(1): 70-72.
Pantanella, E., Cardarelli, M. & Colla, G. 2012. *Yields and nutrient uptake from three aquaponic sub-systems (floating, NFT and substrate) under two different protein diets.* In: Proceedings. AQUA2012. Global Aquaculture securing our future. Prague, Czech Republic 1-5 Sept 2012.
Pantanella, E., Cardarelli, M., Colla, G., Rea, E. & Marcucci, A. 2011. *Aquaponics vs hydroponics: production and quality of lettuce crop.* Acta Hort. 927. pp.887-893.
Rakocy, J.E. 2007. *Aquaponics, integrating fish and plant culture.* In T.B. Simmons & J.M. Ebeling, eds. Recirculating aquaculture, pp.767-826. Ithaca, USA, Cayuga Aqua Ventures.
Rakocy, J.E. 2007. *Ten guidelines for aquaponic systems.* Aquaponics Journal, 46: 14-17.
Rakocy, J. E., Masser, M.P. & Losordo, T.M. 2006. *Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics-integrating fish and plant culture.* SRAC publication 454. 1-16.
Rakocy, J.E, Masser, M.P. & Losordo, T.M. 2006. *Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics-integrating fish and plant culture.* SRAC Publication No. 454 (revision November 2006). USA, Department of Agriculture.
Rakocy, J.E., Shultz, R.C., Bailey, D.S. & Thoman, E.S. 2004. *Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system.* Acta Horticulturae, 648. pp. 63-69.
Savidov, N. 2005. *Evaluation and development of aquaponics production and product market capabilities in Alberta.* Phase II. Final Report - Project #2004-67905621.
Seawright, D.E., Stickney, R.R. & Walker, R.B. 1998. *Nutrient dynamics in integrated aquaculture-hydroponic systems.* Aquaculture, 160: 215-237.
Tyson, R.V., Simonne, E.H., White, J.M. & Lamb, E.M. 2004. *Reconciling water quality parameters impacting nitrification in aquaponics: the pH levels.* Proc. Fla. State Hort. Soc., 117: 79-83.

<u>Bactérias, micróbios e o ciclo do nitrogênio</u>

Carmignani, G.M. & Bennett., J.P. 1977. *Rapid start-up of a biological filter in a closed aquaculture system.* Aquaculture, 11(1): 85-88.
Crab, R., Avnimelech, Y., Defoirdt, T., Bossier, P. & Verstraete, W. 2007. *Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production.* Aquaculture, 270: 1-14.
Hargreaves, J.A. 1998. *Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds.* Aquaculture, 166: 181-212.
Lewis, W. & Lowenfels, J. 2010. *Teaming with microbes: a gardener's guide to the soil food web.* Portland, USA, Timber Press. 220pp.

<u>Projeto e construção do sifão de sino</u>

Fox, B.K., Howerton, R. & Tamaru, C.S. 2010. *Construction of automatic bell siphons for backyard aquaponic systems.* Cooperative Extension Service, College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii at Mānoa.

Lennard, W.A. & Leonard, B.V. 2004. *A comparison of reciprocating flow versus constant flow in an integrated, gravel bed, aquaponic test system.* Aquaculture International, 12: 539-553.

Alimentos para peixes

Bondari, K. & Sheppard, D.C. 1981. *Soldier fly larvae as feed in commercial fish production.* Aquaculture, 24: 103-109.
FAO. 1983. *FAO composition of feedstuff* (Table 1). In: *Fish feeds and feeding in developing countries.* ADCP/REP/83/18. Rome. (also available at: www.fao.org/docrep/q3567e/q3567e03.htm#2.2%20composition%20of%20feedstuffs.
FAO. 2013. *Edible insects: future prospects for food and feed security.* FAO Forestry Paper 171. Rome. 187pp. (also available at: www.fao.org/docrep/018/i3253e/i3253e00.htm).
FAO. 2014. *FAO feed resources database.* In: *FAO Aquaculture Feed and Fertilizer Resources Information System* [online]. Rome. [Cited 2September 2014]. www.fao.org/fishery/affris/feed-resources-database/en/
Fasakin, E.A., Balogun, A.M. & Fasuru, B.E. 1999. *Use of duckweed,* Spirodela polyrrhiza *L. Schleiden, as a protein feedstuff in practical diets for tilapia,* Oreochromis niloticus *L.* Aquaculture Research, 30(5): 313-318.
Hasan, M.R. & Chakrabarti, R. 2009. *Use of algae and aquatic macrophytes as feed in small-scale aquaculture: A review.* FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 531. Rome, FAO. 123pp. (also available at: www.fao.org/docrep/012/i1141e/i1141e00.htm).
New, M.B. 1987. *Feed and feeding of fish and shrimp.* ADCP/REP/87/26. Rome, FAO (also available at: www.fao.org/docrep/s4314e/s4314e00.htm#Contents).
NRC. 1993. *Nutrient requirement of fish.* Washington, DC, National Academy Press. 126pp.
Richter, N., Siddhuraju, P. & Becker. K. 2003. *Evaluation of nutritional quality of moringa (*Moringa oleifera *Lam.) leaves as an alternative protein source for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus L.*).* Aquaculture, 217(1): 599-611.
Sheppard, D.C., Tomberlin, J.K., Joyce, J.A., Kiser. B.C. & Sumner, S.M. 2002. *Rearing methods for the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae).* J. Med. Entomol., 39(4): 695-698.
Sophie St-Hilaire, I.S., Cranfill, K., McGuire, M.A., Mosley, E.E., Tomberlin, J.K., Newton, L., Sealey, W., Sheppard, C. & Irving, S. 2007. *Fish offal recycling by the black soldier fly produces a foodstuff high in omega-3 fatty acids.* Journal of the World Aquaculture Society, 38(2): 309-313.
Wagner, G.M. 1997. Azolla: *a review of its biology and utilization.* Botanical Review, 63(1): 1-26.

Extratos de compostos

Brewing Compost Tea. *Fine Gardening.* Brewing Compost Tea by Elaine Ingham. Available at: www.finegardening.com/brewing-compost-tea.
Ingham, E.R. 2000. *The compost tea brewing manual.* Fifth edition. Corvallis, USA, Soil Foodweb Incorporated. 79pp.

Doenças de peixes

Bondad-Reantaso, M.G., McGladdery, S.E., East, I. & Subasinghe, R.P., Eds. 2001. *Asia Diagnostic Guide to Aquatic Animal Diseases.* FAO Fisheries Technical

Paper. No. 402, Supplement 2. Rome, FAO. 240 pp. (also available at: www.fao.org/docrep/005/y1679e/y1679e00.htm).
Noga, E.J. 1996. *Fish disease, diagnosis and treatment.* St. Louis, USA, Mosby Year-Book inc. 367pp.

Estufas e telados

FAO. 1999. *Greenhouses and shelter structures for the tropics.* Plant Production and Protection Paper 154. Rome. 138pp.
FAO. 2013. *Good agriculture practices for greenhouse vegetable production: Principles for the Mediterranean climate areas.* Plant Production and Protection Paper 217. Rome. 621pp. (also available at: www.fao.org/docrep/018/i3284e/i3284e.pdf)

Deficiências nutricionais

Bennett, W.F. 1993. *Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants.* St. Paul, USA, American Phytopathological Society. 202pp.
Berry, W. 2010. *Symptoms of deficiency in essential minerals* [online]. UCLA. Lincoln Plant Physiology online. Fifth edition. Available at: http://5e.plantphys.net/article.php?ch=t&id=289

Doenças de plantas

Agrios, G.N. 2004. *Plant pathology.* Fifth edition. Burlington, USA, Elsevier Academic Press. 933pp.
Copping, L.G. 2004. *The manual of biocontrol agents.* Third edition. Alton, UK, BCPC publications. 702pp.
Cornell University. *Plant Disease Diagnostic Clinic* [online]. Available at: http://plantclinic.cornell.edu/factsheets.htmL
IFOAM. 2012. *The IFOAM norms for organic production and processing.* Bonn, Germany. 132pp.
Pal, K.K. & McSpadden Gardener, B. 2006. *Biological control of plant pathogens.* The Plant Health Instructor DOI: 10.1094/PHI-A-2006-1117-02. pp.1-25.
Soil Association. 2011. *Material for pest and disease control in organic crops.* Fact sheet. Bristol, UK, Soil Association Trade and Producer Support. 18pp.
Texas A&M Agrilife Extension. *Texas plant disease handbook* [online]. Available at: http://plantdiseasehandbook.tamu.edu/food-crops/vegetable-crops/

Controle de pragas

ATTRA National Sustainable Agriculture Information Service. *Pest management* [online]. Available at: https://attra.ncat.org/pest.htmL
Colorado State University Extension. *Insect publication* [online]. Available at: www.ext.colostate.edu/pubs/pubs.htmL#insects
Cranshaw, W.S. 2008. *Bacillus thuringiensis* [online]. Factsheet 5.556. Colorado State University Extension. Available at: www.ext.colostate.edu/pubs/insect/05556.htmL
Ellis, B.W. & Bradley, F.M. 1996. *The organic gardener's handbook of natural insect and disease control.* Emmaus, USA, Rodale Press Inc. 544pp.
Kogan, M. 1998. *Integrated pest management: historical perspectives and contemporary developments.* Annual Review of Entomology, 43(1): 243-270.
Olkowski, W., Dietrick, E., Olkowski, H. & Quarles, W. 2003. *Commercially available biological control agents.* IPM Practitioner, 25: 1-9.

Rondon, S.I., Cantliffe, D.J. & Price, J. 2001. *Augmentative biological control of insects: possibilities for vegetable greenhouse producers.* FACTS Proceedings 2001, pp.15-16.
Shour, M.H. 2000. *Pesticides from nature* [online]. Iowa State University Extension. Available at: www.extension.iastate.edu/newsrel/2000/aug00/aug0007.htmL
Washington State University (WSU). 2011. *Organic pest control in the vegetable garden* [online]. Community Horticulture Fact Sheet #13. King County Extension. Available at:
http://ext100.wsu.edu/king/wp-content/uploads/sites/17/2014/02/Organic-Pest-Control-in-the-Vegetable-Garden1.pdf
UW Madison Department of Entomology. *Insect ID* [online]. Available at: www.entomology.wisc.edu/insectid/index.php

Cultivo sem solo

Cooper, A. 1979. *The ABC of NFT. Nutrient film technique. The world's first method of crop production without a solid rooting medium.* Portland, USA, Intl Specialized Book Service Inc. 181pp.
Raviv, M. & Lieth, J.H. 2008. *Soil-less culture: theory and practice.* First edition. London, Elsevier Publishing. 608pp.
Resh, H.M. 2004. *Hydroponic food production. A definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower.* Sixth edition. Mahwah, USA, Newconcept Press. 567pp.

Leitos de absorção

Sullivan, C., Hallaran, T., Sogorka, G. & Weinkle, K. 2014. *An evaluation of conventional and subirrigated planters for urban agriculture: Supporting evidence.* Renewable Agriculture and Food Systems, 1-9.
Wicking bed. *Wicking bed – a new technology for adapting to climate change* [online]. pp.1-14. Available at: www.waterright.com.au/wicking_bed_technology.pdf
Wicking worm bed. *Wicking worm bed. Basic principles* [online]. pp.1–10. Available at: www.waterright.com.au/Wicking%20worm%20beds.pdf

Glossário

Ácido - Substância caracterizada pela capacidade de reagir com bases ou álcalis na água para formar sais. Um ácido libera íons de hidrogênio após a dissociação em água, com pH inferior a sete.

Aeróbico - Uma condição ou processo em que o oxigênio gasoso está presente ou é necessário. Os organismos aeróbicos obtêm energia para o crescimento a partir da respiração aeróbica.

Agricultura sem solo (hidroponia) - O cultivo de plantas sem solo. As plantas são nutridas com uma solução de nutrientes aerada e as raízes são mantidas numa matriz inerte ou flutuam livremente na solução nutritiva.

Alcalinidade - Quantidade de minerais alcalinos (ligação de ácido) que uma solução possui na água para neutralizar os íons de hidrogênio. É geralmente expresso como unidades SBV (abreviatura do termo alemão *Säurebindungsvermögen*) ou equivalentes de carbonato de cálcio sob o fator de conversão de 1 SBV = 50 mg eq. $CaCO_3$/L. A alcalinidade é medida usando laranja de metila como um indicador, cuja variação na cor em pH 4,2 a 4,4 indica, por definição, o esgotamento completo do álcali.

Altura manométrica da água - Em hidráulica, significa a medição da pressão da água expressa em altura na qual a água é mantida ou pode subir, permitindo que ela flua para níveis mais baixos através de tubos, etc.

Anaeróbico - Refere-se a uma condição ou processo em que o oxigênio gasoso não está presente ou não é necessário.

Área de superfície específica (área superficial específica) - Uma métrica para descrever quanta área de superfície é exposta para cada unidade de volume de um objeto único ou em um conjunto. O valor fornece uma leitura indireta da porosidade e granulometria de um objeto e é especialmente importante para a reação química e atividade biológica, com uma alta relação, proporcionando mais área para a ação em questão.

Auto sifão - Um dispositivo que inunda e drena automaticamente um tanque de água sem um cronômetro ou peças móveis. A água que entra enche o tanque em questão até atingir a altura crítica definida pelo sifão; isso começa a puxar a água para fora do tanque com um fluxo de saída mais rápido do que o fluxo de entrada, o que eventualmente esvazia o tanque e permite que o ar entre no dispositivo para interromper a drenagem e permitir que o tanque seja reabastecido.

Balanço - Um estado de equilíbrio dinâmico em um sistema agrícola integrado, como a aquaponia, onde os vários processos biológicos e químicos permanecem estáveis ao longo do tempo.

Base - Uma substância caracterizada pela capacidade de reagir com ácidos ou íons de hidrogênio na água para formar sais. Uma base libera íons de hidróxido após a dissociação em água e tem um pH superior a sete.

Biofiltro (filtro biológico) - O componente das unidades de tratamento de um sistema de aquicultura no qual os poluentes orgânicos são decompostos (principalmente oxidados) como resultado da atividade microbiológica. Os processos mais importantes são a degradação dos metabólitos do nitrogênio por bactérias heterotróficas e a oxidação da amônia via nitrito em nitrato.

Bioincrustação - Acúmulo de organismos em superfícies úmidas que podem afetar sua atuação.

Bloqueio de nutrientes (disponibilidade de nutrientes dependente do pH) - Um efeito do pH e da química do solo na biodisponibilidade de nutrientes a serem absorvidos pelas plantas, especialmente importante em hidroponia e aquaponia. Cada nutriente tem uma faixa de pH na qual está disponível, mas fora dessa faixa as plantas não serão capazes de usar os nutrientes apesar de sua presença na solução nutritiva.

CA/CC - Um tipo de dispositivo elétrico que pode funcionar tanto com corrente alternada (CA), como a de uma tomada na parede, e com corrente contínua (CC), como a de uma bateria. Termo normalmente usado em relação a sistemas de backup baseados em bateria para aeradores e bombas de água.

Carnívoro - Animal que se alimenta principalmente de outros animais.

Ciclagem do sistema - Desenvolvimento inicial de um biofiltro dentro de um sistema de aquicultura ou aquário, uma vez que o tanque e o material do biofiltro são colonizados por bactérias oxidantes de amônia e bactérias oxidantes de nitrito. Esses grupos de bactérias oxidam a fonte original de amônia em nitrito e nitrato, respectivamente. Geralmente leva entre uma e seis semanas dependendo da temperatura, qualidade da água e fonte de amônia. A ciclagem adequada do sistema reduz os efeitos da síndrome do tanque novo.

Ciclo dos nutrientes (ciclo do nitrogênio) - Ciclo biogeoquímico, no qual os nutrientes inorgânicos se movem através do solo, organismos vivos, ar e água. Na agricultura, refere-se ao retorno ao solo dos nutrientes absorvidos pelas plantas. A ciclagem de nutrientes pode ocorrer por meio da queda de folhas, exsudação de raízes (secreção), reciclagem de resíduos, incorporação de adubos verdes, etc.

Clarificador - Um tanque de sedimentação construído para remover sólidos em suspensão da água por meio de decantação ou separação do meio aquoso.

Densidade de estocagem - Normalmente uma expressão do número de peixes por unidade de área ou peso de peixes por unidade de volume de água na estocagem.

Desenvolvimento sustentável - Gestão e conservação da base de recursos naturais, e orientação para mudanças tecnológicas e institucionais de forma a garantir a satisfação contínua das necessidades humanas para as gerações presentes e futuras. Esse desenvolvimento sustentável conserva a terra, a água, e os recursos genéticos vegetais e animais, é ambientalmente não degradante, tecnologicamente apropriado, economicamente viável e socialmente aceitável.

Desnitrificação - A redução bioquímica do nitrato via nitrito intermediário em nitrogênio molecular (gasoso) e dióxido de carbono por meio da atividade microbiológica. Na aquicultura: um processo de tratamento de água necessário em sistemas de reciclagem a partir do acúmulo de nitrogênio com pouca ou nenhuma troca de água; também ocorre em tanques de decantação, locais de captação de sólidos em suspensão e tanques de armazenamento de água.

Dureza - Medida das concentrações de íons dissolvidos de cálcio e magnésio na água. A dureza é expressa como equivalente de carbonato de cálcio em miligramas por litro (mg/L). A dureza também pode ser expressa como miliequivalente por litro, dureza alemã (° dH) ou mg/L de óxido de cálcio (CaO) de acordo com o seguinte fator de conversão: 50 mg/L $CaCO_3$ = 1 meq/L = 2,805 (° dH) = 28 mg/L de CaO.

Estresse - A soma das reações biológicas a qualquer estímulo adverso (físico, interno ou externo) que perturba o estado operacional ideal do organismo e pode reduzir suas chances de sobrevivência.

Exaustão do solo - Uma condição nos solos que leva a uma redução progressiva da produtividade após o cultivo repetido da mesma cultura na mesma área. A condição é devido a uma combinação de esgotamento de nutrientes, exploração da estrutura do solo (baixa matéria orgânica), acúmulo de patógenos (parasitas, pragas, bactérias, fungos) específicos da cultura, seleção de plantas daninhas específicas e acúmulo de exsudatos radiculares inibidores.

Fixação de nitrogênio - Processo pelo qual certas bactérias e cianobactérias são capazes de converter o nitrogênio atmosférico em formas combinadas no solo, tornando-os disponíveis para as plantas.

Fotoperiodismo - Resposta fisiológica de plantas e animais à duração sazonal de dias e noites. Nas plantas, a presença de fotorreceptores sinaliza as plantas sobre o período ideal para florescer. As plantas com respostas fotoperiódicas podem iniciar a floração com dias longos ou curtos, dependendo da espécie. Em animais, o fotoperiodismo juntamente com a temperatura regulam as mudanças fisiológicas no comportamento sexual, migração e hibernação.

Granulometria - Uma descrição das classes de tamanho em um grupo de material granular com implicações na relação entre área de superfície específica e volume.

Herbívoro - Animal que se alimenta principalmente de material vegetal.

Hidroponia - Uma forma de agricultura sem solo onde as plantas recebem uma solução nutritiva contendo todos os macro e micronutrientes essenciais necessários para o crescimento seja por meio de irrigação de meios inertes ou diretamente dentro de tanques de solução nutritiva.

Inundação e drenagem - Um método que controla o fluxo de água em um canteiro hidropônico ou aquapônico onde o meio é alternativamente submerso e drenado com água, o que garante a aeração adequada das raízes da planta e das colônias bacterianas ao mesmo tempo que distribui água e nutrientes igualmente. Também conhecido como fluxo e refluxo.

Íon - Um átomo ou radical com carga elétrica positiva (cátion) ou negativa (ânion) como resultado da perda ou ganho de elétrons.

Nitrogênio molecular - Um elemento gasoso inodoro que constitui 78 % da atmosfera da Terra e é um constituinte de todos os tecidos vivos. É quase inerte em sua forma gasosa.

Nitrificação - A conversão bacteriana aeróbia (oxidação) de amônia e nitrogênio orgânico em sais estáveis (nitratos), por meio de bactérias, frequentemente *Nitrosomonas* spp. e *Nitrobacter* spp.

Onívoro - Um animal que consome material vegetal e animal.

Oxidação - Tipo de reação química, sempre associada à redução, em que a molécula em questão perde um elétron, muitas vezes se ligando ao oxigênio. Os exemplos incluem a queima de madeira ou a ferrugem do ferro.

Pegada ecológica - Uma ferramenta de medição de recursos para determinar a quantidade de terra ou água necessários para prover com recursos uma comunidade ou uma atividade e para assimilar os resíduos produzidos. Maior sustentabilidade é obtida quanto menor pegada é necessária para obter o mesmo produto usando uma tecnologia diferente ou para prover uma comunidade adotando uma melhor gestão.

Quelato - Uma associação molecular de um íon metálico e um ligante maior, normalmente tornando o íon mais solúvel e biologicamente disponível.

Razão da taxa de alimentação - A proporção que ajuda a equilibrar um sistema aquapônico, relacionando a quantidade de ração adicionada ao tamanho da área de cultivo da hortaliça.

Redução - Tipo de reação química, sempre associada à oxidação, em que a molécula em questão ganha um elétron, muitas vezes perdendo uma molécula, átomo ou íon de oxigênio.

Relação de biomassa - O equilíbrio ideal entre os peixes e as hortaliças para obter um bom crescimento dos peixes e vegetais. É expressa como a área de crescimento da planta que pode ser suportada com uma determinada taxa de alimentação ofertada.

Síndrome do tanque novo - Uma condição comum em sistemas de aquicultura e aquários recém-instalados e com capacidade de biofiltração insuficiente ou imatura, resultando no acúmulo de amônia e nitrito tóxicos, causando estresse aos peixes e finalmente a morte.

Solubilidade - A capacidade de uma substância ser dissolvida em água ou outro meio líquido, normalmente dependente da carga e do tamanho de suas moléculas e da carga do líquido. Quanto mais sem carga e maior forem as moléculas, menos solúvel em água é a substância.

Tamponamento (*buffer*) - A capacidade de uma solução contendo uma base fraca e seu ácido conjugado de resistir a quedas de pH quando pequenas quantidades de um ácido são adicionadas. O tamponamento ocorre dentro de uma faixa de pH e capacidade específica que depende da quantidade de álcali presente na solução. Na aquaponia, o *buffer* ocorre com íons carbonato ou bicarbonato ligando íons hidrogênio do ácido nítrico até que todos se tornem saturados em ácido carbônico, sua forma de ácido conjugado fraco.

Tanque superior - Um tanque de água mantido em certa altura para fornecer água às unidades de criação inferiores, por exemplo, incubadoras e tanques de berçário.

Taxa de troca de água - Em sistemas de criação tais como tanques, canais, lagoas e outras unidades, este termo se refere à taxa de troca real da água ao longo de um período de tempo definido como o inverso do tempo de residência:

Q (quantidade de água, em m^3/h) / V (unidade de volume, em m^3).

Ultravioleta - Ondas eletromagnéticas não visíveis, que seguem na extremidade violeta do espectro de luz. A parte do espectro de radiação solar entre 40 nm e 400 nm de comprimento de onda. Utilizado na aquicultura para desinfetar a água e prevenir doenças causadas por microrganismos patogênicos.

Apêndices

Apêndice 1 - **Diretrizes de produção de hortaliças para 12 plantas aquapônicas comuns**

Apêndice 2 - **Controle de pragas e doenças de plantas**

Apêndice 3 - **Controle de pragas e doenças de peixes**

Apêndice 4 - **Calculando a quantidade de amônia e mídia do biofiltro para uma unidade aquapônica**

Apêndice 5 - **Fazendo ração caseira para peixes**

Apêndice 6 - **Principais considerações antes de projetar um sistema aquapônico**

Apêndice 7 - **Análise de custo-benefício para unidades aquapônicas de pequena escala**

Apêndice 8 - **Guia passo a passo para a construção de sistemas aquapônicos de pequena escala**

Apêndice 1 - Diretrizes de produção de hortaliças para 12 plantas aquapônicas comuns

As informações abaixo fornecem recomendações técnicas sobre 12 hortaliças populares para cultivo em aquaponia. Estão incluídas informações sobre as condições ideais de cultivo, incluindo instruções específicas de cultivo e técnicas de colheita para cada hortaliça. As diretrizes abaixo são baseadas na experiência adquirida com a agricultura aquapônica de longa data, nos manuais de horticultura sobre cultivo em solo/sem solo, documentos de extensão e na experiência profissional de agricultores e pesquisadores. Esta lista não está, de forma alguma, completa. Em vez disso, deve ser usada como um exemplo dos tipos de informações necessárias para qualquer planta cultivada e ajudar os leitores a direcionar suas pesquisas ao cultivar culturas que não estão listadas aqui. Outras culturas comuns, não incluídas neste apêndice são: quiabo, couve chinesa, espinafre aquático, couve *tatsoi*, couve, hortelã, tomilho, endro, cebolinha, coentro, taro, agrião, rúcula, flores comestíveis, flores ornamentais, e até mesmo pequenas árvores frutíferas. As hortaliças de bulbo ou 'raiz', como cebola, cenoura, beterraba, rabanete e taro devem ser cultivados em canteiros/leitos de absorção presos a canteiros/leitos de mídia. [NT: procurar também por orientações específicas atualizadas em sua região, que eventualmente podem ser ligeiramente diferentes das diretrizes abaixo]

MANJERICÃO

pH: 5,5-6,5
Espaçamento das plantas: 15-25 cm (8-40 plantas/m^2)
Tempo de germinação e temperatura: 6-7 dias com temperaturas de 20-25 °C
Tempo de crescimento: 5-6 semanas (iniciar a colheita quando a planta estiver com 15 cm)
Temperatura: 18-30 °C, ótima 20-25 °C
Exposição à luz: ensolarado ou ligeiramente abrigado
Altura e largura da planta: 30-70 cm; 30 cm
Método aquapônico recomendado: leitos de mídia, NFT e DWC

Cultivo de manjericão em unidades aquapônicas: O manjericão é uma das ervas mais populares para cultivo em unidades aquapônicas, particularmente em unidades de monocultura comerciais de grande escala devido ao seu alto valor e à alta demanda em zonas urbanas ou periurbanas. Muitas cultivares de manjericão foram experimentadas

e testadas em unidades aquapônicas, incluindo o manjericão genovês italiano (manjericão doce), manjericão limão e manjericão roxo. Devido a uma maior absorção de nitrogênio, o manjericão é uma planta ideal para aquaponia; no entanto, deve-se ter cuidado para evitar o esgotamento excessivo de nutrientes na água.

Condições de cultivo: as sementes de manjericão precisam de uma temperatura razoavelmente alta e estável para iniciar a germinação (20-25 °C). Depois de transplantado nas unidades, o manjericão cresce melhor em condições de calor moderado a muito quente e com exposição total ao sol. Porém, folhas de melhor qualidade são obtidas por meio de sombreamento leve. Com temperaturas diárias superiores a 27 °C, as plantas devem ser ventiladas ou cobertas com malhas sombreadoras (20 %) durante as estações de forte radiação solar para evitar queimaduras nas pontas.

Instruções de cultivo: Transplante novas mudas na unidade aquapônica quando as mudas tiverem quatro a cinco folhas verdadeiras. O manjericão pode ser afetado por várias doenças fúngicas, incluindo fusariose, podridão cinza e mancha preta, particularmente sob temperaturas abaixo do ideal e condições de alta umidade. A ventilação do ar e as temperaturas da água superiores a 21 °C, diurnas e noturnas, ajudam a reduzir o estresse das plantas e a incidência de doenças.

Colheita: A colheita das folhas começa quando as plantas atingem 15 cm de altura e continua por 30 a 50 dias. Deve-se ter cuidado ao manusear as folhas na colheita para evitar injúrias e o escurecimento das folhas. É aconselhável remover as pontas das flores durante o crescimento da planta para evitar sabores amargos nas folhas e estimular a ramificação. No entanto, as flores de manjericão são atraentes para polinizadores e insetos benéficos, portanto, deixar algumas plantas com flores pode melhorar a produção em geral e garantir um suprimento constante de sementes de manjericão. As sementes de manjericão são um produto especial em alguns locais.

COUVE-FLOR

pH: 6,0-6,5
Espaçamento das plantas: 45-60 cm (3-5 plantas/m^2)
Tempo de germinação e temperatura: 4-7 dias com temperatura de 8-20 °C
Tempo de crescimento: 2-3 meses (colheitas de primavera), 3-4 meses (colheitas de outono)
Temperatura: 20-25 °C para o crescimento vegetativo inicial, 10-15 °C para o desenvolvimento da cabeça (colheita de outono)
Exposição à luz: pleno sol
Altura e largura da planta: 40-60 cm; 60-70 cm
Método aquapônico recomendado: leitos de mídia

Cultivo de couve-flor em unidades aquapônicas: A couve-flor é uma cultura de inverno nutritiva e de alto valor que cresce e se desenvolve em unidades de leito de mídia com espaçamento adequado entre plantas. A couve-flor tem uma demanda relativamente alta de nutrientes e as plantas reagem positivamente a altas concentrações de nitrogênio e fósforo. Entre outros nutrientes, o potássio e o cálcio são importantes para a produção de cabeças. A planta é particularmente sensível às condições climáticas, e as cabeças não se desenvolvem adequadamente em climas quentes, muito frios ou muito secos; portanto, a seleção da variedade adequada e o momento do transplante são cruciais.

Condições de cultivo: A temperatura ideal do ar para o crescimento vegetativo inicial da planta é de 15 a 25 °C. Para a formação das cabeças, as plantas requerem temperaturas mais frias de 10 a 15 °C (safra de outono) ou 15 a 20 °C (safra de primavera), desde que uma boa porcentagem de umidade relativa e condições de pleno sol sejam atendidas para se desenvolver boas cabeças. As plantas podem tolerar temperaturas frias; no entanto, as cabeças podem ser danificadas pela geada. Um leve sombreamento pode ser benéfico em temperaturas mais altas (acima de 23 °C).

Instruções de cultivo: Faça a germinação das sementes em bandejas de propagação a 20 a 25 °C. Forneça sol direto desde os estágios iniciais da muda para que as plantas não fiquem estioladas. Quando as plantas têm de três a cinco semanas de idade e de quatro a cinco folhas verdadeiras, comece o transplante para o sistema aquapônico com cerca de 50 cm de distância. Para preservar a cor branca das cabeças, use barbante ou elásticos para prender as folhas externas sobre a cabeça quando ela tiver cerca de seis a dez centímetros de diâmetro. Uma vez atingido esse estágio, a colheita pode durar menos de uma semana em temperaturas ideais ou até um mês em climas mais frios. Muito sol, calor ou absorção de nitrogênio podem causar cabeças ‘arroxeadas’, onde a flor principal se separa em pequenos grãos parecidos com arroz. Temperaturas abaixo de 12 °C podem não produzir a cabeça. A couve-flor é suscetível a algumas pragas, incluindo lagartas, besouros, larvas de moscas e pulgões, que podem ser removidos manualmente ou usando outras técnicas de controle de pragas.

Colheita: Colha quando as cabeças estiverem compactas, brancas e firmes. Corte as cabeças da planta com uma faca grande, remova a planta e as raízes restantes do leito e coloque em uma caixa de compostagem.

ALFACE

pH: 6,0-7,0
Espaçamento da planta: 18-30 cm (20-25 cabeças/m^2)
Tempo de germinação e temperatura: 3-7 dias; 13-21 °C
Tempo de crescimento: 24-32 dias (mais para algumas variedades)
Temperatura: 15-22 °C (floração acima de 24 °C)
Exposição à luz: pleno sol (sombreamento leve em temperaturas quentes)
Altura e largura da planta: 20-30 cm; 25-35 cm
Método aquapônico recomendado: leito de mídia, NFT e DWC

Cultivo de alface em unidades aquapônicas: A alface cresce particularmente bem em aquaponia devido às concentrações ideais de nutrientes na água. Muitas variedades podem ser cultivadas em aquaponia, mas quatro tipos principais estão incluídos aqui: alface crespa (iceberg), que tem a cabeça fechada com folhas crocantes, ideal para condições mais frias; alface manteiga, que apresenta folhas que estão pouco empilhadas umas sobre as outras e não têm sabor amargo; a alface romana, que tem folhas retas e bem dobradas, que demoram a florescer e têm sabor adocicado; e alface lisa, que vem em uma variedade de cores e formas sem cabeça e podem ser semeadas diretamente em leitos de mídia e colhendo folhas individuais, sem a necessidade de se coletar a planta inteira. A alface é muito procurada e tem um alto valor nas zonas urbanas e periurbanas, o que a torna uma cultura muito adequada para a produção comercial em grande escala.
Condições de cultivo: A alface é uma cultura de inverno. Para o crescimento da cabeça, a temperatura do ar noturno deve ser de 3 a 12 °C, com uma temperatura diurna de 17 a 28 °C. O crescimento generativo é afetado pelo fotoperíodo e pela temperatura - luz do dia prolongada e condições quentes (> 18 °C) à noite causam pendoamento. A temperatura da água > 26 °C também pode favorecer o amargor da folha. A planta tem baixa demanda de nutrientes; no entanto, as concentrações mais altas de cálcio na água ajudam a prevenir a queima da ponta das folhas nas safras de verão. O pH ideal é de 5,8 a 6,2, mas a alface ainda cresce bem com um pH tão alto quanto 7, embora algumas deficiências de ferro possam aparecer devido à biodisponibilidade reduzida desse nutriente acima da neutralidade.
Instruções de cultivo: As mudas podem ser transplantadas em unidades aquapônicas em três semanas, quando as plantas têm pelo menos duas a três folhas verdadeiras. A fertilização suplementar com fósforo nas mudas na segunda e terceira semanas favorece o crescimento radicular e evita o estresse das plantas no transplante. Além disso, o endurecimento das plantas, por meio da exposição das mudas a temperaturas mais frias e à luz solar direta, por três a cinco dias antes do transplante resulta em

taxas de sobrevivência mais altas. Ao transplantar a alface em climas quentes, coloque um sombreamento leve sobre as plantas por dois ou três dias para evitar o estresse hídrico. Para obter alface suave e crocante, cultive plantas em um ritmo rápido, mantendo altos níveis de nitrato na unidade. Quando as temperaturas do ar e da água aumentam durante a temporada, use variedades resistentes ao pendoamento precoce (verão). Se estiver crescendo em leitos de mídia, plante novas alfaces onde elas serão parcialmente sombreadas por plantas próximas mais altas.
Colheita: A colheita pode começar assim que as cabeças ou folhas estiverem grandes o suficiente para comer. Se for vender para os mercados, remova as plantas e raízes inteiras ao colher, assim que atingirem o peso de mercado (250-400 g). Corte as raízes e coloque-as em uma caixa de compostagem. Faça a colheita de manhã cedo, quando as folhas estiverem frescas e úmidas, e as resfrie rapidamente.

PEPINO

pH: 5,5-6,5
Espaçamento das plantas: 30-60 cm (dependendo da variedade; 2-5 plantas/m^2)
Tempo de germinação e temperatura: 3-7 dias; 20-30 °C
Tempo de crescimento: 55-65 dias
Temperatura: 22-28 °C dia; 18-20 °C à noite; altamente suscetível à geada
Exposição à luz: pleno sol
Altura e largura da planta: 20-200 cm; 20-80 cm
Método aquapônico recomendado: leitos de mídia; DWC

Cultivo de pepino em unidades aquapônicas: Junto com outros membros da família Cucurbitaceae, incluindo abóbora, abobrinha e melão, são excelentes hortaliças de alto valor no verão. São plantas ideais para crescer em unidades de leito de mídia, pois têm uma grande estrutura de raiz. Pepino também pode ser cultivado em 'jangadas' flutuantes, embora em tubos de cultivo possa haver o risco de entupimento devido ao crescimento excessivo das raízes. O pepino requer grandes quantidades de nitrogênio e potássio, portanto a escolha do número de plantas deve levar em consideração os nutrientes disponíveis na água e a biomassa dos peixes.
Condições de cultivo: O pepino crescem melhor com longos dias quentes e úmidos com muito sol e noites quentes. As temperaturas ideais de crescimento são de 24 a 27 °C durante o dia com 70 a 90 % de umidade relativa. Uma temperatura do substrato em torno de 21 °C também é ótima para a produção. As plantas cessam seu crescimento e produção entre 10 e 13 °C. Recomenda-se ter maior concentração de potássio para favorecer frutos maiores e maior rendimento.

Instruções de cultivo: Mudas de pepino podem ser transplantadas em duas a três semanas no estágio de quatro a cinco folhas. As plantas crescem muito rapidamente e é uma boa prática limitar o seu vigor vegetativo e desviar os nutrientes para os frutos cortando as pontas apicais quando o caule tiver dois metros de comprimento; a remoção dos ramos laterais também favorece a ventilação. O crescimento posterior da planta pode ser assegurado deixando apenas os dois botões mais distantes saindo do caule principal. As plantas são estimuladas a continuar a produção através da colheita regular de frutos de tamanho comercial (> 180 g para variedades de salada). A presença de insetos polinizadores é necessária para uma boa fecundação e frutificação. Os pepinos precisam de suporte para o seu crescimento, o que também proporcionará às plantas aeração adequada para prevenir doenças foliares (oídio, mofo cinzento). Devido à alta incidência de ocorrências de pragas em plantas de pepino, é importante planejar estratégias adequadas de manejo integrado de pragas (ver Capítulo 6) e consorciar a unidade vegetal com plantas que são menos afetadas pelos possíveis tratamentos usados.
Colheita: Depois de transplantados, os pepinos podem começar a produção após duas ou três semanas. Em condições ideais, as plantas podem ser colhidas de 10 a 15 vezes. Faça a colheita com intervalos de poucos dias para evitar que os frutos se tornem excessivamente grandes e para favorecer o crescimento dos frutos seguintes.

BERINJELA

pH: 5,5-7,0
Espaçamento das plantas: 40-60 cm (3-5 plantas/m^2)
Tempo de germinação e temperatura: 8-10 dias; 25-30 °C
Tempo de crescimento: 90-120 dias
Temperatura: 15-18 °C à noite; 22-26 °C ao dia; altamente suscetível a geadas
Exposição à luz: pleno sol
Altura e largura da planta: 60-120 cm; 60-80 cm
Método aquapônico recomendado: leitos de mídia

Cultivo de berinjela em unidades aquapônicas: A berinjela é uma hortaliça com frutificação de verão que cresce bem em leito de mídia devido ao crescimento profundo do sistema radicular. As plantas podem produzir de 10 a 15 frutos para um rendimento total de 3 a 7 kg. A berinjela possui alta necessidade de nitrogênio e

potássio, o que indica a necessidade de escolhas cuidadosas de manejo no número de plantas a crescer em cada unidade aquapônica, a fim de evitar desequilíbrios de nutrientes.

Condições de cultivo: A berinjela prefere temperaturas amenas com exposição total ao sol. As plantas têm melhor desempenho, especialmente relacionado à frutificação, com temperaturas diárias na faixa de 22 a 26 °C e umidade relativa de 60 a 70 %. Temperaturas inferiores a 9-10 °C e superiores a 30-32 °C são muito limitantes.

Instruções de cultivo: As sementes germinam entre oito e dez dias em temperaturas quentes (26-30 °C). As mudas podem ser transplantadas com quatro a cinco folhas. As plantas podem ser transplantadas quando as temperaturas sobem na primavera. Perto do final da temporada de verão, é interessante arrancar as novas flores que começam a aparecer para favorecer o amadurecimento do fruto existente. No final da temporada, as plantas podem ser podadas drasticamente entre 20 e 30 cm, deixando apenas três ramos. Esse método interrompe a colheita sem retirar as plantas durante a estação desfavorável (inverno, verão) e permite que a colheita reinicie a produção posteriormente. As plantas podem ser cultivadas sem poda; no entanto, em espaços limitados ou em estufas, o manejo dos ramos pode ser facilitado com estacas ou cordões verticais.

Colheita: Comece a colher quando as berinjelas estiverem com 10 a 15 cm de comprimento. A pele deve ser brilhante; a casca amarelada e opaca é um sinal de que a berinjela está madura demais. A colheita tardia torna os frutos não comercializáveis devido à presença de sementes no seu interior. Use uma faca afiada e corte a berinjela da planta, deixando pelo menos 3 cm do caule preso à fruta.

PIMENTA

pH: 5,5-6,5

Espaçamento de plantas: 30-60 cm (3-4 plantas/m^2 ou mais para variedades de plantas de pequeno porte)

Tempo de germinação e temperatura: 8-12 dias; 22-30 °C (as sementes não germinam abaixo de 13 °C)

Tempo de crescimento: 60-95 dias

Temperatura: 14-16 °C à noite; 22-30 °C durante o dia

Exposição à luz: pleno sol

Altura e largura da planta: 30-90 cm; 30-80 cm

Método aquapônico recomendado: leitos de mídia

Cultivo de pimenta em unidades aquapônicas: Existem muitas variedades de pimenta, todas variando em cor e grau de ardência, mas desde o pimentão doce até a pimenta malagueta (jalapeño ou pimenta caiena), todas podem ser cultivadas em aquaponia. Pimenta é mais adequada ao método de leito de mídia, mas também pode crescer em tubos NFT de 11 cm de diâmetro se receberem suporte físico extra.
Condições de cultivo: A pimenta é uma hortaliça de frutificação de verão que prefere climas quentes e exposição total ao sol. As temperaturas de germinação das sementes são altas: 22 a 34 °C. As sementes não germinam bem em temperaturas < 15 °C. As temperaturas diurnas de 22 a 28 °C e as temperaturas noturnas de 14 a 16 °C favorecem as melhores condições de frutificação sob uma umidade relativa de 65-60 %. As temperaturas ótimas no nível da raiz são de 15 a 20 °C. Em geral, as temperaturas do ar abaixo de 10-12 °C interrompem o crescimento das plantas e causam deformação anormal dos frutos, tornando-os não comercializáveis. Temperaturas > 30-35 °C levam ao aborto floral ou tombamento. Em geral, pimentas mais picantes podem ser obtidas em temperaturas mais altas. As folhas superiores da planta protegem os frutos pendurados abaixo da exposição ao sol. Tal como acontece com outras plantas frutíferas, o nitrato contribui para o crescimento vegetativo inicial (intervalo ideal: 20-120 mg/L), mas são necessárias concentrações mais altas de potássio e fósforo para a floração e a frutificação.
Instruções de cultivo: Transplante as mudas com seis a oito folhas verdadeiras para a unidade assim que as temperaturas noturnas se estabilizarem acima de 10 °C. Apoie plantas densas e de alto rendimento com estacas ou fitas verticais penduradas em arames metálicos esticados horizontalmente acima das unidades. Para pimentões vermelhos, deixe os frutos verdes nas plantas até que amadureçam e fiquem vermelhos. Retire as primeiras flores que aparecem na planta para estimular o crescimento posterior da planta. Reduza o número de flores em caso de excessiva formação de frutos para favorecer que os frutos em crescimento atinjam o tamanho adequado.
Colheita: Comece a colher quando as pimentas atingirem um tamanho comercial. Deixe as pimentas nas plantas até que amadureçam completamente, mudando a cor e melhorando seus níveis de vitamina C. Faça a colheita continuamente ao longo da estação para favorecer a floração, o estabelecimento dos frutos e o crescimento. As pimentas podem ser facilmente armazenadas frescas por 10 dias a 10 °C com 90 a 95 % de umidade, ou podem ser desidratadas para armazenamento a longo prazo.

TOMATE

pH: 5,5-6,5
Espaçamento das plantas: 40-60 cm (3-5 plantas/m^2)
Tempo de germinação e temperatura: 4-6 dias; 20-30 °C
Tempo de crescimento: 50-70 dias até a primeira colheita; frutificação 90-120 dias até 8-10 meses (variedades indeterminadas)
Temperaturas ideais: 13-16 °C à noite; 22-26 °C durante o dia
Exposição à luz: pleno sol
Altura e largura da planta: 60-180 cm; 60-80 cm
Método aquapônico recomendado: leitos de mídia e DWC

Cultivo de tomate em unidades aquapônicas: Tomate é uma excelente hortaliça de frutificação de verão para cultivar usando todos os métodos de aquaponia, embora um suporte (tutor) seja necessário. Dada a grande demanda de nutrientes do tomate, principalmente potássio, o número de plantas por unidade deve ser planejado de acordo com a biomassa dos peixes, a fim de evitar deficiências de nutrientes. Uma concentração de nitrogênio mais alta é preferível durante os estágios iniciais para favorecer o crescimento vegetativo das plantas; no entanto, o potássio deve estar presente desde a fase de floração para favorecer o desenvolvimento e o crescimento dos frutos.

Condições de cultivo: O tomate prefere temperaturas quentes com exposição total ao sol. Abaixo de 8-10 °C, as plantas param de crescer e as temperaturas noturnas de 13-14 °C incentivam a frutificação. Temperaturas acima de 40 °C causam aborto floral e má formação dos frutos. Existem dois tipos principais de tomate: determinado (produção sazonal) e indeterminado (produção contínua de ramos florais). No primeiro tipo, as plantas podem crescer como arbustos, deixando três a quatro ramos principais e removendo todos os brotos axilares para desviar os nutrientes para os frutos. Tanto as variedades determinadas como as indeterminadas devem ser cultivadas com um único caule (duplo no caso de elevado vigor da planta) removendo todos os brotos axilares. No entanto, em determinadas variedades, a ponta apical do caule único deve ser cortada assim que a planta atingir sete a oito ramos florais para favorecer a frutificação. O tomate depende de suportes (tutores) que podem ser feitos de estacas ou amarrados a fios verticais de plástico/náilon que são presos a arames metálicos esticados horizontalmente acima das plantas. O tomate têm uma tolerância moderada à salinidade, o que o torna adequado para áreas onde não há água doce pura disponível. Maior salinidade na fase de frutificação melhora a qualidade dos produtos.

Instruções de plantio: Coloque estacas ou estruturas de suporte (tutores) antes do transplante para evitar danos à raiz. Transplante as mudas nas unidades entre três e seis semanas após a germinação, quando a muda tem de 10 a 15 cm e quando as temperaturas noturnas estão constantemente acima de 10 °C. Ao transplantar as mudas, evite condições de alagamento ao redor do colo da planta para reduzir o risco de doenças. Uma vez que os tomates tenham cerca de 60 cm de altura, comece a determinar o método de cultivo (arbusto ou haste única) podando os ramos superiores desnecessários. Retire as folhas da parte inferior, 30 cm do caule principal, para favorecer uma melhor circulação do ar e diminuir a incidência de fungos. Podar todos os brotos extras indesejáveis para favorecer o crescimento dos frutos. Remova as folhas que cobrem cada ramo do fruto logo antes do amadurecimento para favorecer o fluxo de nutrientes para os frutos e acelerar a maturação.

Colheita: Para obter o melhor sabor, colha os tomates quando estiverem firmes e totalmente coloridos. Os frutos continuarão a amadurecer se forem colhidos meio maduros e armazenados. Os frutos podem ser facilmente mantidos de duas a quatro semanas entre 5 a 7 °C sob 85 a 90 % de umidade relativa.

FEIJÃO-VAGEM E ERVILHA

pH: 5,5-7,0
Espaçamento das plantas: 10-30 cm dependendo da variedade (variedades arbustivas 20-40 plantas/m^2, variedades trepadeiras 10-12 plantas/m^2)
Tempo de germinação e temperatura: 8-10 dias; 21-26 °C
Tempo de crescimento: 50-110 dias para atingir a maturidade, dependendo da variedade
Temperatura: 16-18 °C à noite; 22-26 °C dia
Exposição à luz: pleno sol
Altura e largura da planta: 60-250 cm (trepadeira); 60-80 cm (arbusto)
Método aquapônico recomendado: leito de mídia
Cultivo de feijão-vagem em unidades aquapônicas: Ambas as variedades de feijão (trepadeira e arbusto) crescem bem em unidades aquapônicas, mas as primeiras são recomendadas para menor espaço, o que maximiza o uso do leito aquapônico. As variedades trepadeiras também podem render duas a três vezes mais vagens do que as variedades arbustivas. O feijão tem baixa necessidade de nitrato, mas demanda moderada em termos de fósforo e potássio. Essas necessidades de nutrientes tornam o feijão-vagem a escolha ideal para a produção aquapônica, embora o excesso de nitrato possa atrasar a floração. O feijão-vagem é recomendado para unidades recém-estabelecidas, pois podem fixar o nitrogênio atmosférico por conta própria.

Condições de cultivo para feijão verde: Variedades trepadeiras preferem pleno sol, mas toleram sombra parcial em condições quentes. As plantas não crescem a < 12-14 °C. Temperaturas > 35 °C causam aborto floral e frutificação deficiente. A umidade relativa ideal para as plantas é de 70 a 80 %. O feijão-vagem é sensível ao fotoperíodo; portanto, é importante escolher as variedades certas de acordo com a localização e a época. Em geral, as variedades trepadeiras são cultivadas no verão, enquanto as variedades anãs são adaptadas às condições de dias curtos (primavera ou outono).
Instruções de cultivo para feijão verde: Para unidades de leito de mídia, semeie diretamente no canteiro com 3 a 4 cm de profundidade (certificando-se de que o sifão de sino esteja para fora para que o nível de água esteja alto durante a germinação). Os

feijões não transplantam bem, o que os torna difíceis de cultivar em tubos NFT. Qualquer suporte deve ser colocado antes da germinação da semente para evitar danos à raiz. Na semeadura, deve-se ter cuidado para evitar sombreamento cruzado futuro com outras plantas. Os feijões são suscetíveis a pulgões e ácaros. Embora a baixa ocorrência de tais pragas possa ser controlada com soluções mecânicas/manuais, deve-se atentar para a escolha de plantas companheiras para evitar contaminação cruzada se algum tratamento tiver que ser realizado.

Colheita:

Variedades de feijão-vagem (verde ou amarelo) - Os frutos (vagens/legumes) devem ser firmes e crocantes na colheita; as sementes dentro devem ser pequenas ou pouco desenvolvidas. Segure o caule com uma mão e a vagem com a outra para evitar arrancar galhos que irão produzir colheitas posteriores. Colha todas as vagens para manter as plantas produtivas.

Feijão com casca (feijão preto, largo ou fava) - Colha essas variedades quando as vagens mudarem de cor e os grãos de dentro estiverem totalmente formados, mas não secos. As vagens devem ser roliças e firmes. A qualidade diminui se elas forem deixadas na planta por muito tempo.

Feijão seco (feijão e soja) - Deixe as vagens ficarem o mais seco possível antes que o tempo mais frio chegue ou quando as plantas ficarem marrons e perderem a maior parte das folhas. As vagens se partem facilmente quando muito secas, tornando a remoção das sementes um processo fácil.

REPOLHO

pH: 6-7,2
Espaçamento das plantas: 60-80 cm (4-8 plantas/m^2)
Tempo de germinação e temperatura: 4-7 dias; 8-29 °C
Tempo de crescimento: 45-70 dias a partir do transplante (dependendo das variedades e estação)
Temperatura ideal: 15-20 °C (o crescimento cessa em > 25 °C)
Exposição à luz: pleno sol
Altura e largura da planta: 30-60 cm; 30-60 cm
Método aquapônico recomendado: leitos de mídia (não adequado para unidades aquapônicas recém-estabelecidas)

Cultivo de repolho em unidades aquapônicas: O repolho é uma cultura de inverno altamente nutritiva. As plantas crescem melhor em canteiros/leitos de mídia porque atingem dimensões significativas na colheita e podem ser muito grandes e pesadas para ‘jangadas’ ou tubos/perfis de cultivo. O repolho é uma planta exigente em

nutrientes, o que o torna inadequado para unidades recém-criadas (com menos de quatro meses). No entanto, devido ao grande espaço necessário, as colheitas de repolho absorvem menos nutrientes por metro quadrado do que outras hortaliças folhosas de inverno (alface, espinafre, rúcula, etc.). Embora o repolho possa tolerar temperaturas tão baixas quanto 5 °C, as baixas temperaturas podem não ser adequadas para os peixes.

Condições de cultivo: O repolho é uma cultura de inverno com temperaturas ideais de cultivo de 15 a 20 °C. O repolho cresce melhor quando as cabeças amadurecem em temperaturas mais frias, portanto, planeje a colheita antes que as temperaturas diurnas atinjam 23-25 °C. Altas concentrações de fósforo e potássio são essenciais quando as cabeças começam a crescer. A integração com fertilizantes orgânicos fornecidos nas folhas ou substratos pode ser necessária para fornecer às plantas níveis adequados de nutrientes.

Instruções de cultivo: Transplante as mudas com quatro a seis folhas e uma altura de 15 cm. Posicione as mudas com uma densidade de plantio ideal de acordo com a variedade escolhida. No caso de temperaturas diurnas acima de 25 °C, use uma tela de 20 % de sombreamento para evitar que a planta cresça para produzir sementes. Dada a alta incidência de lagartas e outras pragas, como pulgões e larvas de moscas, é importante realizar um monitoramento cuidadoso e usar pesticidas orgânicos (seguros para a aquaponia) quando necessário.

Colheita: Comece a colher quando as cabeças do repolho estiverem firmes, com um diâmetro de cerca de 10 a 15 cm (dependendo da variedade cultivada). Corte a cabeça do caule com uma faca afiada e coloque as folhas externas na caixa de compostagem. Se as cabeças de repolho tendem a quebrar, isso indica que estão maduras demais e deveriam ter sido colhidas mais cedo.

BRÓCOLIS

pH: 6-7
Espaçamento das plantas: 40-70 cm (3-5 plantas/m^2)
Tempo de germinação e temperatura: 4-6 dias; 25 °C
Tempo de crescimento: 60-100 dias a partir do transplante
Temperatura média diária: 13-18 °C
Exposição luminosa: pleno sol; pode tolerar sombra parcial, mas amadurece lentamente
Altura e largura da planta: 30-60 cm; 30-60 cm
Método aquapônico recomendado: leitos de mídia

O cultivo de brócolis em unidades aquapônicas: O brócolis é uma hortaliça nutritiva de inverno. O método de leito de mídia é a opção recomendada, pois o brócolis é uma planta grande e pesada na colheita. O brócolis é moderadamente difícil de crescer porque é uma planta que demanda nutrientes. Também é altamente suscetível a altas temperaturas; portanto, selecione uma variedade que seja resistente à emissão floral (pendoamento) e produção precoce de sementes.
Condições de cultivo: O brócolis cresce melhor quando as temperaturas diurnas são de 14 a 17 °C. Para a formação de cabeças, as variedades de inverno requerem temperaturas de 10 a 15 °C. Temperaturas mais altas são possíveis, desde que haja umidade mais alta. As altas temperaturas causam emissão floral prematura.
Instruções de cultivo: Transplantar as mudas em canteiros de mídia quando quatro a cinco folhas verdadeiras estiverem presentes e as plantas tiverem entre 15 e 20 cm de altura. As mudas devem ser posicionadas entre 40 e 50 cm de distância, pois um espaçamento menor produzirá cabeças centrais menores. Os brócolis, assim como o repolho, são suscetíveis a lagartas e outras pragas persistentes. Embora alguma remoção mecânica possa ter algum efeito superficial, o tratamento com pesticidas e repelentes biológicos pode controlar as infestações.
Colheita: Para obter uma melhor qualidade, comece a colher os brócolis quando os botões da cabeça estiverem firmes. Faça a colheita imediatamente se os botões começarem a se separar e começar a florir (flores amarelas).

ACELGA

pH: 6-7,5
Espaçamento das plantas: 30-30 cm (15-20 plantas/m^2)
Tempo de germinação e temperatura: 4-5 dias; 25-30 °C é o ideal
Tempo de crescimento: 25-35 dias
Temperatura: 16-24 °C
Exposição à luz: pleno sol (sombra parcial para temperaturas > 26 °C)
Altura e largura da planta: 30-60 cm; 30-40 cm
Método aquapônico recomendado: leitos de mídia, tubos NFT e DWC

Cultivo de acelga em unidades aquapônicas: A acelga é uma hortaliça folhosa extremamente popular para cultivo usando aquaponia e prospera com todos os três métodos aquapônicos. É uma consumidora moderada de nitrato e requer concentrações mais baixas de potássio e fósforo do que as hortaliças frutíferas, o que a torna ideal para aquaponia. Devido ao seu alto valor de mercado, sua rápida taxa de crescimento e seu conteúdo nutricional, a acelga é frequentemente cultivada em sistemas aquapônicos comerciais. A folhagem vai do verde ao verde escuro, mas os caules podem ter cores marcantes e atraentes de amarelo, roxo ou vermelho.
Condições de cultivo: As temperaturas ideais da acelga são de 16 a 24 °C, enquanto a temperatura mínima para crescimento é de 5 °C. Embora seja tradicionalmente uma cultura do final do inverno/primavera (tolerando geadas moderadas), a acelga também pode crescer bem a pleno sol durante o verão ameno. Sugere-se uma tela de sombreamento em temperaturas mais altas. A acelga tem uma tolerância moderada à salinidade, o que a torna uma planta ideal para locais com água salina.
Instruções de cultivo: Sementes de acelga produzem mais de uma muda; portanto, é necessário desbaste à medida que as mudas começam a crescer. À medida que as plantas ficam senescentes durante a estação, as folhas mais velhas podem ser removidas para estimular o novo crescimento.
Colheita: As folhas da acelga podem ser continuamente cortadas sempre que atingirem o tamanho adequado para a colheita. A retirada de folhas maiores favorece o crescimento de novas. Evite danificar o ponto de crescimento no centro da planta na colheita.

SALSA

pH: 6-7
Espaçamento das plantas: 15-30 cm (10-15 plantas/m^2)
Tempo de germinação e temperatura: 8-10 dias; 20-25 °C
Tempo de crescimento: 20-30 dias após o transplante
Temperatura: 15-25 °C
Exposição luminosa: pleno sol; sombra parcial a > 25 °C
Altura e largura da planta: 30-60 cm; 30-40 cm
Método aquapônico recomendado: leitos de mídia, NFT e DWC

Cultivo de salsa em unidades aquapônicas: A salsa é uma erva muito comum cultivada em unidades aquapônicas domésticas e comerciais devido ao seu conteúdo nutricional (rico em vitaminas A e C, cálcio e ferro) e seu alto valor de mercado. A salsa é uma erva fácil de cultivar, pois as necessidades de nutrientes são relativamente baixas em comparação com outras hortaliças.

Condições de cultivo: A salsa é uma erva bienal, mas tradicionalmente cultivada como planta anual; a maioria das variedades crescerá em um período de dois anos se o inverno for ameno com geadas mínimas a moderadas. Embora a planta resista a temperaturas de 0 °C, a temperatura mínima de crescimento é de 8 °C. No primeiro ano, as plantas produzem folhas, enquanto no segundo as plantas começarão a emitir hastes de flores para a produção de sementes. A salsa gosta de sol forte por até oito horas durante o dia. O sombreamento parcial é necessário para temperaturas > 25 °C.

Instruções de cultivo: A principal dificuldade ao cultivar a salsa é a germinação inicial, que pode levar de duas a cinco semanas, dependendo de quão recentes são as sementes. Para acelerar a germinação, as sementes podem ser mergulhadas em água morna (20-23 °C) por 24 a 48 horas para amolecer a casca da semente. Em seguida, drene a água e semeie as sementes em bandejas de propagação. As mudas emergentes terão a aparência de grama, com duas folhas estreitas de sementes opostas uma à outra. Após cinco a seis semanas, transplante as mudas na unidade aquapônica durante o início da primavera.

Colheita: A colheita começa quando os caules individuais da planta têm pelo menos 15 cm de comprimento. Colha primeiro os caules externos da planta, pois isso estimulará o crescimento ao longo da estação. Se apenas as folhas superiores forem cortadas, os caules permanecerão e a planta será menos produtiva. A salsa seca e congela bem. Se secas, as plantas podem ser esmagadas manualmente e armazenadas em um recipiente hermético.

Apêndice 2 - Controle de pragas e doenças de plantas

O manejo de pragas em aquaponia pode se beneficiar da maioria dos métodos biológicos comuns usados na agricultura orgânica. No entanto, é importante lembrar que uma estratégia contra pragas deve ser planejada de acordo com os insetos que ocorrem naquela área específica e a cultura que está sendo cultivada durante uma estação específica e um determinado ambiente.
[NT: O uso de alguns métodos eventualmente possuem restrições locais; verificar junto aos órgãos competentes em sua região].

CONTROLE DE PRAGAS: REPELENTES, PRODUTOS QUÍMICOS BRANDOS E INSETICIDAS DERIVADOS DE PLANTAS

Alternativas de produtos químicos brandos para pesticidas industriais também podem ser aplicadas para deter as pragas. Misturas orgânicas compostas de alho amassado, pimenta, sabão e óleos inseticidas podem ser usadas para remover a ameaça das pragas. Se usar sabões, certificar-se de usar sabões naturais, caso contrário, produtos químicos potencialmente nocivos normalmente encontrados em sabonetes sintéticos podem acabar na água, danificando as brânquias dos peixes, e por isso deve-se ter cuidado para não deixá-los entrar na água. A cobertura completa das plantas é necessária para o controle eficaz das pragas. Embora o conhecimento observado e empírico de muitos desses métodos sugira que eles funcionem, não houve pesquisas científicas sistemáticas sobre sua eficácia. Além disso, as propriedades medicinais dos extratos vegetais utilizados sugerem cautela em seu uso devido aos riscos de toxicidade para os peixes.

Produto	Função/ação	Praga controlada	Método de aplicação
Citronela	Repelente.	Amplo espectro de pragas.	Dissolva o produto em água e pulverize bem nas plantas.
Óleo de alho	Propriedades inseticidas que são aprimoradas se misturadas com óleo e sabão.	Pulgões, lagartas, cigarrinhas, moscas brancas, alguns besouros e nematoides.	Dissolva 85 g de alho picado em 15 mL de óleo vegetal e deixe em infusão por 24 h. Após, adicione a mistura a 500 mL de água e pulverize bem nas plantas.
Pimenta picante, páprica (pó de capsaicina)	Repelente.	Lagartas e formigas.	Polvilhe o pó sobre as plantas.
Spray de folha de tomate	Atrativo de micróbios	Pulgões, lagarta do milho.	Pegue 250 g de folhas de tomate

	benéficos, possível efeito tóxico para alcaloides.		fresco e coloque em 250 mL de água por 12 h. Coe e dilua ainda mais usando outro copo de água. Pulverize completamente nas plantas alvo.
Óleos essenciais (sálvia, tomilho)	Repelente. Reduz o nível de dano provocado pela alimentação das pragas.	Ampla gama de pragas.	Misture algumas gotas em 250 mL de água e pulverize nas plantas-alvo.
Extrato de álcool (alecrim, hissopo, sálvia, tomilho, etc.)	Repelente. Reduz o nível de dano provocado pela alimentação das pragas.	Ampla gama de pragas.	Mergulhe 250 mL de folhas frescas em 400 mL de água durante a noite. Coe as folhas e use como spray foliar.
Sabões (sais de ácidos graxos)	Penetra nas cutículas causando desidratação e eventual morte.	Insetos de corpo mole: pulgões, cochonilhas, moscas brancas. Também ácaros, escamas, tripes, carrapatos.	Use sabões naturais: uma (ou mais) colher de sopa em quatro litros de água (ajustável dependendo das plantas e pragas). Os sabões também podem ser misturados com óleos vegetais (veja abaixo).
Óleos vegetais	Sufoca as pragas.	Pulgões, cochonilhas, ácaros, escamas.	Pulverize em uma concentração de 2 % durante a manhã ou à noite. Os produtos comerciais também devem ser vendidos com um agente emulsificante.
Cal/cinza	Repelente.	Ampla gama de pragas.	Peneirar bem as cinzas e polvilhar

			nas folhas molhadas usando um espanador.
Spray de amido (farinha de trigo ou dextrina de batata)	Agente de aprisionamento na superfície da folha.	Pulgões, aranhas, ácaros, tripes, moscas brancas.	Misture 30-45 mL de fécula de batata em um litro de água com duas a três gotas de sabão líquido. Use como spray foliar.

Fonte: Ellis e Bradley (1996) - Consulte a seção Leitura Adicional para obter a referência completa.

CONTROLE DE PRAGAS: INSETICIDAS E DERIVADOS DE PLANTAS

Os bioinseticidas merecem atenção especial em aquaponia, pois nem todos são adequados para peixes. Embora os bioinseticidas sejam classificados para uso em agricultura orgânica, a maioria deles é tóxica para peixes e insetos benéficos. A tabela abaixo lista uma série de inseticidas comuns e informações importantes para seu uso seguro.

Inseticidas	Origem	Efeito sobre pragas	Condições de uso
Nicotina (extrato aquoso de tabaco)	Planta	Inseticida neurotóxico.	Tóxico para os peixes.
Neem (*Azadirachta indica*)	Planta	Potente antialimentar. Necessita de tratamentos repetidos, a cada 10 dias.	Tóxico para peixes, pode ser usado como spray foliar longe da água. Não prejudica insetos benéficos. Também fungicida.
Piretro (*Chrysanthemum cinerariaefolium*)	Planta	Inseticida neurotóxico natural. Inseticida de amplo espectro, também mata microrganismos benéficos.	Tóxico para peixes, pode ser usado como spray foliar longe da água. Baixa persistência, facilmente destruído com luz em um a três dias.
Rotenona (*Derris elliptica, Lonchocarpus* spp., *Tephrosia* spp.)	Planta	Inseticida natural que afeta um amplo espectro de pragas.	Extremamente tóxico para os peixes, pode ser usado como spray foliar longe da

			água. Adequado para viveiros de plantas antes do transplante para a unidade aquapônica.
Quina (*Quassia amara*)	Planta	Efeito fagodeterrente (fagoinibidora) em larvas de insetos.	Spray de extrato da madeira. Não é tóxico para os peixes.
Ryania (*Ryania speciosa*)	Planta	Paralisia e morte por disfunção nos canais de cálcio das células das pragas.	Use com moderação e cuidado pois é moderadamente tóxico para os peixes.
Sabadilha	Planta	Interfere com a membrana nervosa de pragas.	Use com cautela, os efeitos tóxicos ainda não são bem conhecidos para os peixes.
Terra diatomácea	Inorgânico	A poeira abrasiva absorve os lipídios da camada externa serosa dos exoesqueletos dos insetos (ex.: formigas), fazendo com que elas se desidratem.	Use uma máscara ao aplicar para evitar a inalação de poeira. Não é tóxico para os peixes.
Enxofre (enxofre em pó ou cal)	Inorgânico	Inseticida repelente de pragas e eficaz contra ácaros.	Também pode ser usado como fungicida.
Cobre (sulfato de cobre)	Inorgânico	Na forma de calda bordalesa ou mistura de Bordeaux (sulfato de cobre + cal virgem + água) funciona como repelente de insetos.	O cobre também é um fungicida, mas evite o acúmulo excessivo na água - tóxico para os crustáceos.

Fonte: Copping, 2004; Shour, 2000; Soil Association, 2011; IFOAM, 2012 - Consulte a seção Leitura Adicional para obter a referência completa.

CONTROLE DE PRAGAS: INSETOS BENÉFICOS

Os insetos benéficos podem ser usados para controlar pragas. Este método é mais aplicável para grandes produtores, pois o custo pode ser proibitivo em pequena escala. A escolha do inseto deve ser de acordo com o inseto praga e as condições ambientais.

Inseto benéfico / organismo	Tipo	Praga a controlar
Adalia bipunctata	Besouro predador	Pulgões
Aphelinus abdominalis	Parasitoide	Pulgões
Chrysoperla carnea	Crisopídeos	Pulgões
Aphidius colemani	Vespa parasita	Pulgões
Cryptolaemus montrouzieri	Besouro predador	Cochonilhas
Coccidoxenoides perminutus	Vespa parasita	Cochonilhas
***Trichogramma* spp.**	Parasitoide	Lagartas
Heterorhabditis megidis	Nematoide	Larvas de besouro Chafer
Steinernema carpocapsae	Nematoide	Traças
Cydia pomonella*	Vírus da granulose	Traças das frutas
Anagrus atomus	Vespa parasita	Cigarrinhas
Dacnusa sibirica* e *Diglyphus	Parasitoide	Minadores das folhas
Chilocorus nigritus	Besouro predador	Cochonilhas
Hypoaspis miles	Ácaro predador	Moscas Sciaridae
Steinernema feltiae	Nematoide	Moscas Sciaridae e tripes
Amblyseius cucumeris	Ácaro predador	Tripes
Phytoseiulus persimilis	Ácaro predador	Tripes
Orius insidiosus	Inseto predador	Tripes
Amblyseius californicus	Ácaro predador	Ácaro-aranha (rajado)
Feltiella acarisuga	Mosquito-ácaro	Ácaro-aranha (rajado)

Encarsia formosa	Parasitoide	Mosca branca
Eretmocerus eremicus	Parasitoide	Mosca branca e mosca branca da estufa
Heterorhabditis megidis	Nematoide	Gorgulho da videira
Phasmarhabditis hermaphrodita	Nematoide	Lesmas

Fonte: Olkowski et al., 2003; Soil Association, 2011 - Consulte a seção Leitura Adicional para referência completa.
* [NT: *Cydia pomonella* é a praga (traça das frutas) a ser controlada pelo granulovirus isolado da própria *C. pomonella*.]

CONTROLE DE DOENÇAS: AMBIENTAL

Muitas doenças fúngicas dependem da temperatura e da umidade e, como tal, o controle dos fatores ambientais pode atenuar a doença. Se os fatores ambientais não podem ser controlados, pode ser melhor escolher culturas ou variedades resistentes.

Doença	**Agente de doença**	**Plantas**	**Alvo**	**Temp. (° C)**	**Umidade**
Podridão da raiz	*Pythium* spp.	Alface	Raízes	28-30	Solo encharcado
Míldio	*Pseudoperonospora cubensis*	Pepino, abobrinha, abóbora	Folhas	20-25	Folhas úmidas por 1 h
Oídio	*Sphaerotheca fuliginea*	Pepino, abobrinha, abóbora	Folhas	27	–
Murcha de Verticillium	*Verticillium* spp.	Vários	Caules	21-27	Solo úmido
Fusariose	*Fusarium oxysporum*	Pepino, abobrinha, abóbora	Caules	25-27	–
Mancha de Alternaria	*Alternaria solani*	Tomate, batata	Folhas	28-30	Água/ umidade

CONTROLE DE DOENÇAS: QUÍMICO INORGÂNICO

Alguns compostos inorgânicos podem ser usados para tratar doenças fúngicas, e muitos deles são aceitáveis para uso em unidades aquapônicas. A tabela a seguir descreve algumas dessas opções.

Substância	Condição de uso
Caulim	Aplicação foliar.
Sais de cobre	Aplicação foliar. Use com cautela, pois pode se acumular no sistema. É preferível usar na fase de mudas antes do transplante.
Enxofre	Aplicação foliar. Use com cautela, pois pode se acumular no sistema (afeta negativamente o crescimento das plantas).
Calda sulfocálcica	Aplicação foliar apenas como fungicida. Use com cautela, pois pode se acumular no sistema (afeta negativamente o crescimento das plantas).
Bicarbonato de potássio	Aplicação foliar. Também pode ser usado para aumentar a dureza do carbonato (KH) que tampona o pH da água do sistema aquapônico (ver Capítulo 3).
Bicarbonato de sódio	Aplicação foliar, não usar para tamponar o pH da água, pois o sódio se acumula no sistema e afeta negativamente o crescimento das plantas.
Hidróxido de cálcio (cal hidratada)	Aplicação foliar apenas como fungicida.
Silicatos/silício	Aplicação foliar.

Fonte: Modificado de IFOAM, 2012 - Consulte a seção Leitura Adicional para obter a referência completa.

TABELA DE PLANTIO DE PLANTAS COMPANHEIRAS

O plantio de plantas companheiras é um método consorciado em pequena escala, muito comum na horticultura orgânica e biodinâmica. A justificativa é que a associação de diferentes plantas tem efeito mecânico, repelente ou dissuasivo contra pragas. Além disso, alguns efeitos benéficos no complexo agroecossistema solo/planta podem ser estimulados pela liberação de substâncias ou exsudatos de raízes de plantas benéficas. Embora algum grau de controle de pragas tenha sido verificado cientificamente, o grau de sucesso depende de: o nível de infestação de pragas, a densidade da cultura, a proporção entre as culturas e as plantas benéficas e as épocas específicas de plantio. O plantio de plantas companheiras pode ser usado em combinação com outras estratégias dentro de um manejo integrado de plantas e pragas para obter colheitas mais saudáveis em sistemas aquapônicos.

A tabela abaixo fornece uma visão geral das combinações possíveis de acordo com os princípios biodinâmicos. Informações específicas podem ser obtidas facilmente na literatura detalhada disponível sobre agricultura orgânica e biodinâmica.

Cultura	Companheiras	Incompatíveis
Aspargo	Tomate, salsa, manjericão	-
Feijões	A maioria das hortaliças e ervas	-
Feijão vagem, arbustivo	Batata inglesa, pepino, milho, morango, aipo/salsão, segurelha de verão	Cebola
Feijão vagem, trepador	Milho, segurelha de verão, rabanete	Cebola, beterraba, couve-rábano, girassol
Família do repolho (couve-flor, brócolis)	Ervas aromáticas, aipo, beterraba, família da cebola, camomila, espinafre, acelga	Endro, morangos, feijões, tomate
Cenoura	Ervilha inglesa, alface, alecrim, família da cebola, sálvia, tomate	Endro
Aipo/salsão	Famílias de cebola e repolho, tomate, feijões, capuchinha	–
Milho	Batata inglesa, feijões, ervilha inglesa, abóbora, pepino, abóbora	Tomate
Pepino	Feijão, milho, ervilha inglesa, girassóis, rabanete	Batata inglesa, ervas aromáticas
Berinjela	Feijões, calêndula	–
Alface	Cenoura, rabanete, morango, pepino	–
Família da cebola	Beterraba, cenoura, alface, família de repolho, segurelha de verão	Feijões, ervilha inglesa
Salsinha	Tomate, aspargos	–
Ervilha inglesa	Cenoura, rabanete, nabo, pepino, milho, feijões	Família da cebola, batata
Rabanete	Ervilha inglesa, capuchinha, alface, pepino	Hissopo
Espinafre	Morango, fava	–
Abóbora	Agrião, milho, calêndula	Batata
Tomate	Família da cebola,	Batata, erva-doce,

	capuchinha, calêndula, aspargos, cenoura, salsa, pepino, manjericão	família do repolho
Nabo	Ervilha inglesa	Batata

Fonte: http://permaculturenews.org/2011/12/02/companion-planting-information-and-chart

Apêndice 3 - Controle de pragas e doenças de peixes

Conforme discutido na Seção 7.6.3, a doença é o resultado de um desequilíbrio entre os peixes, o patógeno/agente causador e o ambiente. Fraqueza no animal e maior incidência do patógeno em determinadas condições ambientais mais favoráveis para o patógeno causa doença. Boas práticas de manejo de peixes que estruturam um sistema imunológico saudável são as principais ações para garantir um estoque saudável. As doenças dos peixes devem ser reconhecidas e tratadas rapidamente. As duas tabelas a seguir descrevem sintomas e causas de doenças comuns, separadas como abióticas e bióticas, para destacar a importância da qualidade da água e das condições ambientais na identificação de doenças.

	Doenças abióticas
Hipóxia	**Sintomas:** peixes 'boqueando' a superfície ou na entrada do fluxo de água, depressão ou anorexia (hipóxia crônica), peixes maiores morrem enquanto peixes menores permanecem vivos, peixes mortos com opérculos e boca amplamente aberta. **Causas:** aeração insuficiente, problemas no sistema de aeração, superlotação, baixo fluxo de água, redução do oxigênio dissolvido (aumento da temperatura ou salinidade). **Solução:** restaurar/potencializar a aeração, reduzir a densidade de estocagem, reduzir a alimentação, monitorar os níveis de amônia e nitrito.
Estresse térmico	**Sintomas:** letargia, mortalidade de peixes intolerantes ao frio (hipotermia) ou intolerantes ao calor (hipertermia), doença do bolor (hipotermia), dispneia (hipertermia). **Causas:** falta de aquecimento ou isolamento, quebra do termostato, manejo inadequado. **Solução:** isolar o tanque, adicionar um aquecedor de água, alojar o sistema em uma estufa em estações frias (hipotermia). Sombrear a parede do tanque, ventilar à noite, configurar um sistema de refrigeração (hipertermia).
Intoxicação por amônia	**Sintomas:** natação anormal, não se alimentam, brânquias mais escuras, brânquias maiores (hiperplasia por toxicidade crônica), vermelhidão ao redor dos olhos e barbatanas. **Causas:** síndrome do tanque novo, falha do biofiltro (várias causas, também por tratamentos com antibióticos ou antissépticos para peixes se transportados em tanque aquapônico), mídia de biofiltro recentemente lavada/limpa, superlotação do tanque, fornecimento excessivo de ração, excesso de proteína na ração, fluxo de água reduzido, oxigênio reduzido na água, queda de temperatura inibindo bactérias nitrificantes. **Solução:** troca imediata de água (20 a 50 %), adição de zeolita (ação rápida, mas de baixa eficácia em maior salinidade), redução do pH com tampão ácido, adição de bactérias, adição de meios biofiltrantes, melhoria da oxigenação, ajuste de temperaturas para níveis ideais, cessar a oferta de alimento.

Intoxicação por nitrito	**Sintomas:** dificuldade em respirar, brânquias mais escuras, sangue acastanhado, natação anormal, reúnem-se perto da superfície da água, letargia, vermelhidão ao redor dos olhos e barbatanas. **Causas:** síndrome do tanque novo, falha do biofiltro (várias causas, também por tratamentos com antibióticos ou antissépticos para peixes), mídia do biofiltro recentemente lavada/limpa, superlotação do tanque, fornecimento excessivo de ração, excesso de proteína na ração, fluxo de água reduzido, oxigênio reduzido na água, queda de temperatura, baixa relação Cl:NO_2. **Solução:** reposição imediata de água (20 a 50 %), adicionar bactérias, adicionar mídias de biofiltro, reduzir a densidade dos peixes, cessar a oferta de alimento, adicionar cloreto, melhorar a oxigenação, ajustar a temperatura para níveis ideais, evitar a perturbação dos peixes, pois pode causar mortalidade aguda.
Sulfeto de hidrogênio	**Sintomas:** cheiro característico de ovos podres, presença de brânquias violeta-púrpura, comportamento natatório incomum dos peixes. **Causas:** acúmulo de resíduos sólidos em condições anaeróbicas, falta de aeração adequada, aumento de temperatura. **Solução:** remoção de resíduos orgânicos acumulados em condições anaeróbicas, remoção de peixes para tanques de recuperação até que a causa seja eliminada, aumento de OD na água, aumento de pH, redução de temperatura.
pH	**Sintomas:** pH baixo: morte aguda com tremores e hiperatividade, dificuldade em respirar, aumento da produção de muco. pH alto: opacidade na pele e brânquias, danos na córnea (não comum). **Causas:** pH baixo: ocorrência de nitrificação, baixo tampão na água, adição inadequada de ácido. pH alto: adição inadequada de tampão, água muito rica em alcalinidade/dureza. Demasiado carbonato na mídia de biofiltro ou lixiviação de carbonato de tanques de concreto. **Solução:** reposição de água, adição de tampão, adição de base ou ácido para ajustar o pH. Em caso de pH baixo ajustar com base somente se o nível de amônia for muito baixo (risco de amônia não ionizada em pH alto), em caso de pH alto adicionar água destilada/chuva.
Salinidade imprópria	**Sintomas:** lesões na pele, inatividade. **Causas:** concentrações de salinidade além da tolerância dos peixes, substituição da água por fontes com maior/menor salinidade, erro de cálculo da adição de sal (espécies salinas), perda de água por evaporação causando maiores concentrações de sal na água remanescente. **Solução:** adicionar água deionizada/chuva ou água doce para diminuir a salinidade; adicionar sal para aumentar a salinidade. A adição de sal não deve exceder 1 mg/L de incremento por hora.
Supersaturação de gás	**Sintomas:** peixes flutuando na superfície, olhos esbugalhados devido a embolia gasosa, presença de embolia no sangue e em quaisquer

(doença da bolha de gás)	órgãos, incluindo olhos, pele e brânquias. **Causas:** aumento rápido da temperatura ou diminuição rápida da pressão da água que reduzem a solubilidade do gás, uso de águas subterrâneas, excesso de oxigenação da água. **Solução:** reduzir o excesso de gases, evitar estresse ao animal durante a recuperação.
Deficiência alimentar	**Sintomas:** crescimento deficiente, inatividade, mortalidade, anormalidade no esqueleto, lesão ocular, anemia. **Causas:** alimentos carentes de elementos essenciais, armazenamento inadequado de alimentos, falta de variação alimentar, pouca ração, cegueira, acúmulo excessivo de gordura. **Solução:** seguir as necessidades dos peixes, variar a dieta, fornecer ração específica para peixes, fornecer vitaminas e minerais, equilibrar a relação proteína:gordura e diminuir a gordura (acúmulo de gordura).

Doenças bacterianas

Columnariose (doença do pedúnculo, podridão da barbatana, doença do algodão, necrose da mancha preta)	**Sintomas:** vermelhidão e erupção da pele transformando-se em úlceras rasas e necrose, necrose de brânquias, liberação de muco amarelado das lesões. **Causas:** principal agente *Flexibacter columnaris*. Causas concomitantes de estresse agudo, aumento de temperaturas, baixo oxigênio, nitrito. Acima de 15 °C aumenta a patogenicidade. **Solução:** imersão prolongada em permanganato de potássio para tratar os peixes inicialmente e aumentar o apetite para deixá-los comer ração medicamentosa. Imersão em sulfato de cobre. Tratamento com antibiótico (oxitetraciclina, nifurpirinol) em tanque separado. Elimine as causas subjacentes.
Hidropsia/Ascite	**Sintomas:** infecção de órgãos internos levando ao acúmulo de líquido no corpo. Os peixes parecem inchados. **Causas:** várias bactérias, embora possa ser causada por parasitas ou vírus. Causas concomitantes também são peixes enfraquecidos e padrões hídricos/ambientais inadequados. **Solução:** tratamento de peixes com alimentos medicamentosos contendo antibióticos (cloranfenicol, tetraciclina) em um tanque separado. Eliminação das causas hídricas e/ou ambientais.
Apodrecimento das barbatanas	**Sintomas:** barbatanas danificadas com raios da barbatana expostos, erosão, perda de cor, ulceração e sangramento. Septicemia interna. **Causas:** infecção bacteriana por diferentes agentes, mas *Pseudomonas* spp. é a mais recorrente. Más condições da água, intimidação por outros peixes. Frequentemente patogênico em baixas temperaturas. **Solução:** identificar a(s) causa(s). Trate os peixes em um tanque separado fornecendo ração medicamentosa com antibióticos não resistentes (cloranfenicol, tetraciclina) ou dissolva o antibiótico diretamente na água. Mantenha os animais separados até a

	recuperação total.
Estreptococose	**Sintomas:** hemorragias agudas no corpo, olhos arregalados. Presença de líquido sanguinolento na cavidade peritoneal. **Causas:** *Streptococcus* spp. **Solução:** tratamento com antibióticos (oxitetraciclina, eritromicina, ampicilina).
Tuberculose	**Sintomas:** emagrecimento, letargia, falta de apetite, barriga oca. A pele apresenta úlceras, perda de escamas e erosão das nadadeiras. Aparecimento de tubérculos amarelados ou escuros no corpo. Presença de nódulos brancos de 1 a 4 mm em órgãos internos, especialmente nos rins e baço. **Causas:** as bactérias responsáveis são *Mycobacterium* spp., mas a superlotação, a má qualidade da água e as espécies de peixes suscetíveis são causas complementares. A ingestão é o fator de transmissão mais comum. Bactérias encistadas podem sobreviver dois anos no ambiente. **Solução:** tratamento prolongado com eritromicina, estreptomicina ou canamicina e vitamina B-6 ou eliminação do peixe. É necessária atenção ao manusear, pois a doença pode ser transmitida para pessoas.
Vibrio	**Sintomas:** pele hemorrágica com manchas avermelhadas na parte lateral e ventral do peixe, lesões inchadas que se transformam em úlceras liberando pus. Infecção sistêmica no rim e baço. lesões oculares, como nebulosidade ocular, ulceração, olhos saltados e, eventualmente, perda de órgãos. Além de anorexia e letargia. **Causas:** vários tipos de *Vibrio* spp., mais comuns em peixes de água salobra e tropicais. Incidência aumentada com temperaturas mais altas. Fatores simultâneos de estresse, aglomeração, poluição orgânica. Em salmonídeos, surtos de *V. anguillarum* aparecem em temperaturas abaixo de 5 °C. **Solução:** tratamento oportuno com antibióticos (oxitetraciclina, sulfonamidas) devido ao curso muito rápido da doença. A redução do estresse é fundamental para o controle a longo prazo da doença. Atenção necessária no manuseio, pois a doença pode ser transmitida às pessoas.
Doenças fúngicas	
Saprolegnia - doença do algodão	**Sintomas:** crescimento algodoado branco, marrom ou vermelho na superfície do peixe, em expansão. Lesões oculares como olhos turvos causando cegueira e perda do órgão. **Causas:** *Saprolegnia* spp., muitas vezes como um agente oportunista após outras infecções e fraqueza geral dos peixes. Causas concomitantes de estresse agudo, queda de temperatura, estresse de transporte. **Solução:** banho de sal prolongado ou banho de formalina; tratamento de ovos com peróxido de hidrogênio ou imersão

	prolongada em azul de metileno. As lesões podem ser tratadas com pano embebido em iodopovidona ou mercúrio cromo.
Doenças causadas por protozoários	
Coccidiose	**Sintomas:** infestação intestinal e enterite, necrose epitelial. Lesões em órgãos internos, como fígado, baço, órgãos reprodutivos e bexiga natatória. **Causas:** Coccídios pertencentes a diferentes famílias. **Solução:** uso de coccidiostático como monensina, sulfadimidina (1 mL em 32 L de água; repetido semanalmente) ou amprolium.
Hexamitose	**Sintomas:** ocorrência de parasita no intestino e vesícula biliar ou outros órgãos em casos mais avançados. Presença de distensão abdominal e excrementos mucosos esbranquiçados seguidos de distúrbios comportamentais como peixes escondidos nos cantos com a cabeça baixa e/ou nadando para trás, redução progressiva do volume da cabeça acima dos olhos e escurecimento do corpo. **Causas:** *Hexamita* spp. *Spironucleus* spp. protozoários flagelados aderidos ao trato intestinal. Afeta animais debilitados e estressados. **Solução:** uso de Metronidazol tanto na ração (1 %) quanto na água (12 mg/L). Adição de sulfato de magnésio como catártico. Aumentar a temperatura e melhorar as condições ambientais.
Ictio/doença dos pontos brancos	**Sintomas:** pequenos cistos brancos (até 1 mm) cobrindo o corpo do peixe dando uma aparência de grãos de sal que emergem, pele com muco e erosões. Distúrbios comportamentais como letargia, perda de apetite e atrito do corpo contra as paredes na tentativa de remover o parasita. **Causas:** *Ichthyophthirius multifiliis.* **Solução:** o parasita é suscetível de tratamento durante a fase de nado livre dos juvenis (terontes) seguindo a fase adulta (trofonte) no peixe e a produção de cistos (tomonte) que caem no fundo. Tratamento com banho de sal ou banho de formalina todas as semanas até a cura. Manter a temperatura da água acima de 30 °C por 10 dias. Aumentar a temperatura de 21 a 26 °C encurta o ciclo do parasita de 28 para cinco dias, tornando o período de tratamento em banhos curativos mais curto.
Trichodina	**Sintomas:** uma montagem de lâmina úmida (microscopia) de raspagem da pele mostrará o parasita. Uma película cinzenta na pele e brânquias, juntamente com um excesso de secreção mucosa branca. Anorexia e perda do fator de condição (‘barriga afundada’) em peixes fortemente infestados. **Causas:** parasita protozoário de forma arredondada com ‘raios’ (semelhante à roda de carro) que se fixa às brânquias e à superfície do corpo do peixe hospedeiro. Frequentemente encontrado em água de má qualidade e excesso de estoque. **Solução:** banho de formalina ou permanganato de potássio.

	Imersão em banho de sal ou ácido acético (somente protozoários de água doce).
Piscinodiníase ou doença do veludo	**Sintomas:** ‘poeira’ acastanhada cobrindo o corpo e/ou as nadadeiras. Desconforto respiratório (falta de ar) com movimento rápido das brânquias (hiperventilação) devido à presença do parasita nas brânquias, olhos turvos. Formação de cistos que liberam parasitas infecciosos livres. **Causas:** *Piscinoodinium* spp., um parasita flagelado da pele que se liga ao hospedeiro. **Solução:** a doença é altamente contagiosa e fatal. O aumento das temperaturas de 24 a 27 °C acelera o ciclo do tratamento. Deixar o sistema sem peixes por duas semanas para remover o protozoário. Para infestações pesadas, um banho com 3,5 % de sal por 1 a 3 min é eficaz para remover os trofontes, uma das fases de vida do parasita. Alternativamente, tratamento com sulfato de cobre a 0,2 mg/L em tanque separado, repetindo conforme necessário. Caso use este último, é importante ter cuidado, pois o cobre pode bioacumular e causar toxicidade.
Doenças parasitárias	
Lernaea, copépodos	**Sintomas:** presença de parasitas na pele, brânquias, boca. Erosão e ulceração. Manchas vermelhas na pele que podem aumentar até 5 mm. **Causas:** copépodes de várias origens trazidos do ambiente. Identificável com lupa. **Solução:** tratamento prolongado com sal (espécies de água doce). Também peróxido de hidrogênio, formalina e ivermectina são tratamentos para copépodos.
Trematódeos	**Sintomas:** raspagem do corpo nas paredes do tanque, liberação de muco pelas brânquias, movimento rápido das brânquias (hiperventilação), danos nas brânquias e nadadeiras. Palidez, respiração rápida e nadadeiras caídas. **Causas:** platelmintos - trematódeos - com cerca de 1 mm de comprimento infestam as brânquias e a pele. Detectável com lente de aumento/lupa. **Solução:** tratamento de 10 a 30 min de banho em 10 mg/L de permanganato de potássio em tanque separado (parasita de água doce apenas). Banho de sal (somente parasita de água doce). Banho de formalina ou sulfato de cobre.
Sanguessugas	**Sintomas:** presença de parasitas na pele criando pequenas lesões vermelhas ou brancas. Infestações pesadas levam à anemia. **Causas:** parasitas externos introduzidos principalmente da natureza. **Solução:** evitar a introdução de plantas cruas ou caracois, banho em solução salina, uso de organofosforados.
Nematódeos	**Sintomas:** perda progressiva de peso, letargia, barriga vazia e

	acúmulo de parasitas ao redor do ânus. Colonização de vísceras com vermes de 0,6 a 7,0 mm no intestino. **Causas:** vermes que infestam todo o corpo, mas são visíveis quando se concentram no ânus. A infestação ocorre com a introdução de peixes selvagens ou de lagos. **Solução:** alimentação medicamentosa com fenbendazol oral, levamisol oral.

Fonte: Modificado de Noga (1996) - Consulte a seção Leitura Adicional para obter a referência completa.

Apêndice 4 - Calculando a quantidade de amônia e mídia do biofiltro para uma unidade aquapônica

Este apêndice fornece explicações detalhadas sobre a quantidade ideal de mídia de filtração necessária para converter a amônia em nitrato a partir de uma determinada quantidade de ração para peixes. Além das informações fornecidas no Capítulo 8 do texto principal desta publicação, é importante introduzir dois novos parâmetros nas equações:

- nitrogênio amoniacal total (NAT) produzido pela alimentação dos peixes
- taxa de conversão de amônia em nitrato pelas bactérias

DETERMINANDO A QUANTIDADE DE AMÔNIA PRODUZIDA PELA DIETA

A amônia é um subproduto da degradação de proteínas. A quantidade de amônia na água depende de vários fatores, incluindo a quantidade/qualidade das proteínas ou aminoácidos na ração, a digestibilidade, as espécies de peixes, a temperatura e a remoção de resíduos de peixes do sistema aquapônico. Em média, 30 % das proteínas fornecidas pela dieta são retidas no corpo dos peixes. Portanto, 70 % do nitrogênio é perdido: 15 % não é digerido e sai como resíduo sólido (fezes) e ração não consumida, enquanto os 55 % restantes são excretados pelos peixes como amônia ou produtos facilmente degradáveis em amônia. Além dos resíduos dissolvidos diretamente, é importante notar que cerca de 60 % dos resíduos sólidos produzidos são retirados do sistema por meio de clarificadores ou decantadores, o que deixa cerca de 6 % dos resíduos sólidos para serem degradados em amônia na água. No geral, cerca de 61 % do nitrogênio da ração se transforma em amônia e está sujeito à nitrificação.

Pegue o exemplo de 20 kg de peixes comendo 1 % de seu peso corporal por dia (200 g de ração para peixes). Destes 200 g de ração (32 % de proteína), a quantidade de amônia produzida é de aproximadamente 7,5 g. Para alcançar este resultado, primeiro a quantidade de nitrogênio é calculada com base na porcentagem de proteína da ração; e a quantidade de nitrogênio contida na proteína (16 %). Em seguida, a quantidade de nitrogênio desperdiçado é calculada: 61 % do nitrogênio é desperdiçado (6 % como ração não digerida/não consumida e retido no sistema; 55 % excretado pelos peixes). Para cada 1 g de nitrogênio desperdiçado, 1,2 g de amônia é produzida, de acordo com métodos químicos padrão (não incluídos aqui). A seguinte equação mostra o processo:

$$\text{200 g de ração} \times \frac{\text{32 g de proteína}}{\text{100 g ração}} \times \frac{\text{16 g de nitrogênio}}{\text{100 g de proteína}} \times \frac{\text{61 g de nitrogênio eliminado}}{\text{100 g de nitrogênio total}} \times \frac{\text{1,2 g } NH_3\text{/1}}{\text{1g de nitrogênio}} = \text{7,5 g de amônia}$$

DETERMINANDO A QUANTIDADE DE MÍDIAS BIOFILTRANTES NECESSÁRIAS PELAS BACTÉRIAS NITRIFICANTES

A taxa de remoção de amônia por bactérias nitrificantes é de 0,2 a 2 g por m^2 por dia. A taxa de remoção depende do projeto do biofiltro, carga de água (quantidade de água fluindo através das bactérias), temperatura (maior atividade biológica a > 20 °C), salinidade, pH, oxigênio, bem como sólidos suspensos de resíduos de peixes. Para simplificar os cálculos complexos necessários, uma taxa conservadora é usada: 0,57 g

de amônia são convertidos por m^2 de área de superfície específica por dia. Dada uma quantidade diária de ração de 200 g e a produção resultante de 7,5 g de amônia, é necessário fornecer às bactérias uma área de superfície operacional de 13,3 m^2, conforme mostrado na seguinte equação:

7,5 g amônia × 1 m^2 / 0,57 g amônia = 13,3 m^2

A superfície para adesão de bactérias pode ser obtida a partir de uma ampla escolha de materiais, cada um com uma área de superfície específica (ASE), também conhecida como a relação entre área de superfície e volume, expressa em metros quadrados por metro cúbico (m^2/m^3). As mídias biofiltrantes mais comuns incluem cascalho, areia, fibra de enchimento de almofadas e mídias de plástico. A área de superfície específica indica a superfície total que um metro cúbico de um determinado material teria se todas as suas partículas tivessem sua área de superfície específica dimensionada. Alguns desses valores de área de superfície específica são registrados na Tabela A4.1 (consulte também a Tabela 4.1). O volume de mídia necessário para converter a amônia pode ser calculado usando as relações de área de superfície específica. Um exemplo usando tufo vulcânico é fornecido na seguinte equação.

O tufo vulcânico tem uma área de superfície específica de 300 m^2/m^3. O volume de tufo necessário para garantir uma superfície operacional de 13,3 m^2, calculado acima, para bactérias nitrificantes pode ser obtido com uma divisão simples:

13,3 m^2 × 1 m^3 / 300 m^2 = 0,0443 m^3

O volume final de tufo necessário para processar 200 g de ração por dia é de 0,0443 m^3. Um metro cúbico equivale a 1.000 L e, portanto, o volume de tufo necessário é de 44,3 L. Assim, 1 L de tufo/argila expandida pode converter a amônia obtida em 4,5 g de ração.

$$\frac{\textbf{44,3 L de tufo/argila expandida}}{\textbf{200 g ração}} \quad : \quad \frac{\textbf{1 L de tufo/argila expandida}}{\textbf{4,5 g ração}}$$

Ao usar técnicas de aquaponia de leito de mídia, a quantidade de mídia usada para o cultivo de plantas excede em muito a quantidade mínima necessária para biofiltração e conversão de amônia. Isso resulta em um sistema robusto no caso de uma redução severa da eficiência das bactérias nitrificantes. O projeto do sistema descrito no Apêndice 8 desta publicação tem um volume de tufo de 900 L, quase 20 vezes maior do que o volume necessário para processar a amônia produzida a partir de 200 g de ração.

TABELA A4.1

Área de superfície específica da mídia biofiltrante selecionada, incluindo cálculos de conversão de amônia da ração diária, assumindo 32 % de proteína na ração

Tipo de mídia	Área de superfície específica (m^2/m^3)	Ração (g) processada por litro de mídia	Mídia necessária (litros) por 100 g de ração
Areia grossa (0,6-0,8 mm)	5.000	75,0	1,3
Mídias plásticas (*Bead filtration*)	1.400	21,0	4,8
Bioballs®	600	9,0	11,1
Esponja/espuma	400	6,0	16,7
Malha de fibra	300-400	4,5-6,0	16,7-22,2
Chapa de corrugado estruturado	150-400	2,3-6,0	16,7-44,4
Cascalho vulcânico	300	4,5	22,2
Argila expandida (LECA)	200-250	3,0-3,8	26,7-33,3
Cascalho grosso	150	2,3	44,4

É possível usar qualquer mídia de biofiltro e determinar o volume necessário conhecendo a área de superfície específica. No entanto, vale ressaltar que quanto maior a área de superfície específica da mídia, maior o risco de entupimento se a água tiver alguns sólidos em suspensão, o que pode ocorrer facilmente em sistemas aquapônicos superlotados que não são adequadamente abastecidos com clarificadores ou decantadores para remover dejetos de peixes.

Apêndice 5 - Fazendo ração caseira para peixes

A ração para peixes é um dos insumos mais caros para uma unidade aquapônica de pequena escala. A ração também é um dos componentes mais importantes de todo o ecossistema aquapônico porque sustenta o crescimento dos peixes e vegetais. Portanto, é necessário que produtores e profissionais entendam sua composição. Além disso, se a ração peletizada comercial não estiver disponível, é importante entender os métodos de produção *on farm*. Além disso, a ração caseira é útil quando dietas específicas são necessárias para melhorar o crescimento dos peixes ou o desempenho do sistema aquapônico.

COMPOSIÇÃO DA DIETA

A dieta dos peixes consiste em todos os nutrientes necessários para o crescimento, a energia e a reprodução. As necessidades dietéticas são identificadas para proteínas, aminoácidos, carboidratos, lipídios, energia, minerais e vitaminas (Tabela A5.1). Um breve resumo dos principais componentes da ração, tabelas de composição e formulações é apresentado como um guia para o processo de preparação da ração.

Proteínas

As proteínas da dieta desempenham um papel fundamental para o crescimento e metabolismo dos animais. São compostas por 20 aminoácidos diferentes, reagrupados em inúmeras combinações para fornecer todas as proteínas indispensáveis à vida e ao crescimento.

Apenas alguns aminoácidos podem ser sintetizados por animais, enquanto outros não; estes devem ser fornecidos na dieta. Para animais aquáticos, existem 10 aminoácidos essenciais (AEEs): arginina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptofano e valina. Portanto, a formulação da ração deve encontrar um equilíbrio ideal de AEEs para atender aos requisitos específicos de cada espécie de peixe. O não cumprimento desse requisito impediria os peixes de sintetizar suas próprias proteínas e também desperdiçaria os aminoácidos presentes. A formulação de ração ideal deve, portanto, levar em consideração os níveis de AEE de cada ingrediente e corresponder às quantidades exigidas pelos peixes. Informações sobre o nível de AEEs (especialmente metionina, cisteína e lisina) estão disponíveis em qualquer ficha técnica de especificação de ingredientes das rações (ver Leitura Adicional).

A ingestão recomendada de proteínas pelos peixes depende da espécie e da idade. Enquanto para tilápia e peixes herbívoros as faixas ideais são de 28 a 35 %, as espécies carnívoras requerem de 38 a 45 %. Os peixes juvenis requerem dietas mais ricas em proteínas do que os adultos devido ao seu intenso crescimento corporal.

Além do conteúdo ideal de aminoácidos na ração, vale ressaltar a importância de um equilíbrio alimentar ideal entre proteínas e energia (fornecida por carboidratos e lipídios) para obter o melhor desempenho de crescimento e reduzir custos e desperdícios do uso de proteínas como energia. Embora as proteínas possam ser usadas como fonte de energia, elas são muito mais caras do que carboidratos e lipídios, que são os preferidos.

Na aquaponia, qualquer aumento de proteína na dieta afeta diretamente a quantidade de nitrogênio na água. Isso deve ser equilibrado por um aumento no

número de plantas cultivadas no sistema ou pela seleção de vegetais com maior demanda de nitrogênio.

Em geral, a quantidade total de proteína bruta (PB) ou um AEE específico de um alimento formulado pode ser obtido simplesmente multiplicando o valor de PB (ou a porcentagem do AEE específico que está sendo investigado) de cada ingrediente pela porcentagem de sua inclusão, e finalmente somando todos os subtotais obtidos. Por exemplo, uma dieta com 60 % de soja com 44 % de grãos de trigo com 18,8 % de PB seria igual a: (0,6 × 44) + (0,4 × 18,8) = 26,4 + 7,52 = 33,9 % de PB. Se a PB obtida pelo cálculo (ou a quantidade de AEE específica) atender às necessidades de PB do peixe (ou a porcentagem específica de AEE), a dieta é considerada ótima.

A identificação das fontes de proteína mais baratas pode ser feita simplesmente dividindo o custo de cada ingrediente pelo percentual de sua proteína bruta. Os resultados darão o custo de uma unidade de proteína (1 %) e podem ajudar a encontrar a fórmula alimentar mais econômica.

Carboidratos

Os carboidratos são a fonte de energia mais importante e mais barata para os animais. Eles são compostos principalmente de açúcares simples e amido, enquanto outras estruturas complexas como a celulose e a hemicelulose não são digeríveis pelos peixes. Em geral, a quantidade máxima tolerada de carboidratos deve ser incluída na dieta para reduzir os custos com alimentação. Os peixes onívoros e de água quente podem digerir facilmente quantidades de até 40 %, mas a porcentagem cai para cerca de 25 % nos peixes carnívoros e de água fria. Os carboidratos também são usados como um agente de ligação para garantir que o *pellet* de ração mantenha sua estrutura na água. Em geral, um dos produtos mais usados em rações extrusadas ou peletizadas é o amido (de batata, milho, mandioca ou glúten de trigo), que passa por um processo de gelatinização a 60-85 °C que evita que os *pellets* se dissolvam facilmente em água.

Lipídios

Os lipídios fornecem energia e ácidos graxos essenciais (AGE) indispensáveis para o crescimento e outras funções biológicas dos peixes. As gorduras também desempenham um papel importante na absorção de vitaminas solúveis em gordura e garantindo a produção de hormônios. Os peixes, como outros animais, não podem sintetizar AGEs, que devem ser fornecidos com a dieta de acordo com as necessidades da espécie. A deficiência no suprimento de AGE resulta em crescimento reduzido e eficiência reprodutiva limitada.

Em geral, os peixes de água doce requerem uma combinação de ácidos graxos ômega-3 e ômega-6, enquanto os peixes marinhos precisam principalmente de ômega-3. As tilápias geralmente requerem ômega-6 para garantir um crescimento ideal e alta eficiência de conversão alimentar. A maioria das dietas é composta de 5 a 10 % de lipídios, embora esta porcentagem possa ser maior para algumas espécies marinhas. A inclusão de lipídios na ração deve seguir as proporções ideais de proteína/energia para garantir um bom crescimento, evitar o uso indevido de proteína para fins energéticos (falta de gordura/carboidratos para fins energéticos) e evitar o acúmulo de gordura no corpo (dieta muito rica em lipídios).

Energia

A energia é obtida principalmente pela oxidação de carboidratos, lipídios e, em certa medida, proteínas. As necessidades de energia dos peixes são muito menores do que as dos animais de sangue quente, devido à necessidade reduzida de aquecer o

corpo e realizar atividades metabólicas. No entanto, cada espécie requer uma quantidade ótima de proteína e energia para garantir as melhores condições de crescimento e evitar que os animais usem proteínas caras como energia. Portanto, é importante que os ingredientes da ração sejam cuidadosamente selecionados para atender ao nível desejado de energia digestível (ED) exigido por cada espécie aquática. Uma breve referência sobre o equilíbrio ideal de proteína e energia nos peixes mais comuns para aquaponia é fornecida abaixo (Tabela A5.1). As informações sobre o nível de ED estão disponíveis em qualquer ficha técnica de ingredientes de rações (consulte a seção de rações para peixes na seção Leitura Adicional).

Em geral, o valor de ED de uma ração formulada pode ser obtido simplesmente multiplicando a ED de cada ingrediente pela porcentagem de sua inclusão e somando todos os subtotais obtidos (por exemplo, uma dieta com 60 % de soja com ED de 2.888 kcal/kg e 40 % de grão de trigo com ED de 2.930 kcal/kg seria igual a [0,6 × 2.888] + [0,4 × 2.930] = 1.732 + 1.172 = 2.904 kcal/kg). Se a energia obtida pelo cálculo atende às necessidades de energia (e proteína) dos peixes cultivados, a dieta é ideal.

TABELA A5.1
Proteína ideal, energia, razão PD/ED e requisitos de aminoácidos essenciais por algumas espécies de peixes selecionadas

Espécie	PD (%)	ED (kcal/kg)	PD/ED (mg/kcal)	Arginina	Histidina	Isoleucina	Leucina	Lisina	Metionina	Fenilalanina	Treonina	Triptofano	Valina
				(% da dieta seca)									
Tilápia do Nilo	30	2.900	103	1,2	0,5	0,9	0,9	1,4	0,7	1,0	1,0	0,3	0,8
Carpa comum	32	2.900	108	1,5	0,8	0,9	1,3	2,2	1,2	2,5	1,5	0,3	1,4
Truta arco-íris	42	4.100	105	1,6	-	-	-	1,9	1,0	-	-	0,3	-
Catfish do canal	27	3.100	86	1,0	0,4	0,6	0,8	1,2	0,6	1,2	0,5	0,1	0,7

Fonte: modificado de NRC (1993). PD: proteína digestível; ED: energia digestível.

Vitaminas e minerais

As vitaminas são compostos orgânicos necessários para sustentar o crescimento e realizar todos os processos fisiológicos necessários para sustentar a vida. As vitaminas devem ser fornecidas com a dieta porque os animais não as produzem. As deficiências de vitaminas são mais prováveis de ocorrer em sistemas de criação intensiva em gaiolas e tanques-rede, onde os animais não podem depender de alimentos naturais. As síndromes degenerativas são frequentemente atribuídas a um suprimento insuficiente dessas vitaminas e minerais.

Os minerais são elementos importantes na vida animal. Eles apoiam o crescimento esquelético e também estão envolvidos no equilíbrio osmótico, transporte de energia e funcionamento do sistema neural e endócrino. Eles são a parte central de muitas enzimas, bem como das células sanguíneas. Os peixes requerem sete minerais principais (cálcio, fósforo, potássio, sódio, cloro, magnésio e enxofre) e 15 outros minerais residuais. Estes podem ser fornecidos pela dieta, mas também podem ser absorvidos diretamente da água através da pele e das brânquias. A suplementação de vitaminas e minerais pode ser feita de acordo com a necessidade de cada espécie (Tabela A5.2).

TABELA A5.2
Fontes comuns de ingredientes de rações dos componentes de nutrientes mais importantes

Componentes nutricionais	Fontes de ingredientes de ração
Proteínas	Fontes vegetais: algas, leveduras, farelo de soja, farelo de algodão, amendoim, girassol, colza/canola e outras oleaginosas. Fontes de origem animal: subprodutos da pesca (farinha de peixe ou de vísceras), subprodutos de aves (farinha ou vísceras de aves), farinha de carne, farinha de carne e ossos, farinha de sangue.
Carboidratos	Farinha e farelo de trigo, farinha e farelo de milho, farelo de arroz, fécula de batata, farinha de raiz de mandioca.
Lipídios	Óleo de peixe, óleo vegetal (soja, canola, girassol), gordura animal processada.
Vitaminas	Premix de vitaminas, fermento, legumes, fígado, leite, farelo, gérmen de trigo, peixe e óleo vegetal.
Minerais	Premix mineral, osso triturado.

PRODUÇÃO DE RAÇÃO *ON FARM*

A produção de ração requer um equilíbrio preciso de todos os componentes nutricionais mencionados acima (proteínas, lipídios, carboidratos, vitaminas, minerais e energia total). Uma alimentação desequilibrada causará redução do crescimento, distúrbios nutricionais, doenças e, eventualmente, custos de produção mais elevados.

A farinha de peixe é considerada a melhor fonte de proteína para animais aquáticos devido ao seu alto conteúdo proteico e aos AEEs equilibrados. Porém, é um ingrediente cada vez mais caro, com preocupações em relação à sustentabilidade. Além disso, a farinha de peixe nem sempre está disponível. Proteínas de origem vegetal podem substituir adequadamente a farinha de peixe; contudo, devem ser submetidas a processos físicos (descasque, moagem) e térmicos para melhorar sua digestibilidade. Os ingredientes vegetais são, de fato, ricos em fatores antinutricionais que interferem na digestão e na assimilação de nutrientes pelos animais, o que acaba resultando em baixo crescimento e desempenho dos peixes.

O tamanho dos *pellets* deve ser de cerca de 20 a 30 % da boca do peixe, a fim de facilitar a ingestão e evitar qualquer perda. Se os *pellets* forem muito pequenos, os

peixes gastam mais energia para consumi-los; se for muito grande, o peixe não conseguirá comer. Um tamanho de *pellet* recomendado para peixes abaixo de 50 g é 2 mm, enquanto 4 mm é ideal para pré-adultos com mais de 50 g.

O uso de qualquer ingrediente cru de origem animal (vísceras de peixes, farinha de sangue, insetos, etc.) deve ser preventivamente tratado termicamente para evitar qualquer contaminação microbiana do sistema aquapônico.

FORMULAÇÃO DE RAÇÃO CASEIRA PARA PEIXES ONÍVOROS/HERBÍVOROS

Duas receitas simples para uma ração balanceada para peixes contendo 30 % de PB são fornecidas abaixo. A primeira formulação é feita com proteínas de origem vegetal, principalmente farelo de soja. A segunda formulação é feita principalmente com farinha de peixe. As listas dos ingredientes de cada dieta são expressas em peso (quilogramas), o suficiente para perfazer 10 kg de ração, nas Tabelas A5.3 e A5.4. Um guia passo a passo simples sobre a preparação da ração peletizada é fornecido. Informações abrangentes sobre alimentação, nutrição e formulação podem ser encontradas no site da FAO listado na seção Leitura Adicional da publicação.

TABELA A5.3
Lista e quantidades relativas de ingredientes para 10 kg de ração para peixes utilizando proteína vegetal, incluindo análise proximal

Ingredientes da ração	Peso (kg)	Porcentagem do total da ração (%)	Análise proximal	%
Farinha de milho	1,0	10	Matéria seca	91,2
Farinha de trigo	1,0	10	Proteína bruta	30,0
Farelo de soja	6,7	67,2	Gordura bruta	14,2
Óleo de soja	0,2	2	Fibra bruta	4,8
Farelo de trigo	0,7	7,8	Cinzas	4,6
Premix de vitaminas e minerais	0,3	3	Extrato livre de nitrogênio (NFE)	28,3
Quantidade total	10	100	-	-

TABELA A5.4
Lista e quantidades relativas de ingredientes para 10 kg de ração para peixes utilizando proteína de origem animal, incluindo análise proximal

Ingredientes da ração	Peso (kg)	Percentual do total (%)	Análise proximal	%
Farinha de milho	1,0	10,0	Matéria seca	90,9

Farinha de trigo	4,0	40,0	Proteína bruta	30,0
Farelo de soja	1,5	15,0	Gordura bruta	10,5
Óleo de soja	0,2	2,0	Fibra bruta	2,1
Farinha de peixe	3,0	30,0	Cinzas	8,3
Premix de vitaminas e minerais	0,3	3,0	Extrato livre de nitrogênio - (NFE)	34,5
Quantidade total	10,0	100	-	-

Preparação passo a passo de ração caseira para peixes

1. Reúna os utensílios conforme descrito na Tabela A5.5.
2. Reúna os ingredientes mostrados na Tabela A5.3 ou Tabela A5.4. Adquira os farelos e farinhas de soja, de milho e de trigo previamente desidratadas e desengorduradas. Se isso não for possível, obtenha grãos de soja inteiros, grãos de milho e grãos de trigo. Eles precisam ser secos, descascados e moídos. Além disso, a soja inteira precisa ser torrada a 120 °C por 1 a 2 min.
3. Pese cada ingrediente seguindo as quantidades indicadas nas receitas acima.
4. Adicione os ingredientes secos (farinhas e farelos) e misture bem por 5 a 10 min até que a mistura fique homogênea.
5. Adicione o premix de vitaminas e minerais aos ingredientes secos e misture bem por mais 5 min. Certifique-se de que o premix seja distribuído uniformemente por toda a mistura.
6. Adicione o óleo de soja e continue a misturar por 3 a 5 min.
7. Adicione água à mistura para obter uma massa macia, mas não pegajosa.
8. Cozinhe a vapor a massa para causar a gelatinização.
9. Extrude a massa. Primeiro divida a massa em pedaços manejáveis e passe-os pelo moedor de carne/máquina de macarrão para obter tiras de espaguete. O disco moedor/picador deve ser escolhido de acordo com o tamanho de *pellet* desejado.
10. Seque a massa extrudada espalhando as tiras em bandejas de alumínio. Se disponível, seque as tiras de ração em um forno elétrico a uma temperatura de 60 a 85 °C por 10 a 30 min para gelatinizar o amido. Verifique as tiras regularmente para evitar que queimem.
11. Esfarele as tiras secas. Quebre ou corte a ração na bandeja com os dedos em pedaços menores. Tente fazer os *pellets* do mesmo tamanho. Evite a manipulação excessiva de *pellets* para evitar que se desintegrem. Os *pellets* podem ser peneirados e separados em lotes de tamanho homogêneo com tamanhos de malha adequados.
12. Armazene a ração. Coloque os grânulos de ração totalmente secos em recipientes de plástico herméticos logo após terem sido quebrados em pedaços para evitar que absorvam umidade.

TABELA A5.5
Lista de materiais necessários para a formulação de rações

Material	Quantidade	Especificações
Balança	1	Capacidade 1-3 kg, divisões de 1 g
Moedor	1	Moedor de café elétrico
Peneira metálica	1	Malha de 0,2-0,4 cm
Tigela de mistura	1	Capacidade 10 L
Tigela de plástico	3	Capacidade 2 L
Moedor de carne /cilindro de macarrão	1	Manual ou elétrico
Colher de mistura	1	Tamanho grande
Assadeira de alumínio	10	40 × 40 cm ou outros tamanhos disponíveis

ARMAZENANDO A RAÇÃO CASEIRA

Depois de preparada, a melhor maneira de armazenar a ração para peixes é colocar os *pellets* em um recipiente hermético logo após serem secos e quebrados. Os recipientes devem ser mantidos em local fresco, seco, escuro e ventilado, longe de pragas. Manter os *pellets* em níveis baixos de umidade (< 10 %) evita que fiquem bolorentos e desenvolvam micotoxinas tóxicas. Dependendo da temperatura, os *pellets* podem ser armazenados por até dois meses.

Outra forma de guardar os *pellets* por longos períodos é fechá-los em um recipiente de plástico e guardá-los na geladeira, embora isso exija eletricidade. A ração pode ser mantida desta forma por mais de um ano.

A ração mais antiga deve sempre ser usada primeiro. Evite usar rações que apresentem sinais de decomposição ou mofo, pois isso pode ser fatal para os peixes.

DIETA COMPLEMENTAR COM ALIMENTO VIVO

Os peixes podem ser vantajosamente alimentados com suplementos que estejam disponíveis localmente. O uso de alimento fresco fornece aos animais, de fato, proteínas suplementares para seu crescimento. Também pode fornecer vitaminas ou minerais que possam ser deficientes nos *pellets*.

Uma ampla variedade de alimentos vivos está disponível - a escolha depende dos peixes criados e da disponibilidade local. No entanto, é muito importante lembrar que qualquer alimento proveniente de fontes externas pode trazer microrganismos ou parasitas se coletados em águas externas (contaminadas ou poluídas) ou se de origem animal (por exemplo, vermes de esterco animal não pasteurizado). Os alimentos vivos podem ser produzidos em casa sob padrões mais seguros ou podem ser tratados termicamente antes de serem dados aos peixes.

Exemplos de alimentos vivos para peixes incluem:

- Lentilha-d'água e macrófitas aquáticas. A lentilha-d'água é muito rica em proteínas e pode ser fornecida crua em substituição de até 10 % da ração diária. No entanto, as macrófitas são menos digeríveis do que as dietas formuladas devido ao seu maior teor de fibra, o que também aumentaria a quantidade de sólidos/resíduos no sistema.
- Resíduos das colheitas de um sistema de aquaponia ou outras fontes podem ser fornecidos a peixes herbívoros/onívoros em pequenas quantidades.
- Minhocas são facilmente obtidas em pilhas de composto verde, especialmente nas áreas rurais. Um período de privação de alimento de um a dois dias é recomendado se as minhocas vierem de fontes externas, a fim de reduzir o risco de introdução de bactérias no sistema.
- Larvas de insetos são muito ricas em proteínas, mas deve-se ter cuidado para não usá-las em quantidades excessivas devido ao seu alto teor de lipídios. As larvas podem ser cultivadas em matéria orgânica em decomposição (vegetais, frutas); entretanto, um período de privação de alimento de um a dois dias é recomendado se o substrato contiver material de origem animal.
- Insetos podem ser ofertados a espécies de peixes onívoros e carnívoros, mas a presença do exoesqueleto de quitina reduz sua digestibilidade.
- Pequenos peixes, crustáceos e moluscos estão disponíveis em riachos ou lagoas. No entanto, é necessário ter prudência devido aos riscos de contaminação e parasitas.
- Algas podem ser facilmente fornecidas a peixes herbívoros/onívoros. As algas podem ser cultivadas em tanques separados ao lado do sistema aquapônico.

Apêndice 6 - Principais considerações antes de projetar um sistema aquapônico

Existem muitas unidades aquapônicas comerciais e de pequena escala em pleno funcionamento em todo o mundo. Os sistemas aquapônicos podem ser desenvolvidos não apenas em regiões tropicais e subtropicais, onde as condições climáticas favoráveis permitem a produção durante todo o ano, mas também em áreas mais frias do mundo, onde o inverno dura até seis meses. A questão de operar um sistema aquapônico em um local específico requer uma análise abrangente de custo-benefício que deve avaliar seu possível sucesso em certos aspectos econômicos, ambientais, condições logísticas/administrativas e sociais.

Muitos fatores devem ser considerados antes de embarcar em um projeto aquapônico, seja para produção doméstica ou comercial. Muitas empresas aquapônicas iniciantes fracassaram. A decisão de criar uma empresa requer uma pesquisa significativa, um plano de negócios e uma análise de risco. Esses aspectos estão além do escopo deste apêndice. No entanto, ele discute abaixo alguns dos principais fatores e requisitos para operar unidades aquapônicas de qualquer tamanho.

FATORES ECONÔMICOS

Um dos principais fatores que determinam o possível sucesso da aquaponia é sua competitividade frente a métodos alternativos de produção. A combinação de peixes e plantas duplica os riscos do investimento que, para ser lucrativo, deve maximizar a produção e as receitas de plantas e peixes.

Isto implica que uma análise dos potenciais mercados é um passo essencial para o desenvolvimento de um plano de negócios, uma vez que deve encontrar de forma realista todos os produtos possíveis, identificar as margens de lucro e identificar os clientes-chave. Um erro comum é perguntar: ‘O que posso produzir?’ Em vez das perguntas mais importantes: ‘O que posso vender?’, ‘Para quem vou vender?’, e só então ‘Como vou produzi-lo?’

A análise de mercado deve identificar os produtos mais rentáveis e a gestão mais eficaz em termos de custos. Isso implica que a escolha específica dos peixes pode ser significativamente diferente das espécies geralmente utilizadas em aquaponia, principalmente devido à demanda do mercado e aos custos de produção.

No processo de decisão, há diferenças substanciais entre uma produção voltada para o autoconsumo e uma voltada para o mercado. Enquanto os primeiros podem contar principalmente com os preços de varejo para estimar as margens de lucro, os empreendimentos de escala comercial precisam encontrar mercados que possam estar mais próximos dos preços de atacado, especialmente no caso de operações de grande porte. No entanto, sistemas de pequena escala não podem se beneficiar de economias de escala (por exemplo, uma pequena estufa tem um custo mais alto por metro quadrado do que uma maior), o que significa que os agricultores não comerciais podem enfrentar custos de produção mais altos.

Embora a aquaponia possa, até certo ponto, ser reconhecida como uma opção de produção ‘orgânica’ na América do Norte, isso não é igualmente verdadeiro na Europa, onde ‘orgânico’ ainda se aplica apenas à produção baseada no solo. A perspectiva positiva derivada de uma produção mais ecologicamente correta pode favorecer receitas mais altas nos mercados ocidentais; no entanto, isso pode não ser igualmente possível em países em desenvolvimento, onde as escolhas dos clientes

ainda são principalmente orientadas para o preço. Do lado do marketing, uma vantagem poderia vir da rotulagem da pegada ecológica, já que a aquaponia parece ser o melhor sistema de aquicultura em termos da conservação da água e uma solução livre de poluição que pode apoiar a agricultura com economia consistente em fertilizantes e insumos químicos. No entanto, o desenvolvimento adequado do produto nesta base ainda precisa ser feito, desde que a aquaponia avance em direção a estratégias de gestão mais neutras em termos de energia.

Um dos limites que ainda impede a aquaponia de se expandir totalmente em todo o mundo é que seus custos de investimento são quase o dobro dos da agricultura hidropônica padrão. No entanto, essa convicção é parcialmente derivada da ideia equivocada de que a aquaponia é um mero sistema de produção de plantas, em vez de um sistema de recirculação aquícola (RAS) que, além disso, apoia a agricultura. Se comparada a um RAS padrão, a aquaponia apresenta vantagens consistentes em termos de custos de capital e operacionais e pelo grau de simplicidade do sistema. Um maior sucesso poderia ser alcançado se os designs/projetos de redução de custos pudessem trazer as configurações aquapônicas para mais perto dos custos de investimento da hidroponia. No entanto, isso exigiria mais esforço para se concentrar no desenvolvimento de sistemas mais simples.

A possibilidade de instalar sistemas de aquaponia em climas desfavoráveis depende do grau de investimentos necessários para construir estufas e executar sistemas avançados de controle de clima para manter a temperatura ideal da água e do ar, umidade e ventilação. Isso aumentaria os custos iniciais e de funcionamento, mas pelo menos, neste nível, os custos de investimento para as instalações de estufas podem não diferir significativamente daqueles para a hidroponia.

FATORES AMBIENTAIS

Existem algumas considerações importantes para determinar onde a aquaponia é mais aplicável e benéfica. Regiões do mundo onde a fertilidade do solo é pobre (e particularmente onde reabastecer o solo com nutrientes por meio de material orgânico é difícil e/ou caro) e a água é escassa são os locais ideais. A aquaponia é competitiva até mesmo com os sistemas tradicionais de aquicultura e agricultura mais produtivos em termos de uso de água. A produção aquapônica de alimentos é extremamente eficiente em termos de água, uma vez que os métodos de cultivo de vegetais não usam solo. No entanto, para competir com a hidroponia, os sistemas de peixes-plantas devem ser considerados como um todo para justificar os custos de instalação mais elevados. Ao levar esses fatores em consideração, as regiões semiáridas com pouco acesso à água seriam as que mais se beneficiariam com esse novo método de produção de alimentos.

A água é um fator significativo, especialmente para os padrões de qualidade. A aquaponia tem a grande vantagem de recircular a água, o que evita a necessidade de adquirir grandes volumes diários para compensar as perdas. Em áreas onde a água é lamacenta, contaminada por poluentes ou patógenos/parasitas, a aquaponia, assim como o RAS, é um sistema ideal para otimizar a produção de peixes, reduzir a mortalidade de animais aquáticos e melhorar a qualidade. Neste caso, os investimentos extras necessários para fornecer pequenos volumes de água de boa qualidade (por exemplo, por meio da coleta de água da chuva ou poços artesianos) podem ser facilmente recuperados pelo valor agregado de peixes de melhor qualidade e menores taxas de mortalidade.

Os níveis de salinidade na água são a próxima etapa no processo de avaliação da água. Embora os peixes de água doce possam tolerar certos níveis de salinidade, os aumentos na condutividade elétrica da água (CE) acima de certos níveis (por exemplo, 2.000 microSiemens) limitam o crescimento de vegetais intolerantes ao sal. Isso levaria os produtores a considerar apenas espécies tolerantes ao sal, com riscos potenciais de redução dos lucros devido a condições de mercado que podem não ser tão receptivas. Além disso, o acúmulo de nutrientes e salinidade ao longo das estações, como resultado de desequilíbrios entre as entradas no sistema de ração e a absorção pelas plantas, poderia igualmente fazer com que as unidades aquapônicas enfrentassem problemas de aumento de salinidade. Isso precisaria ser resolvido por meio de renovação moderada da água ou mudanças no manejo (limitação no uso de ração, cultivo com plantas que absorvem sal), o que pode reduzir a lucratividade ou produtividade dos sistemas e pode exigir um nível mais alto de especialização dos operadores.

O clima é outro fator importante, pois determinará o custo extra de cada unidade para manter as condições ambientais ideais para a produção aquapônica de alimentos. Em geral, as regiões onde as temperaturas médias diárias do ar ao longo do ano se mantêm entre 20 e 30 °C são ideais para peixes tropicais, como tilápia, e plantas tolerantes ao calor. Portanto, a escolha de culturas e peixes afeta significativamente os custos se o controle climático for necessário para adequar as condições ideais de cultivo de ambos os componentes. Além disso, as regiões onde as temperaturas médias diárias do ar são favoráveis, mas flutuam amplamente durante o dia e a noite (ou seja, terras altas e regiões montanhosas), seriam particularmente problemáticas para a produção de peixes. Isso ocorre porque grandes mudanças causam estresse aos animais.

Atenção também deve ser dada às estações. As estações frias do inverno implicam em maior necessidade de investimentos pelos produtores aquapônicos em sistemas de aquecimento para suas estufas que consomem energia ou a interromper totalmente a produção por alguns meses. Portanto, é importante estudar cuidadosamente a configuração da produção e possivelmente encontrar espécies alternativas que evitem períodos improdutivos do ano.

Estações de chuvas prolongadas forçam os agricultores a proteger suas unidades com coberturas reforçadas ou estufas, pois grandes volumes de chuva podem danificar o cultivo, fazer com que os sistemas transbordem ou diluam excessivamente os nutrientes na água. No entanto, se por um lado essa necessidade requer investimentos extras, por outro pode ser lucrativa em áreas onde a agricultura tradicional é severamente limitada devido a enchentes ou escoamento de nutrientes. A mesma solução vale também para o vento, pois a presença de um ambiente protegido poderia trazer maiores rendimentos e melhor qualidade dos produtos vegetais, enquanto a agricultura tradicional teria dificuldades.

As temporadas de verão podem causar superaquecimento da água. Embora os métodos para manter as temperaturas relativamente baixas durante os períodos quentes sejam bastante simples e possam ser realizados com projetos de sistema adequados, é possível que as temperaturas da água aumentem para níveis subótimos durante os períodos extremamente quentes se nenhum sistema de resfriamento de água for usado. Isso limitaria a seleção e o crescimento de hortaliças, embora não afete peixes tropicais ou bactérias nitrificantes.

FATORES LOGÍSTICOS E DE GESTÃO

A produção de peixes é um componente importante das operações aquapônicas. O fácil acesso aos animais aquáticos é fundamental para os criadores, assim como a possibilidade de adquirir *expertise* em peixes e conhecimento sobre peixes criados localmente.

A expansão da aquaponia é, portanto, limitada em regiões onde não há produção de alevinos, aquicultura ou serviços de extensão - a menos que produzir os alevinos e as rações para peixes façam parte do plano de negócios da aquaponia. Mesmo assim, o investimento parece mais arriscado, pois implica em prazos mais longos para tornar a fazenda totalmente operacional, e a necessidade de dedicar mais tempo para a transferência de conhecimento e para avaliar os mercados locais e regionais potenciais onde vender a produção.

Em qualquer local, o acesso a eletricidade e a água adequada é essencial. Particularmente no caso da eletricidade, o acesso a uma rede de energia elétrica constante e confiável é fundamental para garantir o funcionamento contínuo das bombas. A falta desse recurso limita severamente a expansão da aquaponia, a menos que sistemas de baixo rendimento sejam projetados para resistir a cortes de energia de várias horas sem afetar a sobrevivência dos peixes. As operações aquapônicas, principalmente se forem para fins comerciais, devem contar com sistemas de backup e geradores, o que aumenta os custos de instalação. A produção de peixes é um dos aspectos mais complicados da aquaponia (especialmente para produtores novos na aquicultura), exigindo manejo diário e cuidados para evitar perdas significativas caso ocorra alguma falha do sistema.

Deve haver também um fornecedor dos principais componentes aquapônicos e ferramentas de monitoramento (kits de teste de água, medidores de pH, medidores de OD, medidores de CE), que um mercado de aquicultura local normalmente facilitaria. Um fator determinante para o sucesso de qualquer instalação aquapônica é o uso de materiais disponíveis localmente e a adaptação sensata dos sistemas aos contextos e recursos locais. Caso contrário, seria difícil desenvolver qualquer método de produção de alimentos com boa relação custo-benefício.

A capacidade educacional também é um fator chave na seleção de locais específicos dentro de regiões ou países. Aquaponia é um método relativamente sofisticado de produção de alimentos comparado com as abordagens tradicionais baseadas no solo. O método exige um maior nível de compreensão deste ecossistema integrado, bem como dos principais fatores que o influenciam (água, meio ambiente, nutrição, etc.). Também exige bons conhecimentos individuais de aquicultura e horticultura, que devem ser transferidos e adaptados aos contextos locais. O principal desafio que a aquaponia enfrenta para se tornar uma opção sustentável entre agricultores não alfabetizados ou semialfabetizados e/ou usuários finais é reduzir seus níveis de complexidade adaptando a tecnologia, ou pelo menos o conceito, aos recursos, necessidades e culturas locais. Adaptar e contextualizar os sistemas os traria mais perto daqueles sistemas de peixes/plantas que dominaram as práticas agrícolas por milhares de anos. Isso exigiria um melhor conhecimento entre os profissionais sobre como projetar sistemas onde cada componente ou material pudesse reduzir as necessidades de manejo ao mínimo.

Onde a produção aquapônica de alimentos é praticamente inexistente em uma região específica, é interessante fazer parceria com universidades locais ou institutos de extensão agrícola para desenvolver conhecimento sobre as melhores práticas e sobre como desenvolver aquaponia de maneira muito simples e eficaz.

CONDIÇÕES SOCIAIS

Além da adoção de sistemas peixes-plantas como um método competitivo de produção de alimentos, a aquaponia ainda não adquiriu uma perspectiva bem definida. Enquanto a aquaponia é amplamente aceita como um método de produção orgânico na América do Norte, o mesmo não pode ser visto na Europa e isso reduz seu potencial para alcançar valor agregado com preço diferenciado.

Entre consumidores e pesquisadores, também existem algumas preocupações de que a água proveniente da aquaponia seja um potencial vetor de contaminações bacterianas devido aos dejetos fecais de peixes. Embora diferentes países usem regulamentações diferentes sobre a segurança da água, o desenvolvimento da aquaponia pode ser restringido naqueles países onde o limite para bactérias é mais rigoroso. Isso exigiria um aumento nos esforços para cumprir os padrões locais (por exemplo, usando tecnologia de esterilização), embora as águas residuais da aquicultura sejam mais seguras do que algumas outras fontes de água.

Por outro lado, a aquaponia pode fornecer uma oportunidade de produzir alimentos mais seguros, livres de produtos químicos e doenças. No caso da indústria da aquicultura, essa pode ser uma característica de valor agregado que pode despertar o interesse por esse sistema de produção. As preocupações recentes sobre o uso de pesticidas na agricultura levaram muitos consumidores de países em desenvolvimento a comprar produtos mais seguros. Esses padrões de consumo devem ser monitorados com precisão no processo de tomada de decisão se a aquaponia é viável em uma determinada área ou não.

RESUMO DOS REQUISITOS ESSENCIAIS PARA SISTEMAS AQUAPÔNICOS EM DIFERENTES ESCALAS

A Tabela A6.1 resume as principais considerações para empreendimentos aquapônicos em várias escalas.

TABELA A6.1
Principais considerações para empreendimentos aquapônicos em várias escalas

Requisitos essenciais	Pequena escala (50-500 cabeças de alface)	Semicomercial (500-2.500 cabeças de alface)	Grande escala comercial (> 2.500 cabeças de alface)
Condições climáticas e ambientais ideais para aquaponia	×	×	×
Acesso à alevinos e sementes/mudas de boa qualidade	×	×	×
Acesso aos componentes aquapônicos	×	×	×
Acesso permanente a eletricidade e água de qualidade no local da unidade	×	×	×

Métodos viáveis de controle climático e ambiental em ambientes protegidos (estufas)		×	×
Acesso a ferramentas de monitoramento de água (medidores de oxigênio e pH, kits de teste de qualidade de água)		×	×
Equipamento para biofiltração efetiva de resíduos sólidos de peixes em grande escala (separadores, clarificadores, etc.)		×	×
Manejo de efluentes		×	×
Geradores de energia reserva		×	×
Protocolos de biossegurança e manejo integrado de pragas		×	×
Boa experiência com métodos de aquicultura e horticultura		×	×
Plano de negócios incluindo extensa pesquisa de mercado	×	×	×
Especialistas em aquicultura e hidroponia na equipe ou de plantão			×
Instalação de produção de alevinos, laboratório de qualidade da água no local e serviços de extensão para identificação e tratamento de doenças de peixes			×
Métodos automatizados para			×

monitorar e regular os parâmetros de oxigênio e água			

Apêndice 7 - Análise de custo-benefício para unidades aquapônicas de pequena escala

As Tabelas A7.1-A7.4 descrevem os custos e benefícios de uma unidade aquapônica de pequena escala. As informações nas tabelas têm como objetivo fornecer ao leitor uma compreensão dos gastos necessários para construir e operar uma unidade aquapônica, bem como a produção e receitas esperadas no primeiro ano. A Tabela A7.1 resume o custo total de materiais para a instalação inicial (investimento de capital) para uma unidade de leito de mídia de pequena escala (a lista completa de materiais e custos para esta unidade pode ser encontrada no Apêndice 8 desta publicação). A Tabela A7.2 detalha todos os custos operacionais anuais envolvidos. Os detalhes dos cálculos de custo de operação podem ser encontrados na seção de notas da tabela. A Tabela A7.3 detalha a produção esperada de hortaliças e peixes em um ano. A Tabela A7.4 reúne os custos e receitas das Tabelas A7.1-A7.3 e mostra o lucro total sobre o investimento inicial e o período de retorno.

Deve-se observar que os números apresentados nas tabelas são apenas orientações para novos usuários. É difícil fornecer números precisos, particularmente no que diz respeito aos rendimentos de produção e seus valores, pois muitos fatores de produção e financeiros podem influenciá-los: temperaturas, estações, tipo de peixe, qualidade da ração de peixe e porcentagem de proteína, preços de mercado, etc.

PREMISSAS DE CÁLCULO

- Todos os cálculos são baseados em uma unidade de leito de mídia de pequena escala (descrita ao longo do texto principal desta publicação) com 3 m^2 de área de cultivo e 1.000 litros de espaço no tanque de peixes (conforme mostrado no Apêndice 8 desta publicação).
- A unidade destina-se apenas ao consumo doméstico de alimentos e não à produção geradora de renda em pequena escala. Os benefícios financeiros podem variar e podem ser maiores do que os números mostrados na Tabela A7.4 se os produtores selecionarem culturas mais lucrativas. Como o foco está na aquaponia de pequena escala para consumo doméstico, duas culturas foram consideradas nos cálculos, pois refletem melhor os padrões de produção dos usuários que cultivam alimentos apenas para consumo: uma hortaliça verde folhosa (alface) e uma hortaliça frutífera (tomate).
- Os dados de rendimento são obtidos a partir de uma produção contínua de 12 meses, alimentando os peixes com ração contendo 32 % de proteína de boa qualidade diariamente em temperatura de água de 23 a 26 °C ao longo do ano.
- As unidades têm uma biomassa de peixes constante entre 10 e 20 kg.
- Os peixes cultivados são tilápias. Eles são alimentados com uma proporção de ração de 50 g por m^2 de área de cultivo, equivalente a um consumo total de ração de 150 g por dia (50 g × 3 m^2). O peso médio dos peixes juvenis é de 50 g; o peso esperado na despesca é de 500 g por peixe após seis a oito meses.
- Os rendimentos médios para produtores amadores foram considerados nos cálculos: 20 cabeças de alface por m^2 por mês e 3 kg de tomate por m^2 por mês.

TABELA A7.1
Custo de capital total para uma unidade de leito de mídia (tanque de peixes de 1.000 L e espaço de cultivo de 3 m^2)

Descrição do item	**Preço (US$)**
Tanques IBC*	200,00
Equipamentos elétricos: bomba de água, bomba de ar e conexões	120,00
Suporte do leito de mídia: blocos de concreto e tábuas de madeira	80,00
Cascalho vulcânico (mídia de biofiltração)	120,00
Itens diversos: rede de despesca, fita veda rosca (Teflon®), tela de sombreamento, etc.	100,00
Encanamento: tubos, conexões e acessórios para tubos	80,00
Total	**700,00**

Notas: Todos os itens desta tabela são discutidos, detalhadamente, no Apêndice 8 desta publicação.
* A vida útil dos tanques IBC aumentará se protegidos da luz do sol com uma camada de tinta ou outro material.

TABELA A7.2
Custo operacional mensal total de uma unidade aquapônica de pequena escala

Insumos - entrada	**Unidade**	**Unidades por mês**	**Preço por unidade (US$)***	**Custo total (US$)**
Plantas	mudas	35	0,10	3,50
Peixes	alevinos	5	1,00	5,00
Eletricidade	kWh	25	0,10	2,50
Água	L	450	0,0027	1,20
Ração	kg	4,5	2,50	11,25
Diversos	-	1	3,00	3,00
Custos totais/mês				**26,45**

Notas:
* Os valores nesta coluna são preços estimados para cada insumo em Israel. Basta substituir esses valores pelos preços disponíveis localmente para calcular os custos operacionais totais em outro local.
Mudas: 35 mudas é a taxa média de ressemeadura por mês para 3 m^2 de espaço de cultivo enquanto crescem 50 % de folhosas (20 plantas/m^2) e 50 % de hortaliças frutíferas (5 plantas/m^2).
Alevinos: A produção máxima anual é de 30 kg, o que equivale a 60 peixes de 500 g por ano. Portanto, a unidade precisa de 60 peixes por ano, ou cerca de 5 peixes por mês.
Eletricidade: 30 W (bomba de água) + 5 W (bomba de ar) × 24 horas × 30 dias ÷ 1.000 = 25 kWh por mês.

Água: Em média, o volume de reabastecimento de água para uma unidade de cultivo de hortaliças folhosas e frutíferas é de cerca de 1 % do volume total de água na unidade (1.500 L) por dia; 15 L × 30 dias = 450 L por mês.
Ração para peixes: 50 g (ração para peixes) × 3 (leitos de mídia) × 30 dias = 4,5 kg por mês.
Diversos: O valor total de US$ 3,00 por mês é um valor estimado para o uso de ácido ou base, kits de teste de água e fertilizante líquido, se necessário.

TABELA A7.3
Produção anual esperada de hortaliças e peixes de uma unidade aquapônica de pequena escala, incluindo receitas anuais estimadas

Produtos - saída	**Produção (quantidade)**	**Unidade**	**Valor unitário de mercado* (US$)**	**Total (US$)**
Alface	360	cabeça	1,20	432,00
Tomate	54	kg	1,60	86,40
Peixes	30	kg	8,00	240,00
Total	**-**	**-**	**-**	**758,40**

Notas:
* Valores unitários de mercado: os preços são retirados de um site de comparação de preços de mercado israelense (www.zap.co.il) e do Conselho de Produção e Marketing de Plantas de Israel (www.plants.org.il). Ambos os sites acessados em 17 de setembro de 2013.
Média de cabeças de alface por ano: 1,5 m^2 (50 % do espaço de cultivo) × 20 cabeças/m^2 por mês (1,5 × 20) = 30 cabeças por mês. Produção por ano: 30 × 12 = 360 cabeças de alface.
Rendimento médio de tomate por ano: 1,5 m^2 (50 % do espaço de cultivo) × 3 kg/m^2 de tomate por mês (1,5 × 3) = 4,5 kg por mês. Por ano: 4,5 × 12 = 54 kg.
Rendimento médio de peixes por ano: Alevinos com 50 g de peso corporal. Adultos despescados com 500 g após seis a oito meses.
Densidade média do estoque de peixes entre 10 e 20 kg/m^3 no tanque de peixes de 1.000 L. Despesca média de cinco peixes por mês equivalente a 2,5 kg/mês, 30 kg/ano.

Importante: Os cálculos são baseados em uma produção escalonada de peixes em um sistema aquapônico estabelecido. A produção esperada é menor a partir de um sistema recém-estabelecido estocado apenas com peixes juvenis da mesma idade. Para novos sistemas, sugere-se, assim, que os alevinos sejam estocados em maior número para fornecer nutrientes suficientes às plantas. Nesse caso, a despesca do primeiro peixe pode começar a partir do terceiro ou quarto mês (com peixes de 150 a 250 g) para manter uma biomassa constante.

TABELA A7.4
Análise anual de custo-benefício de uma unidade de leito de mídia

Total de custos por ano	**Total por ano (US$)**
Custos iniciais de construção (Tabela A7.1)	700,00
Custos operacionais anuais (Tabela A7.2)	317,40
Receitas anuais (Tabela A7.3)	758,40
Lucro líquido anual	441,00
Retorno dos custos iniciais de construção (meses)	19

A partir da análise dos custos operacionais anuais e das receitas anuais (Tabelas A7.2 e A7.3), o lucro total estimado é de US$ 441,00 (Tabela A7.4). Isso sugere que, em geral, uma vez que uma unidade é estabelecida, o lucro líquido de US$ 1,38 é obtido para cada US$ 1,00 investido no cultivo de alimentos usando uma unidade aquapônica doméstica de pequena escala para consumo. O período de retorno do investimento inicial é de 19 meses.

Reduzir os custos de capital (por exemplo, usando tanques reciclados) ou custos operacionais (por exemplo, suplementar a alimentação dos peixes), ou aumentar a receita (por exemplo, mercados especializados), diminuirá consideravelmente o período de retorno.

Apêndice 8 - Guia passo a passo para a construção de sistemas aquapônicos de pequena escala

Este guia passo a passo descreve como construir um leito de mídia, técnica do filme de nutrientes (NFT) e sistemas de cultivo em águas profundas (DWC) para as unidades aquapônicas de pequena escala descritas no Capítulo 4 desta publicação.
[NT: Tradução fidedigna do texto original e mantendo suas imagens. Eventuais materiais podem ser substituídos conforme disponibilidade local, desde que não alterem o dimensionamento e o funcionamento seguro do sistema.]

CONSIDERAÇÕES SOBRE OS TRÊS PROJETOS DE SISTEMA

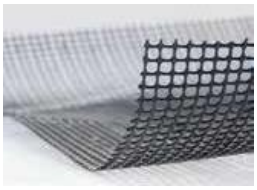
A ideia vigente de design de projeto para os três sistemas é explicada no Capítulo 4 desta publicação. Este apêndice se concentra exclusivamente em como construí-los usando materiais baratos e amplamente disponíveis. Além disso, fornece breves comentários explicativos para alguns dos componentes mais complicados de cada sistema. Os principais fatores considerados para o design de cada unidade são: i) custo do material; ii) disponibilidade do material; e iii) capacidade de produção. Assim, os materiais para cada projeto mostrado nos diagramas foram selecionados porque são todos amplamente acessíveis. O principal material usado para tanques de peixes, leitos de mídia e canais DWC é o contêiner plástico rígido IBC (*intermediate bulk container*). Trata-se de um contêiner com capacidade para cerca de 1.000 litros, utilizado para o transporte de diversos líquidos em todo o mundo. No entanto, para todos os componentes de cada projeto de unidade aquapônica, materiais localmente disponíveis/mais baratos podem ser substituídos, mas as recomendações para materiais alternativos listadas no Capítulo 4 desta publicação devem ser seguidas.

Existem três seções principais no apêndice. A primeira seção mostra como construir uma unidade de leito de mídia usando contêineres IBC para o tanque de peixes, leitos de mídia e tanque coletor/*sump*. A segunda seção descreve como construir uma unidade NFT. Isso inclui como configurar o tanque de peixes (o mesmo com a unidade de leito de mídia), como fazer e instalar um separador mecânico e um biofiltro usando barris/contêineres e como instalar os tubos de cultivo NFT usando um tubo de drenagem de PVC padrão de 4 polegadas (110 mm). A terceira e última seção mostra como construir a unidade DWC. O mesmo projeto de tanque de peixes é desenvolvido junto com o clarificador e biofiltro descrito para a unidade NFT. As outras partes mostram como montar os canais DWC e preparar ‘jangadas’ flutuantes usando folhas de poliestireno (isopor).

Um índice de todos os materiais e ferramentas usados para cada seção é fornecido nas páginas a seguir, que devem ser consultadas para cada uma das principais seções de construção da unidade.

ÍNDICE DE MATERIAIS

TABELA A8.1
Índice de materiais

1 Contêiner ou tanque IBC		2 Tambor de 200 L (azul)	
3 Tela de sombreamento		4 Tela/malha de plástico	
5 Bloco de concreto		6 Ripas de madeira (8 × 1 cm)	
7 Bomba de água submersível (mín. 2.000 L/h)		8 Sabão ou lubrificante ecológico	
9 Folha de poliestireno (isopor)		10 Fita de Teflon® (veda rosca)	
11 Abraçadeiras		12 Caixa elétrica (à prova d'água)	
13 Tubos de PVC (110 mm)		14 Tubos de PVC (50 mm)	

15 Tubo de PVC (75 mm) com extremidade afilada + tampa de PVC (75 mm) + arruela de borracha (75 mm)		16 Tubos de PVC (25 mm)	
17 Mangueiras (25, 20 mm)		18 Junta para anel de vedação (50, 110 mm)	
19 Arruela de vedação de borracha (50, 110 mm)		20 Luva de PVC (40-25 mm)	
21 PVC (25 mm × 1 pol.) fêmea		22 Adaptador de PVC (20 mm × ¾ pol.) macho	
23 Cotovelo de PVC (25 mm × 1 pol.) fêmea		24 Cotovelo de PVC (25 mm × ¾ pol.) macho	
25 Adaptador de PVC (25 mm × ¾ pol.) fêmea		26 Registro de PVC (20 mm)	
27 Registro de PVC ou metal (¾ pol.) macho para fêmea		28 Balde (20 L)	
29 Bomba de ar (10 W) com 2 saídas		30 Mangueira de ar	

31 Garrafa de plástico		32 Pedra porosa (saída aeração)	
33 Rede de captura de peixes (puçá)		34 Mídia de biofiltro (Bioballs® ou tampas de garrafa)	
35 Cascalho vulcânico (8-20 mm)		36 Pote rede (vazado) para hidroponia	
37 Cotovelo de PVC (50 mm)		38 União de PVC, reto (50 mm)	
39 Conector T de PVC (50 mm)		40 Cap de PVC (50 mm)	
41 Cotovelo de PVC (110 mm)		42 Conector T de PVC (110 mm)	
43 União de PVC, reto (110 mm)		44 Redutor de PVC (110-50 mm)	
45 Conector flange de PVC, tipo B (1 pol.)		46 Conector flange de PVC, tipo V (1 pol.)	

47 Torneira de PVC ou metal (1 pol.) macho para fêmea		48 Cotovelo de PVC acoplável (20 mm)	
49 Cotovelo de PVC (25 mm × ¾ pol.) fêmea		50 Conector de PVC, T acoplável (20 mm)	
51 Cap de PVC (110 mm)		52 Luva de PVC (25 mm × ¾ pol.)	
53 Conector T de PVC (25 mm × 1 pol.) fêmea		54 Cotovelo de PVC (25 mm)	
55 Conector T de PVC (25 mm)		56 Cotovelo de PVC (25 mm × 1 pol.) macho	
57 Conector T de PVC (25 × ¾ pol.) fêmea			

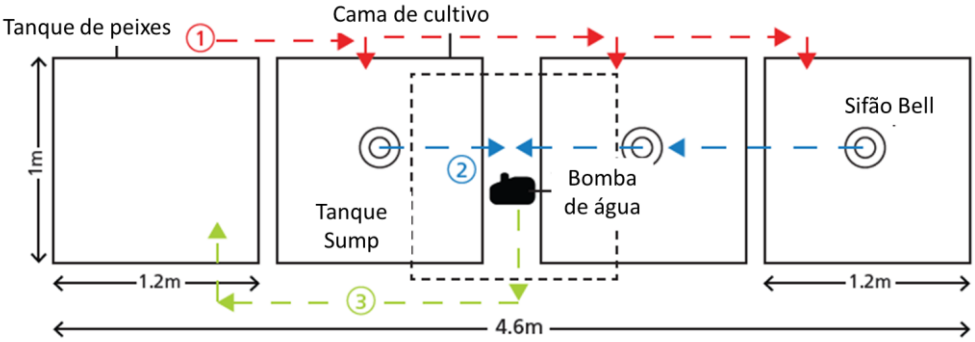
ÍNDICE DE FERRAMENTAS

TABELA A8.2
Índice de ferramentas

1 Protetor auricular		2 Luvas de trabalho	
3 Óculos de segurança		4 Trena de nível	
5 Fita métrica		6 Chave de tubo	
7 Serra		8 Martelo	
9 Alicate		10 Chave de fenda	
11 Furadeira elétrica		12 Broca cônica (0-1 pol.)	
13 Serra elétrica		14 Estilete	

15 Marcador		16 Broca circular (serra copo)	
17 Esmerilhadeira		18 Chave estrela	

Seção 1 – A UNIDADE DE LEITO DE MÍDIA



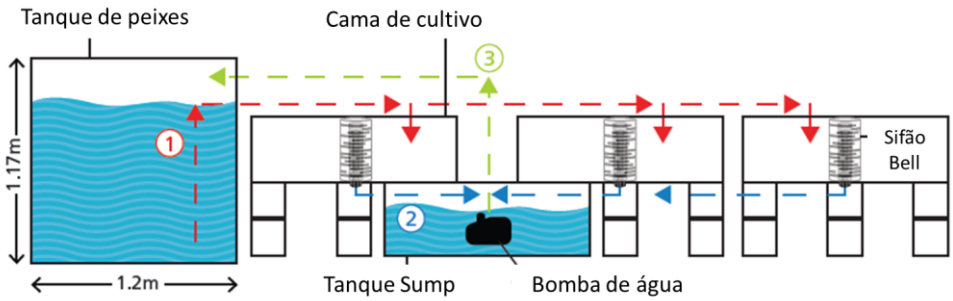


Diagrama de fluxo de água

1. A água flui por gravidade do tanque de peixes para os leitos de mídia.
2. A água flui do leito de mídia para o tanque coletor.
3. A água flui de volta para o tanque de peixes do reservatório com o uso da bomba de água.

TABELA A8.3

Lista de itens para a unidade de leito de mídia

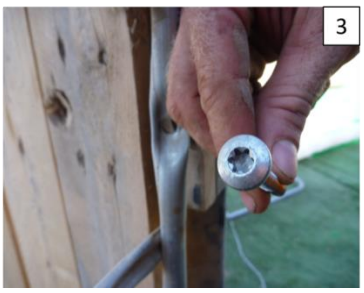
	Nome do item	Nº do item da Tabela A8.1	Quantidade
1	Tanques IBC	1	3
2	Bomba d'água submersível (mín. 2.000 L/h)	7	1
3	Bomba de ar (10 W) com 2 saídas	29	1
4	Tubulação de ar	30	3 m

5	Pedra porosas	32	2
6	Bloco de concreto	5	48
7	Ripas de madeira (8 × 1 cm)	6	21 m
8	Cascalho vulcânico (4-20 mm)	35	750 L
9	Tela de sombreamento	3	2 m^2
10	Fita de Teflon® (veda rosca)	10	1 rolo
11	Abraçadeiras	11	15
12	Caixa elétrica (à prova d'água)	12	1
13	Sabão ou lubrificante ecológico	8	1
14	Garrafa de plástico	31	1
TUBOS E CONEXÕES DE PVC			
15	Tubo de PVC (50 mm)	14	7,5 m
16	Arruela de vedação de borracha (50 mm)	19	1
17	Cotovelo de PVC (50 mm)	37	5
18	União de PVC, reto (50 mm)	38	6
19	Conector de PVC, T (50 mm)	39	2
20	Cap de PVC (50 mm)	40	4
21	Adaptador flange de PVC, tipo B (1 pol.)	45	3
22	Registro PVC ou metal (1 pol.) macho p/ fêmea	47	3
23	Vedação de borracha (anel de vedação) (50 mm)	18	1
SIFÃO DE SINO (*BELL*)			
24	Tubos de PVC (110 mm)	13	0,9 m
25	Tubos de PVC (75 mm) com ponta bolsa + cap de PVC (75 mm) + arruela de borracha (75 mm)	15	3
26	Tubo de PVC (25 mm)	16	0,8 m
27	Adaptador flange de PVC, tipo V (1 pol.)	46	3
28	Luva de PVC (40-25 mm)	20	3
29	PVC (25 mm × 1 pol.) fêmea	21	3

30	Cotovelo de PVC (25 mm × 1 pol.) fêmea	23	3
31	Mangueira (25, 20 mm)	17	9 m

1. PREPARANDO O TANQUE DE PEIXES

1.1 - Remova as duas linhas de aço horizontais fixadas na superfície superior do tanque IBC segurando o recipiente plástico interno no lugar. As linhas de aço são fixadas com quatro parafusos estrela. Remova esses quatro parafusos (Figura 1) usando uma parafusadeira com cabeça de estrela (Figura 2) ou chave com cabeça de estrela (Figura 3). Assim que as linhas de aço forem removidas, retire o tanque de plástico interno. Se não houver chave estrela, corte os parafusos com uma esmerilhadeira.



1.2 - Após retirar o tanque, desenhe um quadrado na superfície superior do tanque a 5 cm dos quatro lados do tanque (Figura 4). Em seguida, usando a esmerilhadeira (Figura 5), corte ao longo do quadrado e remova a peça cortada de cima (Figura 6). Depois de retirado, lave bem o interior do recipiente com água morna e sabão e deixe secar por 24 horas (Figura 7).

A peça cortada removida pode ser usada como tampa do tanque de peixes.

2. INSTALANDO O TUBO DE SAÍDA DO TANQUE DE PEIXES

2.1 - Em um dos lados do tanque IBC, marque um ponto a 12 cm do topo e 12 cm da lateral do tanque (Figura 8), e faça um orifício neste ponto com a broca circular (serra copo) de 57 mm (Figura 9). Insira um anel de vedação de borracha de 50 mm (Figura 10) dentro deste orifício.

Atenção: o tamanho da broca circular deve ser 57 mm e não 50 mm (ver Figura 8).

2.2 - O tubo de saída do tanque de peixes é feito de duas partes de tubo de PVC (50 mm) combinados usando um cotovelo de PVC (50 mm) e uma união de PVC/conector reto (50 mm) (Figura 11). A parte do tubo de PVC (50 mm) na superfície inferior do tanque é cortado com fendas horizontais de 2 a 3 mm de largura usando a esmerilhadeira (Figura 12) para permitir a entrada de resíduos sólidos no tubo, e para evitar que os peixes façam isso. A ponta aberta do tubo de PVC na superfície inferior do tanque de peixes é vedada com um cap de PVC (50 mm). Encaixe um pedaço curto de PVC (50 mm) através do anel de vedação (50 mm) e prenda a um cotovelo de PVC (50 mm) na extremidade interna (Figura 11) e, em seguida, prenda a outra parte do tubo (vertical) ao cotovelo que agora está conectado ao anel de vedação (50 mm). Por fim, faça um furo de 2 a 3 cm de diâmetro no cotovelo de PVC (50 mm) preso ao anel de vedação (50 mm) (Figura 13). Este pequeno orifício evita a formação de ar dentro do tubo, o que drenaria toda a água para fora do tanque de peixes em caso de corte de energia ou se a bomba parasse de funcionar. Isso também é chamado de sifão acidental. Esta etapa não é opcional.

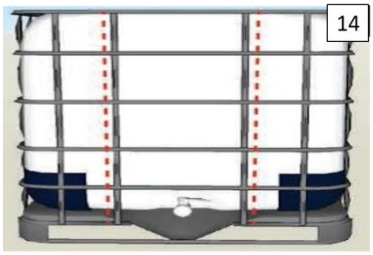
3. PREPARANDO OS LEITOS DE MÍDIA E O TANQUE *SUMP*

Para fazer os três leitos de mídia e um tanque coletor (*sump*), são necessários os outros dois tanques IBC: o primeiro para fazer o tanque coletor e um leito de mídia, e o segundo para fazer os dois leitos de mídia restantes. Pegue os dois tanques IBC e remova os quatro perfis de aço e retire os recipientes de plástico conforme mostrado nas Figuras 1-3.

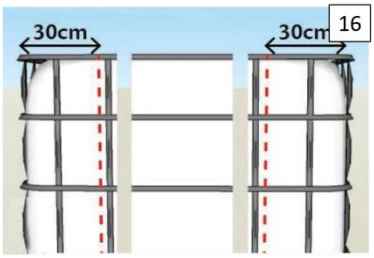
4. FAZENDO DOIS LEITOS DE MÍDIA DE UM IBC

Primeiro, coloque o recipiente interno de plástico em pé (Figura 14) e marque, usando uma régua e um lápis, duas linhas que dividem 30 cm de ambos os lados do tanque (como visto na Figura 15). Certifique-se de marcar as linhas exatas (mostradas na Figura 15). Pegue a esmerilhadeira e corte cuidadosamente ao longo das duas linhas bifurcadas marcadas para criar dois recipientes uniformes com uma profundidade de

30 cm (Figura 16). Em seguida, pegue os dois recipientes e lave-os bem com sabão natural e água morna e deixe-os secar ao sol por 24 horas.


14

15



16

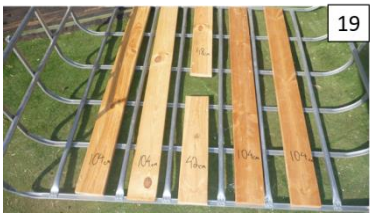
5. SUPORTES DE METAL PARA AMBOS OS LEITOS DE MÍDIA

5.1 - Pegue a estrutura de suporte de metal do IBC e corte duas estruturas de suporte seguindo as mesmas linhas de divisão mostradas na Figura 14 usando a esmerilhadeira (Figura 17). Ao cortar os dois lados de 30 cm da estrutura de suporte, se certifique de manter os dois perfis de aço horizontais intactos, pois eles fornecerão um excelente suporte para as laterais dos leitos, uma vez que estarão cheios de água e mídia (Figura 18).

17

18

5.2 - Em seguida, pegue as duas armações de suporte e coloque-as no chão. Pegue as ripas de madeira (quatro de 104 cm, uma de 42 cm e uma de 48 cm) e coloque-as sobre a estrutura de suporte como mostrado na Figura 19. Essas ripas de madeira mantêm o leito de mídia na horizontal, o que é vital para o funcionamento dos sifões de sino. Em seguida, pegue os leitos de mídia lavados e coloque-os em cima da estrutura de suporte e das ripas de madeira (Figura 20). Finalmente, encaixe as ripas de madeira restantes entre o leito de mídia de plástico e a estrutura de suporte em ambos os lados de cada leito para fornecer um suporte adicional (Figura 21).

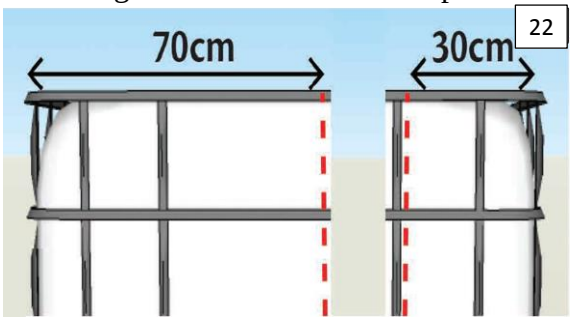

19

20

21

6. FAZENDO UM TANQUE *SUMP* E UM LEITO DE MÍDIA A PARTIR DE UM IBC

6.1 - Pegue o outro IBC, coloque-o em pé e marque, com auxílio de uma régua e de um lápis, apenas uma linha de 30 cm que se divide conforme mostrado na Figura 22. Em seguida, pegue a esmerilhadeira e corte o recipiente de plástico interno e a estrutura de suporte de metal de uma só vez, seguindo a linha (veja a Figura 22). Remova o recipiente de 30 cm (terceiro leito de mídia) do recipiente de 70 cm restante (tanque coletor - *sump*) (Figura 23). Lave os dois recipientes cuidadosamente com sabão natural e água morna e deixe ao sol por 24 horas.

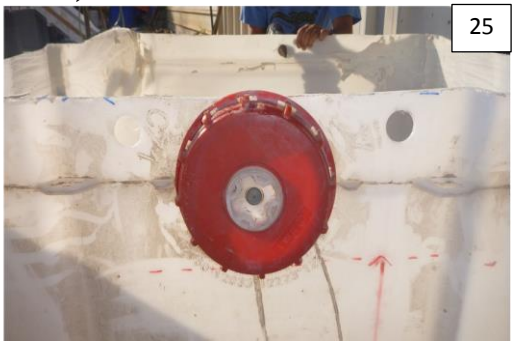


22

23

6.2 - Para o terceiro leito de mídia, siga os mesmos passos em relação às ripas de madeira detalhadas acima para os dois primeiros. Finalmente, pegue o recipiente do tanque coletor e faça dois furos (25 mm de diâmetro) usando a broca cônica como mostrado na Figura 25 (tubos de 25 mm serão inseridos em ambos os furos mais tarde; os tubos irão drenar a água de cada leito de mídia).

24


25

7. PREPARANDO OS SIFÕES DE SINO (*BELL*)

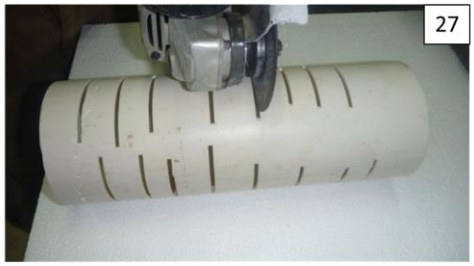
Conforme explicado no Capítulo 4 desta publicação, os sifões de sino são mecanismos simples usados para inundar e drenar automaticamente cada leito de mídia. Os seguintes materiais são necessários para fazer um sifão, portanto, três de cada são necessários no total:

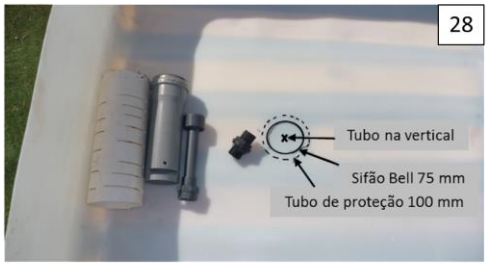
- Protetor de mídia de 35 cm (tubo PVC de 110 mm)
- 27 cm de sino (*bell*) [tubo PVC (75 mm) com ponta bolsa + cap (75 mm) + arruela de borracha (75 mm)]
- Tubo de 16 cm (tubo PVC 25 mm) - vertical
- Conector (25 mm)
- Redutor PVC (40-25 mm)
- Adaptador PVC fêmea (25 mm × 1 pol.)
- Cotovelo PVC (25 mm × 1 pol. fêmea)

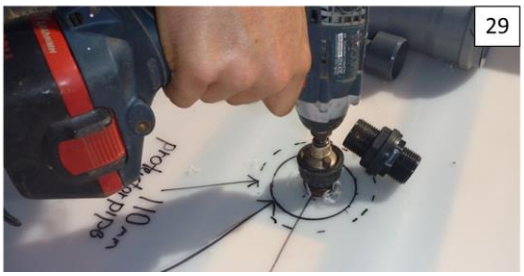
7.1 - Primeiro, crie o ‘sino’. Pegue um pedaço de 27 cm de PVC (75 mm) e corte duas peças conforme mostrado na Figura 26 usando a esmerilhadeira. Em seguida, faça um furo (10 mm de diâmetro) usando uma broca de cerca de 1,5 cm nas duas peças cortadas, conforme mostrado na Figura 26. Por fim, vede uma extremidade do sino usando o cap de PVC (75 mm) e a arruela de borracha (75 mm).

7.2 - Em seguida, faça os protetores de mídia a partir do tubo de PVC de 35 cm de comprimento (110 mm) e corte fendas de 5 mm em todo o seu comprimento com a esmerilhadeira (Figura 27).

7.3 - Agora, em cada leito de mídia, marque seus pontos centrais entre as duas ripas de madeira abaixo, conforme mostrado na Figura 28. Faça um orifício (25 mm de diâmetro) em cada ponto central (Figura 29) e insira o adaptador flange (25 mm) com a arruela de borracha colocada dentro do leito de mídia. Aperte ambos os lados do flange usando uma chave inglesa (Figura 30).







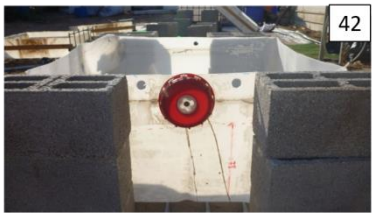
7.4 - Parafuse o adaptador de PVC (1 pol. - 25 mm) no flange (25 mm) dentro do leito de mídia e, em seguida, encaixe o tubo vertical (PVC - 16 cm) no adaptador de PVC (1 pol. - 25 mm). Depois, conecte o segundo adaptador de PVC (25-40 mm) à parte superior do tubo vertical (Figuras 31-33). A finalidade deste adaptador é permitir que um volume maior de água flua inicialmente pelo tubo vertical quando a água atingir o topo. Isso ajuda o mecanismo de sifão a começar a drenar a água para o tanque coletor.

7.5 - Coloque os sifões de sino e os protetores de mídia sobre os tubos verticais (Figuras 34-36).

7.6 - Por fim, conecte o cotovelo de PVC (1 pol. - 25 mm) ao outro lado do flange embaixo do leito de mídia, o que permite que a água flua para fora do leito de mídia (Figuras 37-39).

8. MONTAGEM DOS LEITOS DE MÍDIA E TANQUE *SUMP*

8.1 - Primeiramente, posicione o tanque coletor (*sump*) e prenda-o com seis blocos de concreto de cada lado (12 blocos no total) conforme mostrado nas Figuras 40 e 41. Certifique-se de que os blocos não tapem os orifícios já perfurados no reservatório (Figura 42).



8.2 - Coloque os blocos restantes e o tanque de peixes de acordo com as distâncias descritas na Figura 43. O tanque de peixes deve ser elevado cerca de 15 cm do solo. Isso pode ser feito usando blocos de concreto conforme mostrado na Figura 43. Coloque os três leitos de mídia (incluindo as estruturas de suporte de metal e madeira) sobre os blocos (como na Figura 44). Certifique-se de que os canteiros de cultivo estejam fixados sobre os blocos e na horizontal, verificando com um nível de bolha. Caso contrário, ajuste um pouco o *layout* dos blocos na parte de baixo.

9. ENCANAMENTO DA UNIDADE: TANQUE DE PEIXES PARA OS LEITOS DE MÍDIA (DISTRIBUIÇÃO)

9.1 - As peças de encanamento necessárias para esta seção são as seguintes:

- 3 conectores flange, tipo B (1 pol.)
- 3 torneiras PVC (1 pol.)
- 3 caps de PVC (50 mm)
- 2 cotovelos de PVC (50 mm)
- 2 conectores de PVC, T (50 mm)
- 3 uniões de PVC (50 mm)
- 150 cm de tubo PVC (50 mm)
- 85 cm de tubo PVC (50 mm)

9.2 - Volte para as instruções de 'preparo do tanque de peixes' (2.2). A última instrução mostra um tubo de PVC (50 mm) inserido no anel de vedação (50 mm) e saindo do tanque de peixes. Pegue outro cotovelo de PVC (50 mm) e conecte-o ao tubo encaixado no anel de vedação (Figura 45). Em seguida, usando um acoplador reto (união) de PVC (50 mm) e outro cotovelo de PVC (50 mm), conecte o tubo de saída do tanque de peixes ao tubo de distribuição (50 mm) na mesma altura do topo do leito de mídia (Figura 46).

9.3 - Em cada leito de mídia, um registro é usado para controlar o fluxo de água que entra no leito. Para incluir uma válvula, primeiro pegue um cap de PVC (50 mm) e faça um orifício (25 mm de diâmetro). Insira um flange (25 mm) no orifício e aperte ambos os lados usando uma chave inglesa. Em seguida, enrole a fita de Teflon® (veda rosca) ao redor das roscas da extremidade macho do flange e parafuse a válvula do registro (1 pol.) no flange (Figuras 47-50). Há uma válvula para cada leito de mídia, num total de três válvulas.

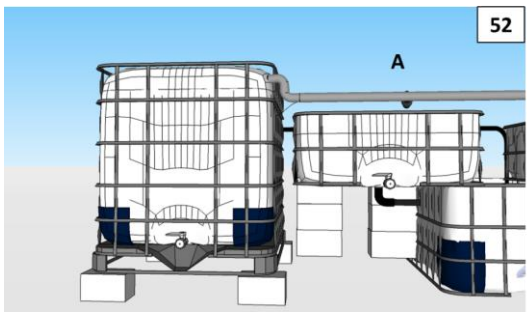
9.4 - A partir do cotovelo de PVC (50 mm) preso ao tubo de saída do tanque de peixes, siga o *layout* do tubo mostrado na Figura 51 que permite que a água flua para cada leito de mídia. Os materiais incluem: tubo de PVC (50 mm), cotovelo de PVC (50 mm) e conector T de PVC (50 mm). Em seguida, prenda as tampas (caps) dos tubos equipadas com as válvulas aos conectores T e cotovelo do tubo de distribuição, como na Figura 51, usando um para cada leito de mídia. Use uma união de PVC (50 mm) se necessário.

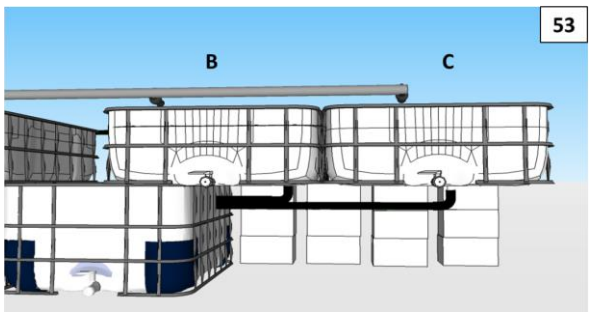
10. ENCANAMENTO DA UNIDADE: LEITOS DE MÍDIA PARA O TANQUE *SUMP* (TUBO DE DRENAGEM)

10.1 - As Figuras 52 e 53 mostram os leitos de mídia marcados como A, B e C. Para o leito de mídia A, conecte um tubo de drenagem de 60 cm de comprimento (PVC - 25 mm) à conexão em cotovelo abaixo do leito de mídia (Figura 54), que sai da parte inferior do tubo vertical do sifão de sino. Em seguida, encaixe o tubo de 60 cm no orifício perfurado mais próximo na lateral do tanque coletor, permitindo que a água flua diretamente para o reservatório (*sump*).

10.2 - Fixação dos leitos de mídia B e C (Figura 53): Sob o leito de mídia C: acople um conector cotovelo de PVC (25 mm - 1 pol.) na extremidade do conector flange (Figura 54). Em seguida, prenda uma mangueira de 2 metros (25 mm) aos orifícios perfurados na lateral do tanque coletor (*sump*) (Figura 53 e 55).

10.3 - Faça o mesmo com o leito de mídia B utilizando 1 m da mangueira (25 mm) (Figura 55). Agora, a água que sai dos leitos de mídia B e C fluirá através das mangueiras separadas (25 mm) para o tanque coletor (*sump*).





Por último, é aconselhável fixar os tubos por baixo dos leitos à estrutura metálica com abraçadeiras para aliviar a pressão nas conexões dos tubos (Figura 54).

11. ENCANAMENTO DA UNIDADE: TANQUE *SUMP* PARA O TANQUE DE PEIXES

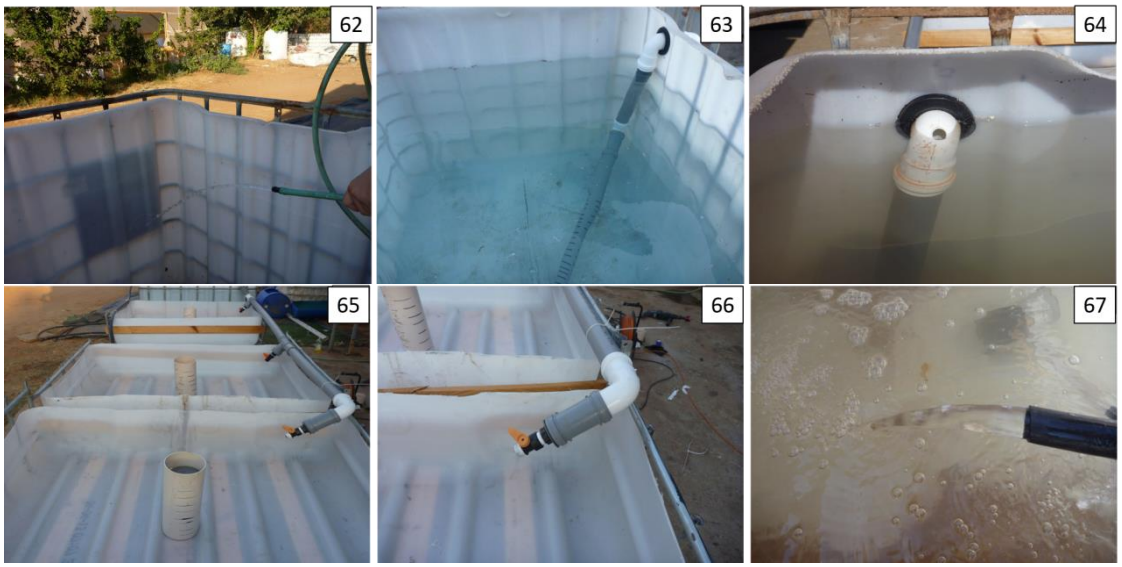
11.1 - Pegue a bomba submersível e fixe uma mangueira (25 mm) utilizando um conector reto de PVC (1 pol. - 25 mm), ou qualquer outro conector que possa acoplar a bomba à mangueira de 25 mm (Figura 56). Pegue outra mangueira (25 mm) longa o suficiente para alcançar o interior do tanque de peixes desde a bomba submersível (Figura 57). Conecte uma extremidade à bomba submersível e a outra na parte superior do tanque de peixes (ver Figura 57-60). Recomenda-se usar o menor número possível de conectores, especialmente cotovelos, entre a bomba e o tanque de peixes, pois isso pode diminuir a capacidade de bombeamento.

11.2 - Coloque o quadro elétrico em local seguro, acima do nível da água e protegido da luz solar direta. Certifique-se de que ainda esteja à prova d'água após conectar a bomba de água e ar (Figura 61).

12. ADICIONANDO A MÍDIA E EXECUTANDO A UNIDADE

12.1 - Todas as partes do sistema estão agora no lugar, exceto o meio de cultivo (mídia: cascalho vulcânico) nos leitos. Mesmo assim, antes de adicionar a mídia, é recomendável encher o tanque de peixes e o tanque coletor (*sump*) com água e acionar a bomba para verificar se há vazamentos no sistema. Ao verificar se há vazamentos,

remova o tubo vertical e o sifão de sino para que a água flua direto para o tanque coletor. Se houver vazamentos, conserte-os imediatamente apertando as conexões do encanamento, recolocando Teflon® (fita veda rosca) nas conexões com roscas e certificando-se de que todos os registros estejam em suas posições ideais (Figuras 62-67).



12.2 - Uma vez que todos os vazamentos foram corrigidos e a água está fluindo suavemente através de todos os componentes da unidade, remonte o sifão de sino e os tubos verticais, preenchendo os leitos de mídia com uma profundidade de 30 cm (Figuras 68-69).

Seção 2 - A UNIDADE DE TÉCNICA DO FILME DE NUTRIENTES (NFT)

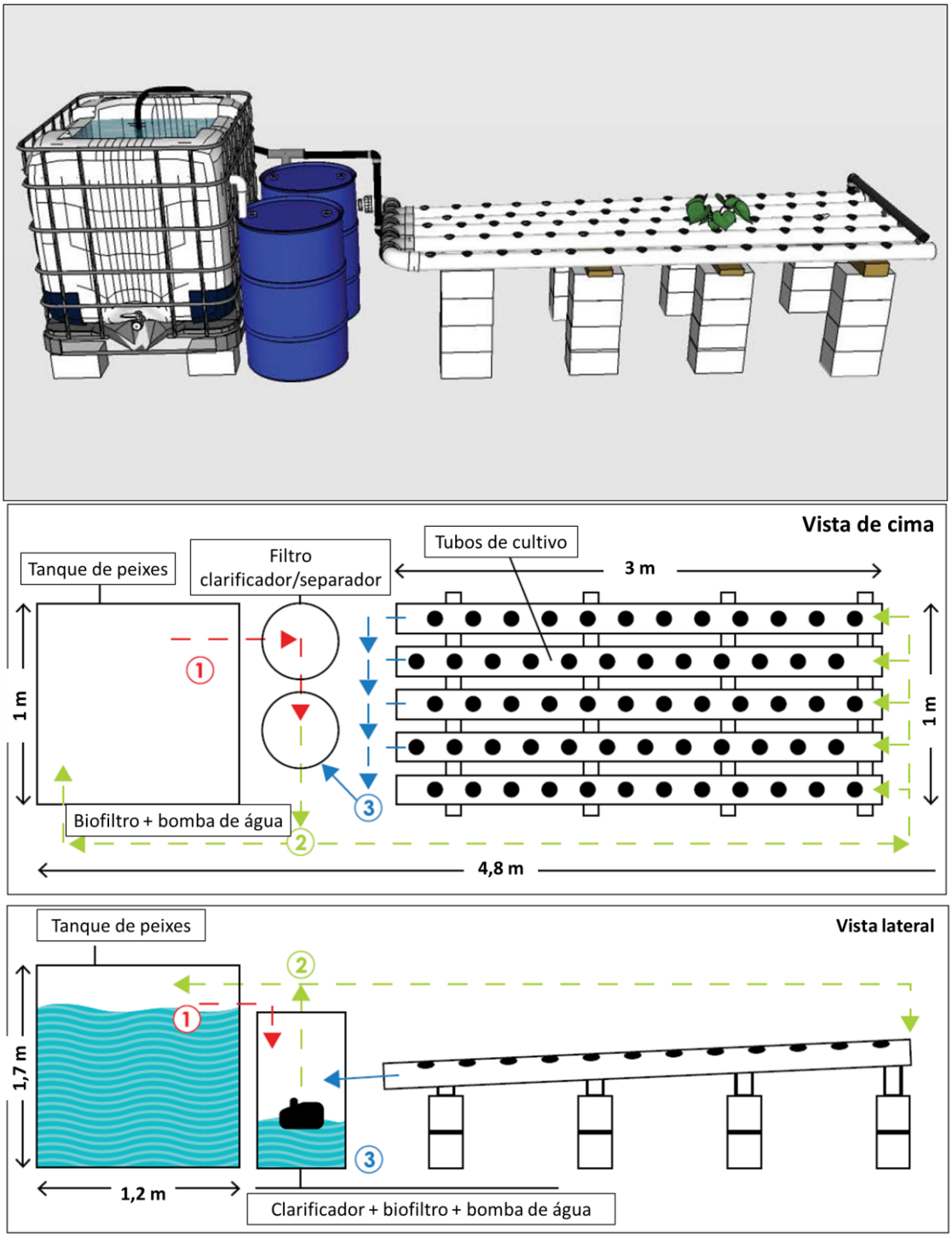


Diagrama do fluxo de água

1. A água flui por gravidade do tanque de peixes para o clarificador/separador mecânico e o biofiltro.
2. A água é bombeada, usando a bomba submersível, do biofiltro para o tanque de peixes (80 % da vazão) e as tubulações NFT (20 % da vazão).
3. A água flui de volta dos tubos para o biofiltro.

TABELA A8.4
Lista de itens para a unidade NFT

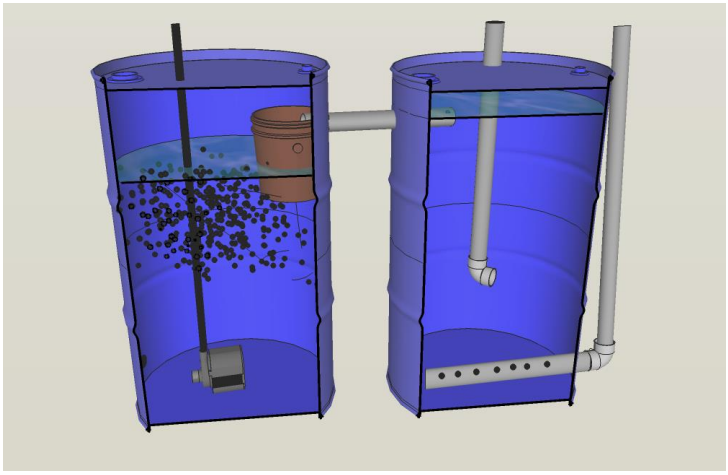
	Nome do item	**Nº do item da Tabela A8.1**	**Quantidade**
1	Tanque IBC	1	1
2	Baldes (20 L)	28	1
3	Tambor de 200 L (azul)	2	2
4	Mídia biofiltrante (Bioballs® ou tampas de garrafa)	34	40-80 L
5	Bomba de água submersível (mín. 2.000 L/h)	7	1
6	Bomba de ar (10 W) com 2 saídas	29	1
7	Tubulação de ar	30	3 m
8	Pedra porosa (de ar)	32	2
9	Bloco de concreto	5	32
10	Ripas de madeira (8 × 1 cm)	6	8 m
11	Tela de sombreamento	3	2 m^2
12	Rede/puçá para despesca	33	1
13	Fita de Teflon® (veda rosca)	10	1
14	Abraçadeiras	11	25
15	Quadro elétrico (à prova d'água)	12	1
16	Pote de rede para mudas	36	80
17	Cascalho vulcânico (4-20 mm)	35	30 L
18	Sabão ou lubrificante ecológico	8	1
	TUBOS E CONEXÕES DE PVC		
19	Tubo de PVC (110 mm)	13	16 m
20	Conector de PVC, T (110 mm)	42	4
21	Cotovelo de PVC (110 mm)	41	2
22	União de PVC, reto (110 mm)	43	1
23	Cap de PVC (110 mm)	51	5

24	Redutor de PVC (110-50 mm)	44	1
25	Arruela de borracha de vedação (110 mm)	19	20
26	Tubo de PVC (50 mm)	15	5 m
27	Anel de vedação (50 mm)	18	5
28	Cotovelo de PVC (50 mm)	37	6
29	União de PVC, reto (50 mm)	38	4
30	Cap de PVC (50 mm)	40	1
31	Arruela de vedação de borracha (50 mm)	19	8
32	Mangueira (25 mm)	17	8 m
33	Conector de PVC, T (25 mm)	55	2
34	Cotovelo de PVC (25 mm × ¾ pol.) fêmea	49	2
35	Adaptador de PVC (20 mm × ¾ pol.) macho	22	1
36	Mangueira (20 mm)	17	2 m
37	Conector de PVC, T (20 mm)	50	4
38	Cotovelo de PVC (20 mm)	48	1
39	Registro de esfera de PVC (20 mm)	26	5

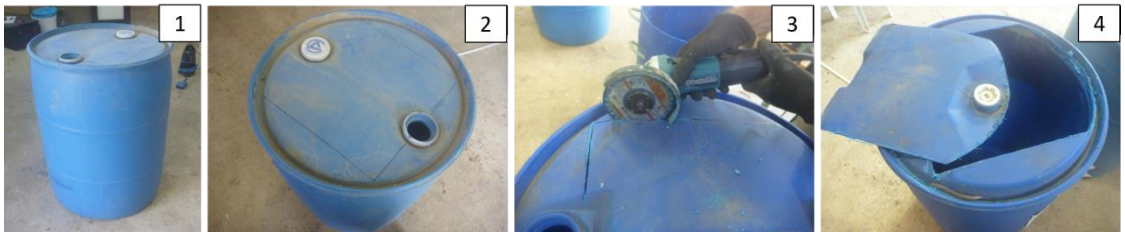
1. PREPARANDO O TANQUE DE PEIXES

(O MESMO QUE NA UNIDADE DE LEITO DE MÍDIA, SEÇÕES 1-2)

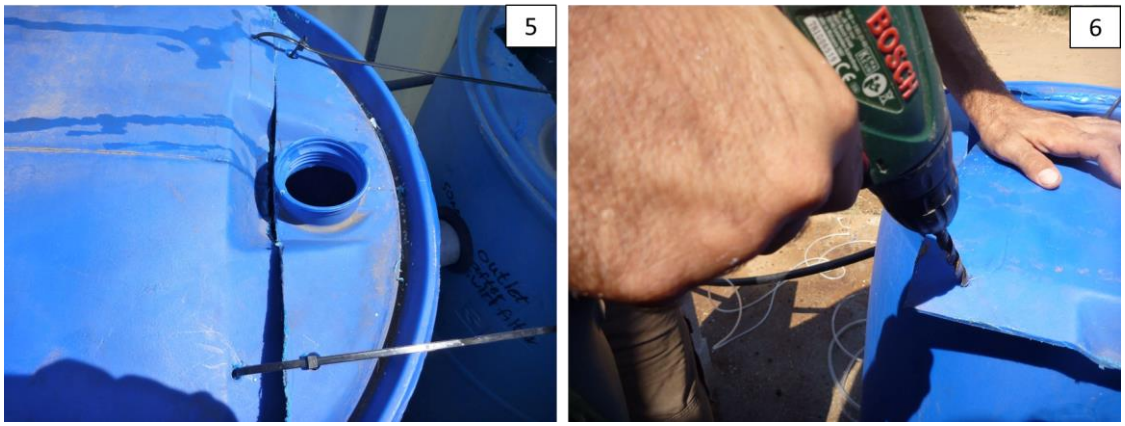
2. PREPARANDO O SEPARADOR MECÂNICO E O BIOFILTRO



2.1 - Pegue dois barris/tambores azuis (200 L) (Figura 1) e recorte as formas marcadas nas figuras abaixo (Figuras 2-4) utilizando a esmerilhadeira. Em seguida, lave os dois barris com sabão e água morna abundantemente e deixe secar ao sol por 24 horas.



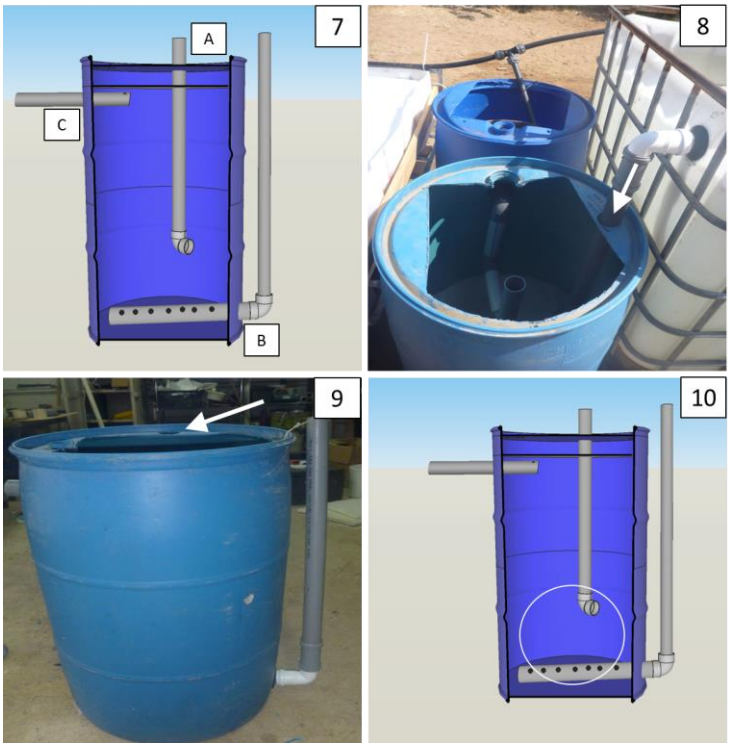
2.2 - Os pedaços cortados de ambos os tambores também podem ser usados como suas respectivas tampas. Eles podem ser fixados com abraçadeiras na parte superior do tambor (ver Figuras 5-6).



3. TAMBOR Nº 1 - SEPARADOR MECÂNICO

Tubos de entrada/saída do separador mecânico
A. Tubo de entrada do tanque de peixes.
B. Tubo de drenagem na parte inferior do separador mecânico.
C. Tubo de saída no biofiltro.

Tubo de entrada do tanque de peixes
3.1 - Faça um furo (50 mm) usando a broca circular (serra copo) de 50 mm na superfície superior do cano e encaixe no tubo de saída do tanque de peixes (Figuras 8-9).



3.2 - Estenda o tubo de saída do tanque de peixes até 30 cm acima do fundo do recipiente do separador mecânico. Conecte um cotovelo de PVC (50 mm) à parte inferior do tubo de saída para que a água flua tangencialmente ao recipiente, forçando a água a circular (Figura 10).

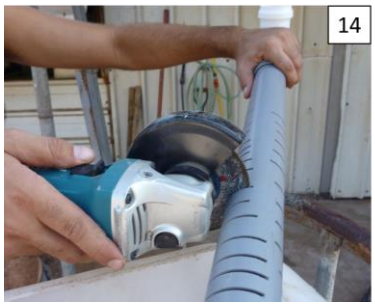
Tubo de drenagem na parte inferior do separador mecânico

3.3 - Em seguida, pegue um pedaço de tubo de PVC (50 mm) e faça fendas horizontais de 2-3 mm em todo o comprimento usando a esmerilhadeira (Figura 11). Faça um orifício (57 mm) na parte externa do cilindro, 5 cm acima do fundo, e insira um anel de vedação (50 mm) (Figura 12). Encaixe o tubo de drenagem (tubo de PVC de 50 mm cortado com fendas) através do anel de vedação e conecte um cotovelo de PVC (50 mm) à extremidade do tubo fora do cilindro. Finalmente, conecte outro tubo de PVC (50 mm) com 60 a 70 cm de comprimento até o cotovelo e certifique-se de que a extremidade do tubo esteja acima do nível máximo de água do tambor (Figura 13). As fendas no tubo de drenagem permitirão que os resíduos sólidos entrem e sejam eliminados, reclinando o outro tubo vertical preso fora do tambor e despejando a água de sua extremidade.

Tubo de transferência que conecta o separador mecânico ao biofiltro

3.4 - Pegue um tubo de PVC de 65 cm de comprimento (50 mm) e corte as mesmas fendas horizontais citadas anteriormente (3.3) nos primeiros 25 cm do tubo com a

esmerilhadeira (Figura 14). Vede a extremidade do tubo fendilhado (50 mm) com um cap de PVC (50 mm). Em seguida, faça um orifício (57 mm) com a broca circular (serra copo) de 57 mm a 70 cm do fundo do tambor e insira um anel de vedação neste orifício. Encaixe o tubo de transferência (50 mm) através do anel de vedação, certificando-se de que a extremidade com fendas de 25 cm esteja completamente dentro do tambor que servirá como separador mecânico (Figuras 15-16).


14

15

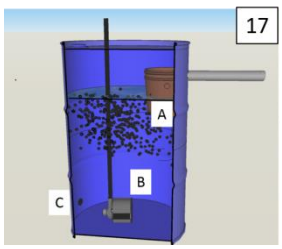
16

4. TAMBOR Nº 2 – BIOFILTRO

Tubos de entrada/saída do biofiltro
A. Tubo de entrada do separador mecânico (Figura 17).
B. Saída de água da bomba de água.
C. Registro de drenagem.

Registro de drenagem de 25 mm
4.1 - Faça um orifício (25 mm) na parte inferior do tanque do biofiltro e insira um flange (25 mm) no orifício e aperte bem. Fixe um registro (25 mm) no flange na parte externa do tanque, certificando-se de que o flange esteja envolto em fita de Teflon® (veda rosca) para fazer uma vedação à prova d'água (Figura 18). O registro é usado para limpar qualquer resíduo sólido acumulado no fundo do recipiente do biofiltro.

Tubo de entrada do separador mecânico
4.2 - Faça um orifício (57 mm) com a broca circular (serra copo) a 70 cm do fundo do cano e insira um anel de vedação no orifício (Figura 19). Coloque o tanque do biofiltro ao lado do tanque do separador mecânico. Pegue o tubo de PVC de 65 cm já preso ao tanque do separador mecânico e insira-o através do anel de vedação no tanque do biofiltro também. Agora, os dois tambores são unidos usando este tubo de transferência (Figura 20).



17

18

19

20

Preparando o balde de retenção de sólidos
4.3 - Faça um furo de 50 mm no balde de 20 L, 5 cm abaixo da borda superior do balde (Figura 21).

4.4 - Faça pelo menos 20 furos (8 mm de diâmetro) no fundo do balde com uma broca de 8 mm para permitir que a água escorra para o biofiltro (Figura 21).
4.5 - Insira e encaixe o balde ao longo do tubo de transferência de 65 cm dentro do biofiltro (o mesmo tubo de 65 cm que conecta os dois tanques de filtro) (Figuras 22 - 23).
4.6 - Faça um orifício de 20 mm no tubo de transferência e insira de 6 a 10 cm de PVC (20 mm) (Figura 23) para evitar que o balde de captura de sólidos saia para fora do tubo de transferência.
4.7 - Coloque a mídia de filtração (nesta configuração usamos cascalho vulcânico, mas podem ser utilizados Perlon®, que é um tipo de manta acrílica, esponja ou outros materiais) dentro do balde para reter qualquer resíduo sólido ou em suspensão remanescente (Figura 24).
4.8 - Preencha o biofiltro com mídia biofiltrante (Bioballs® ou tampas de garrafa, por exemplo).

5. POSICIONANDO OS TUBOS NFT

Os materiais necessários para esta seção são os seguintes:

- 48 blocos de concreto
- Uma ripa de madeira (1 m comprimento × 3 cm de espessura)
- Uma ripa de madeira (1 m comprimento × 2 cm de espessura)
- Uma ripa de madeira (1 m comprimento × 1 cm de espessura)

5.1 - Colocar os blocos de concreto de acordo com as distâncias na Figura 25. Cada estande é feito de oito blocos (duas colunas, cada coluna com quatro blocos de altura). Coloque as ripas de madeira sobre os blocos: posicione a ripa de 3 cm de espessura ao longo da coluna de blocos mais afastada do tanque, as ripas de 2 cm de espessura nas colunas do meio e as ripas de 1 cm nas colunas mais próximas. Esse arranjo criará uma pequena inclinação permitindo que a água flua facilmente pelos tubos e retorne ao biofiltro (Figura 25).

6. CONECTANDO OS TUBOS NFT E O DRENO COMUM

Os materiais necessários para esta seção são os seguintes:

- 5 tubos PVC de 3 m (110 mm)
- 2 cotovelos PVC (110 mm)
- 4 conectores PVC, T (110 mm)
- 5 caps de PVC (110 mm)
- 15 arruelas de vedação de borracha (110 mm)
- Sabão natural

6.1 - Conecte o sistema de tubulação conforme Figura 27. Certifique-se de que cada tubo e conexão de tubo tenham uma vedação de borracha lubrificada instalada no interior usando o sabão natural como lubrificante (Figura 26).

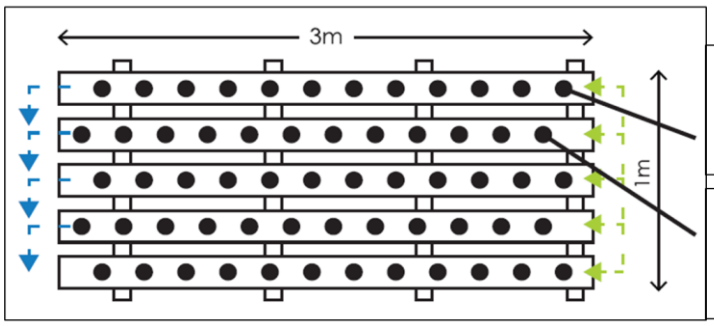
26

27

7. MARCANDO OS ORIFÍCIOS PARA AS PLANTAS

7.1 - Coloque os tubos/perfis NFT sobre os blocos e ripas de madeira e encaixe os cinco caps (110 mm) nas extremidades dos tubos mais afastadas do tanque de peixes (Figura 30). Um método eficaz para marcar os orifícios onde ficarão as plantas é esticar e prender um pedaço de uma corda fina ao longo do lado superior de cada tubo para marcar distâncias uniformes com precisão.

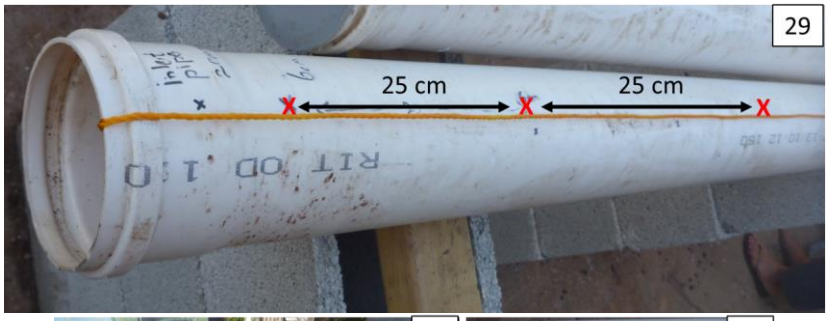
7.2 - Marque um ponto a cada 25 cm ao longo da corda (Figura 29) que será o ponto central dos furos. Faça os furos (Figura 33) de acordo com o tamanho dos potes de rede. Para obter um espaço ideal para o cultivo das hortaliças, siga o padrão triangular mostrado nas Figuras 28 e 31.

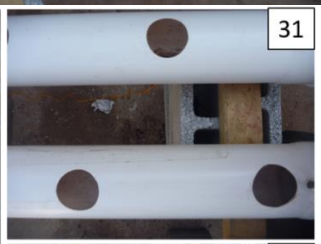


28

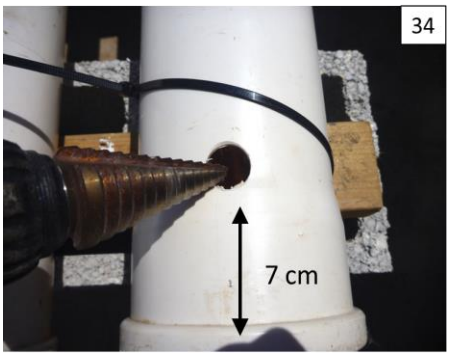
Para o primeiro, terceiro e quinto tubo, faça o primeiro furo da planta a 12,5 cm da borda do tubo.

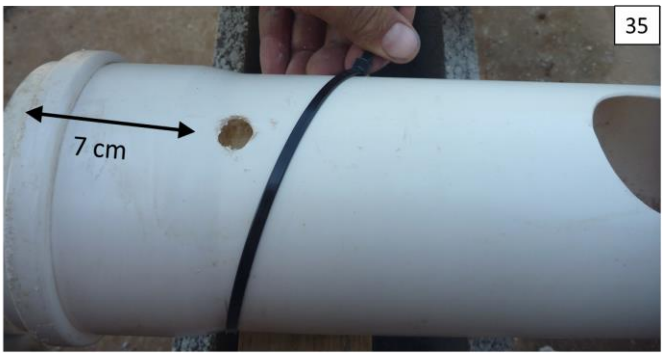
Para o segundo e quarto tubo, perfure o primeiro orifício da planta a 25 cm da borda do tubo.





7.3 - Por fim, faça furos de 20 mm, a 7 cm das extremidades dos tubos mais distantes do tanque de peixes para permitir que a água entre nos tubos NFT (Figura 34).
7.4 - Prenda os tubos/perfis NFT nas ripas de madeira com abraçadeiras plásticas (Figura 35).

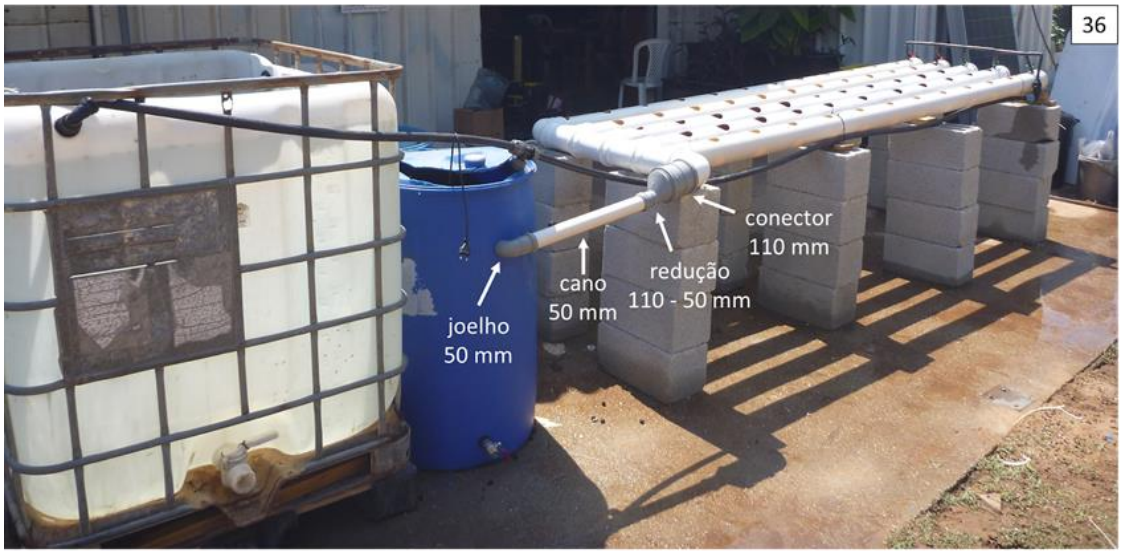




8. CONECTANDO A EXTREMIDADE DOS TUBOS DE CULTIVO DE VOLTA AO BIOFILTRO

8.1 - Pegue uma união de PVC (110 mm) e fixe-a no cotovelo final de PVC (110 mm) da calha comum dos tubos NFT (Figura 27), que é confeccionada com uma série de conexões T de PVC (110 mm). Em seguida, conecte um redutor de PVC (110-50 mm)

a uma união/conector reto de PVC (110 mm). Este dreno comum deve se conectar ao biofiltro. Faça um furo de 50 mm na parte externa do biofiltro, 10 cm abaixo do fundo dos tubos de cultivo. Encaixe um cotovelo de PVC (50 mm) neste orifício. Use um tubo de PVC (50 mm) para conectar o cotovelo (50 mm) ao redutor (110-50 mm) permitindo que a água flua dos tubos NFT de volta para o tanque do biofiltro (Figuras 36-38).



9. INSTALANDO O TUBO DE DISTRIBUIÇÃO PARA CADA TUBO NFT

Os materiais necessários para esta seção são os seguintes:

- 5 registros de pressão de PVC (20 mm)
- 4 conectores T de PVC com registro (20 mm)
- 2 conectores de cotovelo de PVC (20 mm)
- Mangueira (20 mm)
- Adaptador PVC (20 mm - 3/4 pol.)
- Conector fêmea cotovelo PVC (25 mm - 3/4 pol.)
- Fita de Teflon® (veda rosca)

9.1 - Conecte todos os tubos e conexões de acordo com as Figuras 39 e 40.

10. ADICIONANDO A BOMBA SUBMERSÍVEL

10.1 - Para esta unidade, a bomba submersível é colocada no fundo do tanque do biofiltro (Figuras 41A e 41B). A água é bombeada de lá para dois locais: os tubos NFT e o tanque de peixes. Entre 80 e 90 % da água flui para o tanque de peixes, enquanto 10 a 20 % flui para os tubos NFT. Os registros são utilizados para controlar o fluxo de água em cada local.

11. BOMBEANDO PARA O TANQUE DE PEIXE

11.1 - Conecte a bomba submersível a um pedaço de mangueira (25 mm) utilizando um adaptador de PVC, fêmea (25 mm - 1 pol.), ou qualquer conexão que se encaixe na bomba. A mangueira ou tubo (25 mm) deve ter pelo menos 1 m de comprimento. Coloque uma conexão T de PVC (25 mm) na extremidade do tubo/mangueira para permitir que a água flua para o tanque de peixes e os tubos/perfis NFT (Figuras 42-43).

11.2 - Fixe um tubo de PVC (25 mm) em uma das extremidades da conexão em T (Figura 42) com comprimento suficiente para alcançar o tanque de peixes (Figura 44). Use um tubo flexível, como uma mangueira, se possível, para dispensar a necessidade de conectores adicionais, o que reduziria a capacidade de bombeamento da bomba. Conecte um registro (25 mm) na extremidade do tubo para controlar o fluxo de água que entra no tanque de peixes (Figura 44).

11.3 - A seguir, pegue cerca de 4 metros de tubo de PVC (25 mm) e prenda na outra extremidade do conector T de PVC (25 mm) que sai do tubo da bomba d'água dentro do biofiltro. Conecte este tubo (25 mm) ao coletor de distribuição através do conector fêmea em um cotovelo de PVC (25 mm - ¾ pol.) visto na Figura 40, que fornecerá água para cada tubo NFT (Figura 44).

12. QUADRO ELÉTRICO + BOMBA DE AR

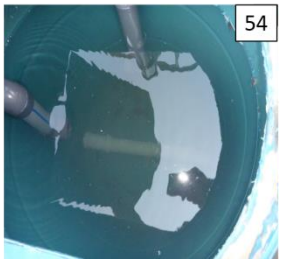
12.1 - Coloque o quadro elétrico em local seguro, acima do nível da água e protegido da luz solar direta (Figura 45). Certifique-se de que ainda está à prova d'água após conectar as bombas de água e de ar e coloque as pedras de ar dentro do tanque de peixes (Figura 46).

13. VERIFICAÇÕES FINAIS

13.1 - Todas as partes do sistema estão instaladas. Antes de adicionar amônia para ciclar, peixes ou plantas, encha o tanque destinado aos peixes e ambos os filtros com água e ligue a bomba para verificar se há vazamentos no sistema. Se houver vazamentos, conserte-os imediatamente (Figuras 47-49). As etapas a seguir mostram esse processo.

Verificação da drenagem do separador mecânico (Figuras 50-52).

- Encha o biofiltro com mídia filtrante e água (Figuras 53A e 53B).
- Encha o separador mecânico com água (Figura 54).
- Separador mecânico e biofiltro (Figura 55).



- Aperte as conexões do encanamento.
- Verifique todos os anéis de vedação e registros para ambos os filtros.

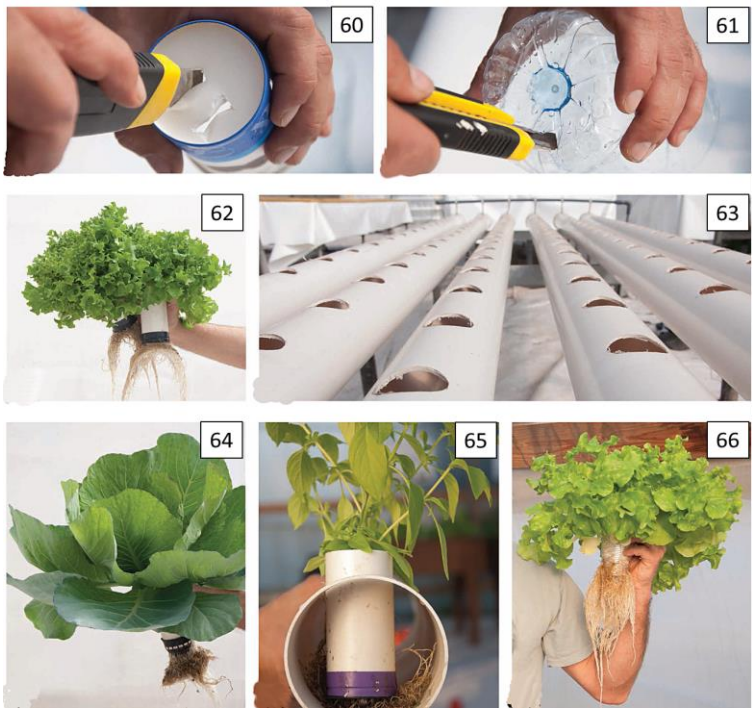
• Aplique Teflon® (fita veda rosca) nas conexões roscadas.
• Certifique-se de que todas as válvulas estão em suas posições ideais.

Finalmente, verifique a taxa de fluxo da água em cada tubo/perfil do sistema NFT. A vazão pode ser medida com um cronômetro e uma garrafa de plástico vazia de 1 L. Uma taxa de fluxo de 1 a 2 L/min, que é o padrão em tubos NFT, deve encher a garrafa em 1 minuto (1 L/min) ou 30 segundos (2 L/min) (Figura 56).

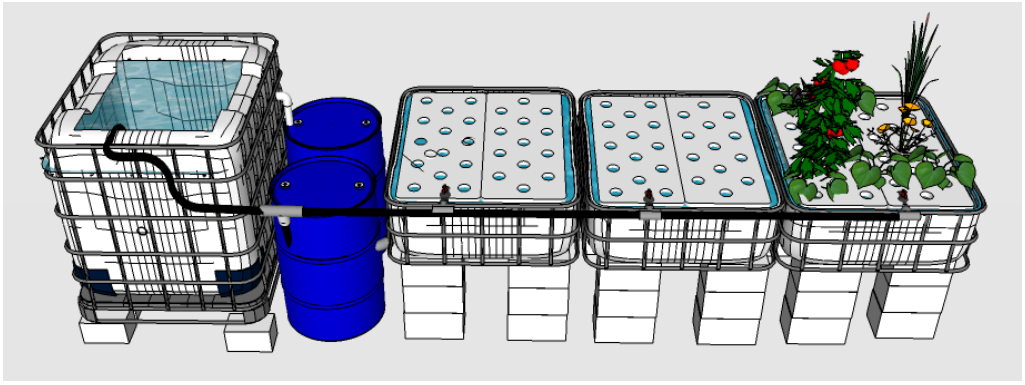
Depois que todos os vazamentos forem corrigidos e a água estiver fluindo suavemente por todos os componentes, é possível iniciar a ciclagem da unidade utilizando amônia (consulte o Capítulo 5 desta publicação para obter mais detalhes sobre este processo).

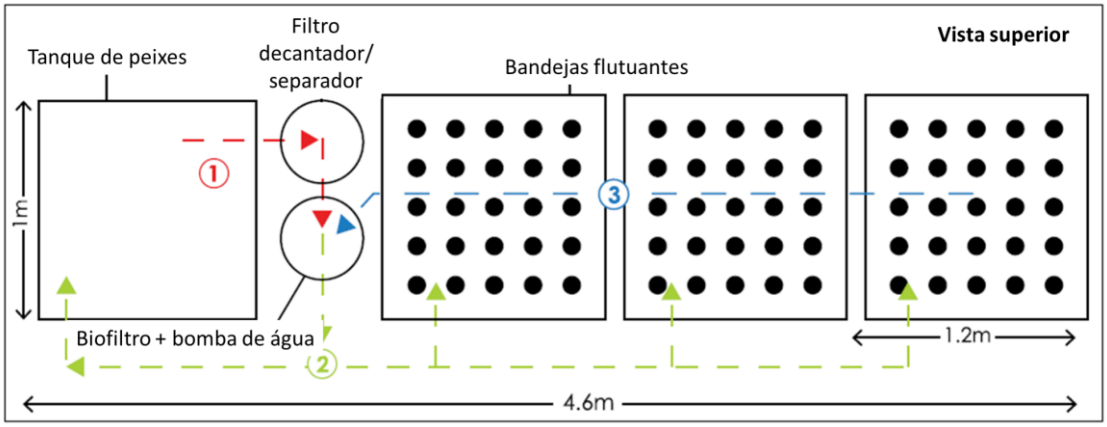
14. PLANTIO - FAZENDO OS COPOS DE PLANTIO

14.1 - Para o plantio siga o que é mostrado nas figuras a seguir. Certifique-se de que o copo para plantas tenha orifícios suficientes para permitir que o sistema radicular cresça para dentro do tubo, mas também evitar que o meio de cultivo caia.
Um copo para plantas feito de um copo de rede e 10 cm de tubo de PVC (50 mm) (Figuras 57-59).
Um copo para plantas feito de copos simples de plástico/papel e uma garrafa de plástico (Figuras 60 e 61). As raízes das plantas são claramente visíveis (Figuras 62-66).


60
61
62
63
64
65
66

Seção 3 - A UNIDADE DE CULTIVO EM ÁGUAS PROFUNDAS (DWC)





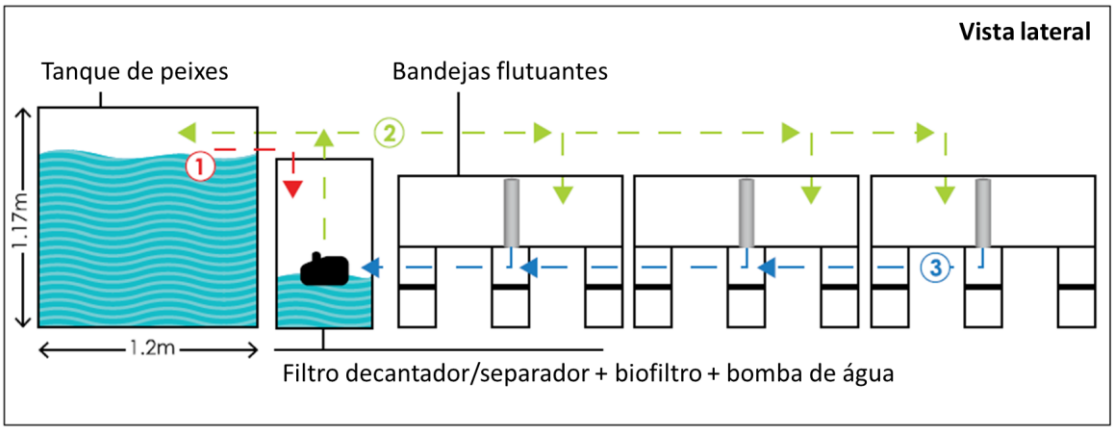


Diagrama de fluxo de água

1. A água flui por gravidade do tanque de peixes para o filtro separador mecânico e biofiltro.
2. A água é bombeada, por meio de bomba submersível, do biofiltro para o tanque de peixes (80 % da vazão) e os canais DWC (20 % da vazão).
3. A água flui de volta dos canais para o biofiltro.

TABELA A8.5
Lista de itens para a unidade DWC

	Nome do item	**Nº do item da Tabela A8.1**	**Quantidade**
1	Tanque IBC	1	3
2	Baldes (20 L)	28	1
3	Tambor de 200 L	2	2
4	Mídia biofiltrante (Bioballs® ou tampas de garrafa, por exemplo)	34	40-80 L
5	Bomba de água submersível (mín. 2.000 L/h)	7	1
6	Bomba de ar (10 W) com 4 saídas*	29	1* (2)
7	Tubulação de ar	30	10 m
8	Pedra porosa (de ar)	32	4
9	Bloco de concreto	5	40
10	Ripas de madeira (8 × 1 cm)	6	8 m
11	Tela de sombreamento	3	2 m^2
12	Rede de despesca/captura de peixes (puçá)	33	1
13	Fita Teflon® (veda rosca)	10	1
14	Abraçadeira	11	25
15	Quadro elétrico (à prova d'água)	12	1
16	Pote de rede	36	80
17	Cascalho vulcânico (4-20 mm)	35	30 L
18	Folha de poliestireno (isopor)	9	3 m^2
19	Sabão ou lubrificante ecológico	8	1
	TUBOS E CONEXÕES DE PVC		
20	Registro de PVC ou metal (¾ pol.) macho para fêmea	27	4
21	Registro de PVC ou metal (1 pol.) macho para fêmea	47	1
22	Cotovelo de PVC (25 mm × ¾ pol.) macho	24	3

23	Cotovelo de PVC (25 mm × ¾ pol.) fêmea	49	1
24	Conector T de PVC (25 mm × 1 pol.) fêmea	53	2
25	Conector T de PVC (25 mm × ¾ pol.) fêmea	57	2
26	Cotovelo de PVC (25 mm × 1 pol.) fêmea	23	2
27	Cotovelo de PVC (25 mm × ¾ pol.) fêmea	49	1
28	Adaptador de PVC (25 mm × ¾ pol.)	52	1
29	PVC (25 mm × 1 pol.) fêmea	21	3
30	Conector flange roscável, PVC, tipo V (1 pol.)	46	5
31	Mangueira (25 mm)	17	8 m
32	Conector T de PVC (25 mm × ¾ pol.) fêmea	59	1
33	Tubo de PVC (25 mm)	16	0,9 m
34	Tubo de PVC (50 mm)	14	2 m
35	Anel de vedação (50 mm)	18	5
36	Cotovelo de PVC (50 mm)	37	6
37	União de PVC, reto (50 mm)	38	5
38	Cap de PVC (50 mm)	40	1
39	Arruela de vedação de borracha (50 mm)	19	10

1. PREPARANDO O TANQUE DE PEIXES

(VER AS SEÇÕES 1 E 2 DO LEITO DE MÍDIA).

2. PREPARANDO O SEPARADOR MECÂNICO E O BIOFILTRO

(VER AS SEÇÕES 1-4 DA UNIDADE NFT).

3. FAZENDO TRÊS CANAIS DWC A PARTIR DE DOIS TANQUES IBC

(VER A SEÇÃO 4 DO LEITO DE MÍDIA).

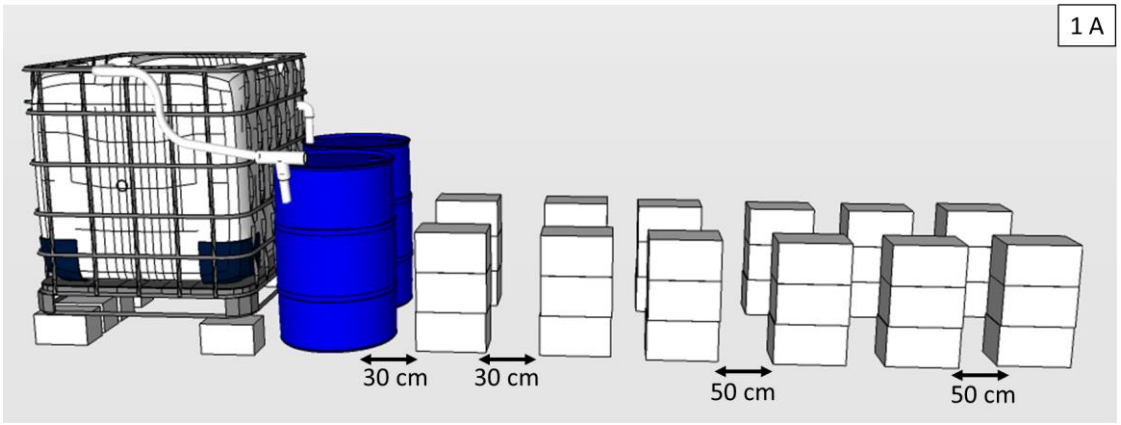
4. PASSOS INICIAIS NA CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DWC

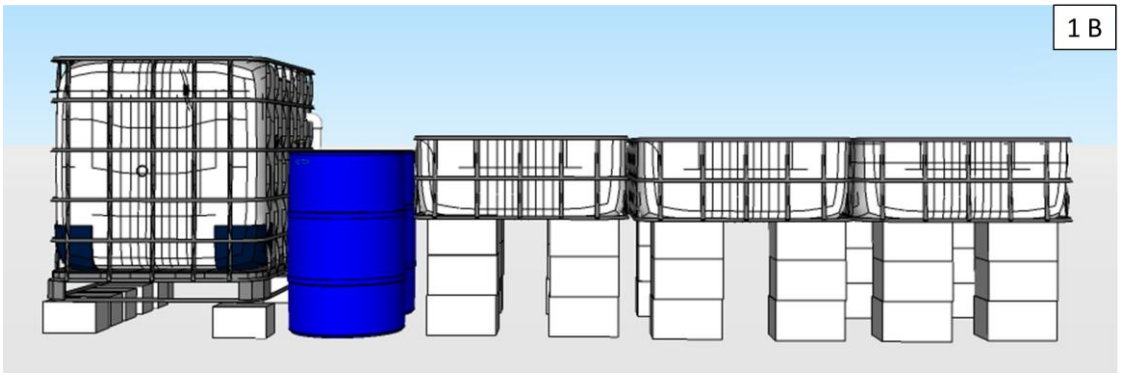
Siga as etapas contidas nas seções anteriores para configurar o tanque de peixes, o separador mecânico, o biofiltro e três canais DWC a partir de dois IBCs. Depois de

concluído, prossiga para a montagem dos canais DWC. Para o sistema DWC, o leito de IBC cortado usado como um tanque coletor na unidade de leito de mídia pode ser usado como o quarto canal. Blocos extras e encanamentos são necessários para instalar o quarto canal.

5. MONTAGEM DOS CANAIS DWC

5.1 - Coloque os blocos de concreto de acordo com as distâncias descritas na Figura 1A. O tanque de peixes deve ser elevado cerca de 15 cm; faça isso usando blocos de concreto. Em seguida, coloque os três canteiros (incluindo as estruturas de suporte de metal) sobre os blocos, conforme mostrado na Figura 1B (certifique-se de que os canteiros estejam seguros sobre os blocos; caso contrário, ajuste levemente o *layout* dos blocos embaixo).





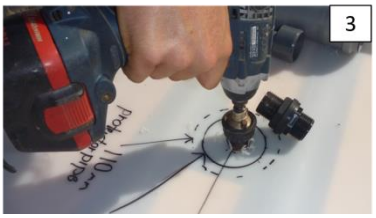
6. PREPARANDO OS TUBOS DE DRENAGEM PARA O BIOFILTRO

Os seguintes materiais são necessários para fazer três unidades de tubo de drenagem:

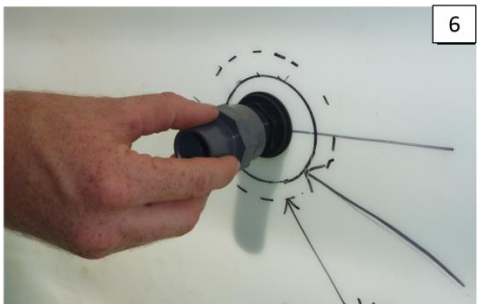
- 3 pedaços de 24 cm de tubo PVC (25 mm)
- 3 conectores flange roscável (25 mm)
- 3 adaptadores PVC, fêmea (1 pol. - 25 mm)
- 1 cotovelo PVC, fêmea (1 pol. - 25 mm)
- 2 conectores T, PVC, fêmea (25 mm - 1 pol. - 25 mm)
- e arruelas de borracha (25 mm)

6.1 - Em cada canal DWC, marque seus pontos centrais no fundo do canal. Faça um orifício de 25 mm de diâmetro em cada ponto central e insira o conector flange de

25 mm (25 mm) com a arruela de borracha colocada dentro do canteiro de cultivo. Aperte ambos os lados do conector usando uma chave (ver Figuras 2-4).



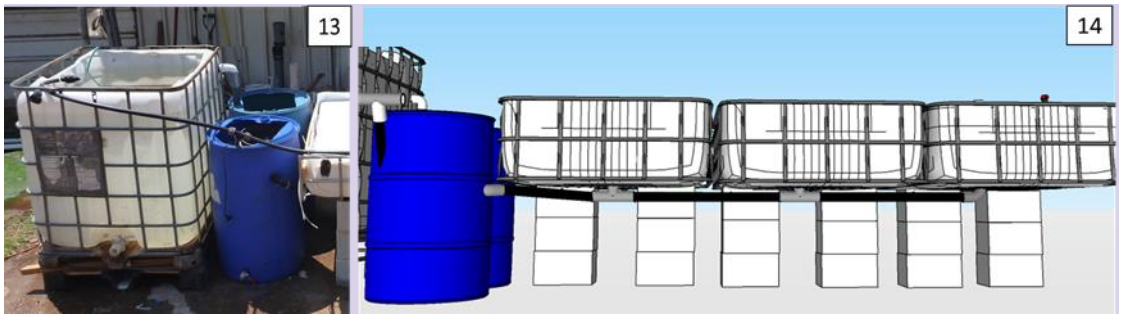
6.2 - Aparafuse o adaptador de PVC fêmea (1 pol. - 25 mm) no conector flange (25 mm) dentro dos tanques e em seguida encaixe o tubo vertical no adaptador. Certifique-se de cortar cinco fendas longitudinais na extremidade superior do tubo vertical para evitar o entupimento do tubo (Figuras 5-6).



6.3 - Em seguida, conecte o cotovelo de PVC, fêmea (25 mm - 1 pol.) à extremidade do conector flange roscável sob o canal DWC que está mais distante do tanque de peixes (Figuras 7-10). Em seguida, fixe os dois conectores T de PVC restantes (25 mm - 1 pol. [fêmea] - 25 mm) aos conectores flange sob os outros dois canais. Pegue três peças, cada uma com 1 m de comprimento, de tubo de PVC (25 mm) e conecte o cotovelo aos dois conectores T sob os canais (Figuras 11 e 12).

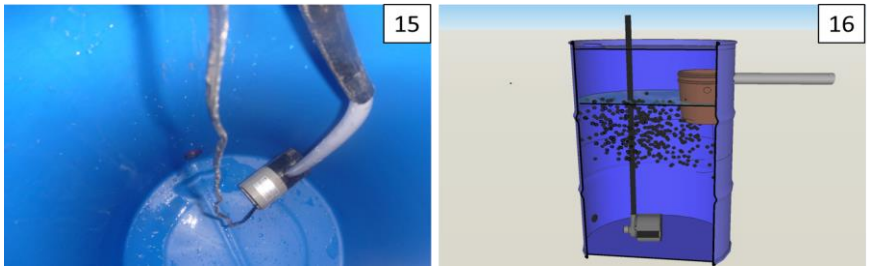
Conexões entre canais A, B e C

6.4 - Por fim, faça um furo de 25 mm na lateral do biofiltro usando a broca circular pelo menos 15 cm abaixo da altura do tubo vertical nos canais e insira um conector flange roscável (1 pol.) nele. Em seguida, conecte um cotovelo de PVC (25 mm - 1 pol.) ao conector flange roscável e, em seguida, pegue mais um pedaço de tubo de PVC (25 mm) e conecte o cotovelo de PVC (25 mm - 1 pol.) de onde sai do biofiltro ao conector T final sob o tanque A e encaixe o outro no orifício de 25 mm no biofiltro (Figuras 13 e 14).



7. ADICIONANDO A BOMBA SUBMERSÍVEL

Para esta unidade, a bomba submersível é colocada na parte inferior dentro do biofiltro (Figuras 15 e 16).



A água é bombeada de lá para dois locais: os três canais DWC e o tanque de peixes, sendo que cerca de 80 % da água flui para o tanque de peixes, enquanto 20 % flui para os canais das hortaliças. Os registros são utilizados para controlar o fluxo de água em cada local (Figura 17).

8. BOMBEANDO PARA O TANQUE DE PEIXES E CANAIS DE DWC

8.1 - Conecte a bomba submersível a uma mangueira (25 mm) usando um adaptador (fêmea de 1 pol. - 25 mm), ou qualquer outra conexão que se encaixe na bomba. O tubo deve ter pelo menos 1 m de comprimento. Coloque uma conexão em T (25 mm) na extremidade do tubo permitindo que a água flua para o tanque de peixes e os canais (Figura 18).

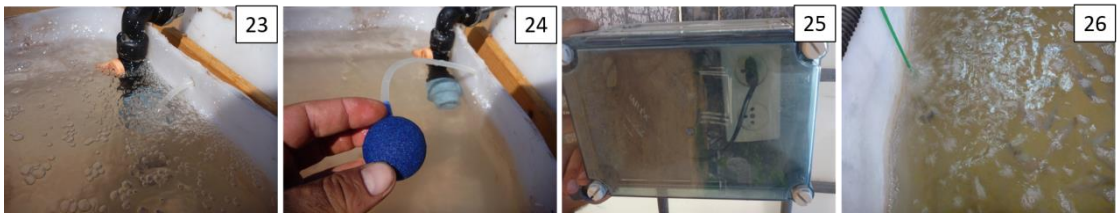
8.2 - Fixe um tubo (25 mm) em uma extremidade da conexão em T longo o suficiente para alcançar o tanque de peixes. Use tubo flexível, se possível, pois isso elimina a necessidade de conexões em cotovelo, que reduzem a capacidade de bombeamento da bomba (Figura 19). Conecte um registro (25 mm) na extremidade do tubo para controlar o fluxo de água para o tanque de peixes.

8.3 - A seguir, pegue uma mangueira de 3,5 m (25 mm) e fixe uma extremidade na saída restante da conexão em T (25 mm) que sai da bomba no biofiltro. Em seguida, pegue o tubo de 3,5 m e coloque-o ao longo dos canais DWC. Em cada canal, adicione um conector T (25 mm - ¾ pol. - 25 mm), um registro (¾ pol. macho - ¾ pol. fêmea) e um cotovelo de PVC (25 mm - ¾ pol. macho) permitindo que a água flua para cada canal em um ângulo (Figuras 20-22). No canal final mais distante do tanque de peixes, use um cotovelo de PVC (fêmea de 25 mm - ¾ pol.) em vez do conector T. Certifique-se de prender os tubos à estrutura de metal por meio de abraçadeiras de plástico.

9. INSTALANDO A BOMBA DE AR E AS PEDRAS

9.1 - Para esta unidade, a bomba de ar é usada para integrar o ar aos canais DWC. A bomba de ar deve ser colocada em um quadro protegido no ponto mais alto do sistema (de preferência fixada na lateral do tanque de peixes) (Figura 25). Pegue 4 a 6 m de tubo de ar de 8 mm. Prenda uma extremidade à bomba de ar e coloque o resto do tubo de 8 mm ao longo da lateral de todos os canais DWC. Em cada tanque, faça um orifício de 8 mm logo abaixo (1-2 cm) do topo e encaixe o tubo de 8 mm em cada orifício.

9.2 - Prenda as pedras de ar na tubulação de 8 mm e coloque-as próximas à entrada da corrente de água para garantir a saturação total de oxigênio no canal. Repita a mesma conexão do tubo de ar para o tanque de peixes (Figuras 23, 24 e 26).

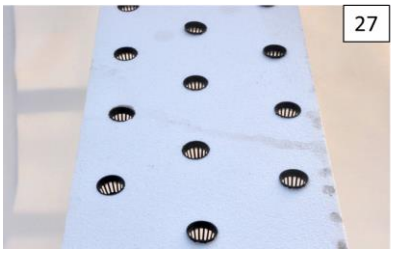


9.3 - Conecte os tubos à estrutura metálica com abraçadeiras plásticas.

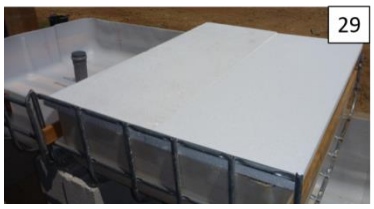
10. CONFECCIONANDO AS ‘JANGADAS’

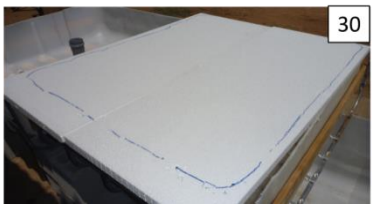
Princípios e regras básicas para fazer as estruturas flutuantes/‘jangadas’ de poliestireno (isopor):

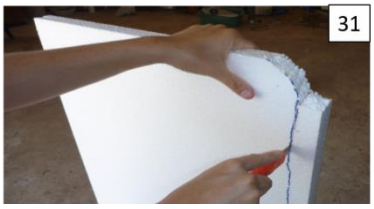
- Toda a água nos canais deve estar totalmente coberta (sem exposição à luz).
- Escolha folhas de poliestireno com pelo menos 3 cm de espessura para suportar o peso dos vegetais.
- O poliestireno não deve liberar toxinas para a água (certifique-se de que é seguro para a produção de alimentos ou de qualidade alimentar).
- O tamanho e o espaçamento das covas das plantas dependem do tipo de vegetais a serem plantados. O tamanho do buraco de plantio pode variar de 16 mm (para o plantio de mudas diretamente nas ‘jangadas’ sem copos [Figura 28]) a 30 mm. Isso depende do tamanho dos copos de rede disponíveis (Figura 27).



10.1 - Coloque as folhas de poliestireno (isopor) sobre os canais do DWC e marque as bordas. Com uma faca, corte-as de acordo com o contorno do canal (Figuras 29-31).







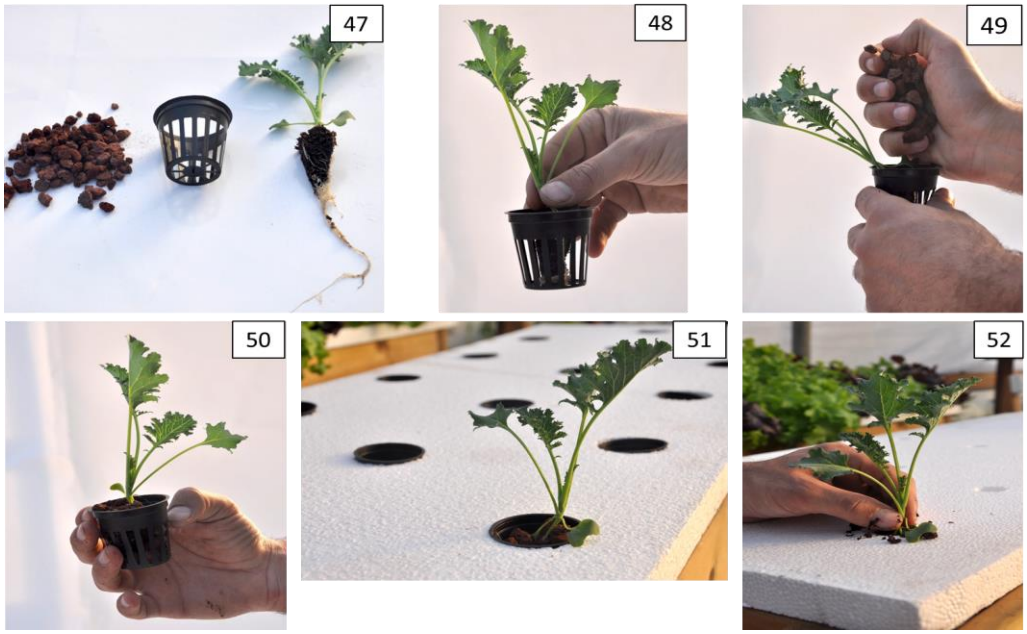
10.2 - Faça os furos para as plantas (Figuras 34 e 35) com uma broca circular (Figuras 36 e 37). Junto com os buracos de plantio, certifique-se de cortar um buraco para o tubo vertical de cada canal (Figuras 32 e 33).

11. VERIFICAÇÕES FINAIS

Depois que todas as partes do sistema estiverem no lugar, encha o tanque de peixes, os filtros e os canais DWC (Figuras 38-43) com água e ligue a bomba para verificar se há vazamentos no sistema. Se houver vazamentos, conserte-os imediatamente onde surgirem:

- Apertar as conexões do encanamento.
- Verificar todos os anéis de vedação e registros para ambos os filtros.
- Aplicar fita veda rosca (Teflon®) em todas as conexões roscadas.
- Certificar-se de que todas as válvulas estão em suas posições ideais.

Prenda todos os tubos restantes com abraçadeiras de plástico (Figuras 45-46).
Finalmente, verifique as taxas de fluxo da água em cada canal DWC. Sabendo que o volume de cada canal é de cerca de 300 L, a vazão ideal para cada canal deve ser de 75 a 300 L/h, de acordo com o tempo de residência de 1 a 4 h mencionado no Capítulo 4 desta publicação. O influxo de água pode ser medido usando um cronômetro e uma garrafa de plástico vazia de 1 L (Figura 44). A 75 L/h a garrafa de 1 L deve encher em 48 s, a 300 L/h em 12 s. Depois que todos os vazamentos forem corrigidos e a água estiver fluindo por todos os componentes da unidade, comece a ciclar a unidade usando amônia para estimular a colonização de bactérias nitrificantes (ver Capítulo 5).



Processo de plantio com copos (Figuras 47-51) e sem copos (Figura 52)

Sistema concluído.

Apostila de referência rápida sobre aquaponia

Nota: A seção abaixo reproduz os resumos dos capítulos da publicação sobre aquaponia da FAO (ver citação abaixo). Pretende ser um suplemento curto e fácil de reproduzir, idealizado para uso em educação, extensão e divulgação, e projetado para ser fornecido a estudantes, trabalhadores e agricultores.

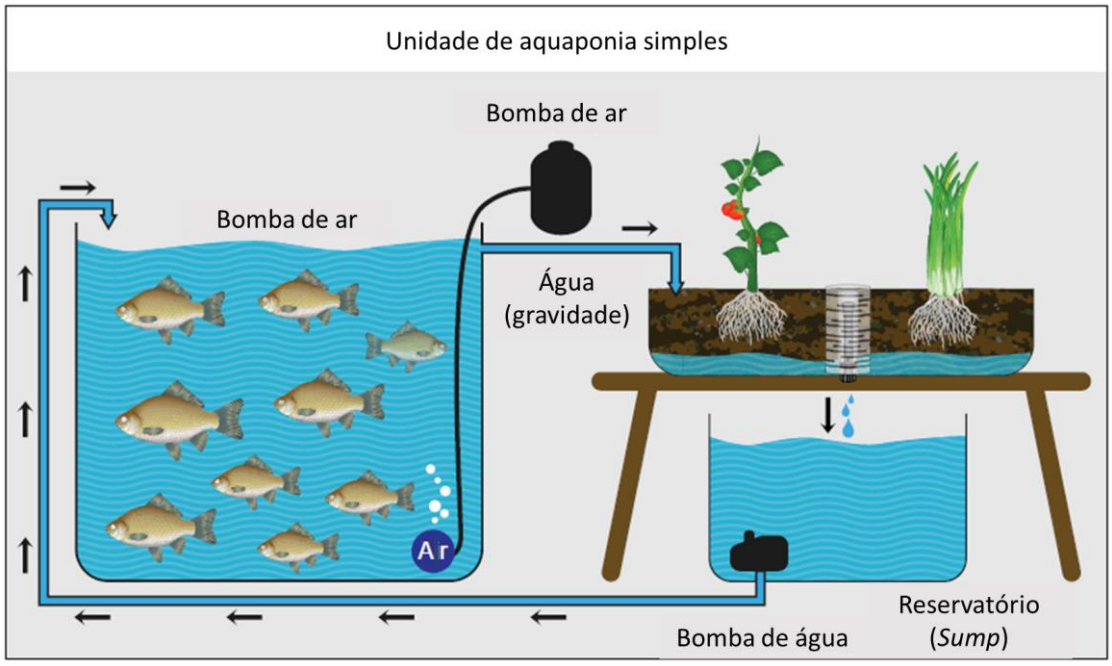
A publicação técnica completa (original em inglês) pode ser encontrada em: www.fao.org/publications/en. A tradução em português encontra-se em: www.agricultura.rs.gov.br/publicacoes.

Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. & Lovatelli, A. 2014. *Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming.* FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. N^{o}. 589. Rome, FAO. 262 pp.

INTRODUÇÃO À AQUAPONIA

Aquaponia é a integração do sistema de recirculação de aquicultura (RAS) e hidroponia em um sistema de produção. Em uma unidade aquapônica, a água do tanque de peixes passa por filtros, canteiros de plantas e depois volta para os peixes. Nos filtros a água é limpa dos dejetos dos peixes por um filtro mecânico que remove a parte sólida, e um biofiltro que processa os dejetos dissolvidos. O biofiltro fornece um local para as bactérias converterem amônia, que é tóxica para os peixes, em nitrato, um nutriente mais acessível para as plantas. Este processo é chamado de nitrificação. À medida que a água (contendo nitrato e outros nutrientes) percorre os canteiros de plantas, as plantas absorvem esses nutrientes e, finalmente, a água retorna 'purificada' ao tanque de peixes. Esse processo permite que peixes, plantas e bactérias prosperem simbioticamente e atuem juntos para criar um ambiente de crescimento saudável para o outro, desde que o sistema esteja adequadamente equilibrado. Embora a produção de peixes e hortaliças seja a produção mais visível das unidades aquapônicas, é essencial entender que a aquaponia é o manejo de um ecossistema completo que inclui três grandes grupos de organismos: peixes, plantas e bactérias.

Na aquaponia, o efluente da aquicultura é desviado para os canteiros e não liberado para o meio ambiente, ao mesmo tempo em que os nutrientes para as plantas são fornecidos de uma fonte sustentável, econômica e não química. Essa integração remove alguns dos fatores insustentáveis da operação de sistemas de aquicultura e hidropônicos de forma independente. Além dos benefícios derivados dessa integração, a aquaponia mostrou que suas produções de plantas e peixes são comparáveis com hidroponia e RASs. A aquaponia pode ser muito mais produtiva e economicamente viável em certas situações, especialmente onde a terra e a água são limitadas. No entanto, a aquaponia é complicada e requer custos iniciais substanciais. O aumento da produção deve compensar os maiores custos de investimento necessários para integrar os dois sistemas. Antes de se comprometer com um sistema grande ou caro, um plano de negócios completo considerando aspectos econômicos, aspectos ambientais, sociais e logísticos deve ser conduzido.



VANTAGENS E DESVANTAGENS DA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS EM AQUAPONIA

Principais benefícios da produção aquapônica de alimentos:

- Sistema de produção alimentar intensivo e sustentável.
- Dois produtos agrícolas (peixes e vegetais) são produzidos a partir de uma fonte de nitrogênio (ração para peixes).
- Extremamente eficiente em uso de água.
- Não requer solo.
- Não usa fertilizantes ou pesticidas químicos.
- Maiores produtividade e qualidade da produção.
- Manejo e produção similares a orgânicos.
- Maior nível de biossegurança e menores riscos de contaminantes externos.
- Maior controle da produção levando a menores perdas.
- Pode ser usado em terras não aráveis, como desertos; solos degradados ou salinos; lotes urbanos; e ilhas arenosas.
- Gera pouco resíduo.
- Tarefas diárias, colheita e plantio economizam mão de obra e, portanto, podem incluir todos os sexos e idades.
- Produção econômica da produção familiar de alimentos ou de safras comerciais em muitos locais.
- Pode ser construída de várias maneiras de acordo com os materiais disponíveis.

Principais desvantagens da produção aquapônica de alimentos:

- Custos iniciais de instalação caros em comparação com a produção em solo ou em hidroponia.
- É necessário conhecer sobre a produção de peixes, plantas e bactérias para que o produtor tenha sucesso.
- Os requerimentos de peixes e hortaliças nem sempre correspondem perfeitamente.

- Não recomendado em locais onde peixes e hortaliças não podem atingir suas faixas de temperatura ideais no cultivo/criação.
- Opções de manejo reduzidas em comparação com a aquicultura autônoma ou sistemas hidropônicos (sem pesticidas para as hortaliças, sem antibióticos para os peixes).
- Os erros ou acidentes podem causar um colapso catastrófico do sistema.
- O manejo diário é obrigatório.
- Dependente de energia.
- Requer acesso confiável à eletricidade, alevinos e sementes/mudas de plantas.
- Sozinhos, os produtos da aquaponia não fornecem uma dieta completa.

INTRODUÇÃO TÉCNICA

- Aquaponia é um sistema de produção que combina a piscicultura com a produção de vegetais sem solo em um sistema de recirculação.
- Bactérias nitrificantes convertem resíduos de peixes (amônia) em nutriente vegetal (nitrato).
- O mesmo processo de nitrificação que ocorre no solo também ocorre no sistema aquapônico.
- A parte mais importante da aquaponia, as bactérias, é invisível a olho nu.
- Os principais fatores para manter as bactérias saudáveis são a temperatura da água, o pH, o oxigênio dissolvido e a área de superfície específica adequada na qual as bactérias podem crescer.
- Os sistemas aquapônicos bem-sucedidos são equilibrados. A **proporção da taxa de arraçoamento** é a principal diretriz para equilibrar a quantidade de ração para peixes em relação à área de cultivo da planta, que é medida em gramas de ração diária por metro quadrado de área de cultivo da planta.
- A taxa de fornecimento de ração para cultivar hortaliças folhosas é de 20 a 50 g/m^2/dia; as hortaliças frutíferas requerem de 50 a 80 g/m^2/dia.
- O monitoramento diário da saúde dos peixes e das plantas fornece um feedback sobre o equilíbrio do sistema. Doenças, deficiências nutricionais e morte são os principais sintomas de um sistema desequilibrado.
- O teste semanal do nitrogênio fornecerá informações sobre o equilíbrio do sistema. Amônia ou nitrito alto indica biofiltração insuficiente; nitrato baixo indica muitas plantas ou peixes/ração insuficientes; aumentar o nitrato é desejável e indica nutrientes adequados para as plantas, embora a água precise ser trocada quando o nitrato for maior que 150 mg/L.

QUALIDADE DA ÁGUA NA AQUAPONIA

- A água é o ‘sangue vital’ de um sistema aquapônico. É o meio pelo qual as plantas recebem seus nutrientes e os peixes recebem seu oxigênio. É muito importante entender a qualidade da água e a química básica da água para gerenciar adequadamente a aquaponia.
- Existem cinco parâmetros-chave de qualidade da água para aquaponia: oxigênio dissolvido (OD), pH, temperatura da água, concentrações totais de nitrogênio e dureza (KH). Conhecer os efeitos de cada parâmetro em peixes, plantas e bactérias é crucial.
- São estipulados faixas/intervalos ideais para alguns parâmetros de qualidade da água para atender às necessidades de cada organismo em aquaponia.
- Os intervalos para cada parâmetro são os seguintes:

pH	6-7
Temperatura da água	18-30 °C
OD (oxigênio dissolvido)	5-8 mg/L
Amônia	0 mg/L
Nitrito	0 mg/L
Nitrato	5-150 mg/L
KH (dureza)	60-140 mg/L

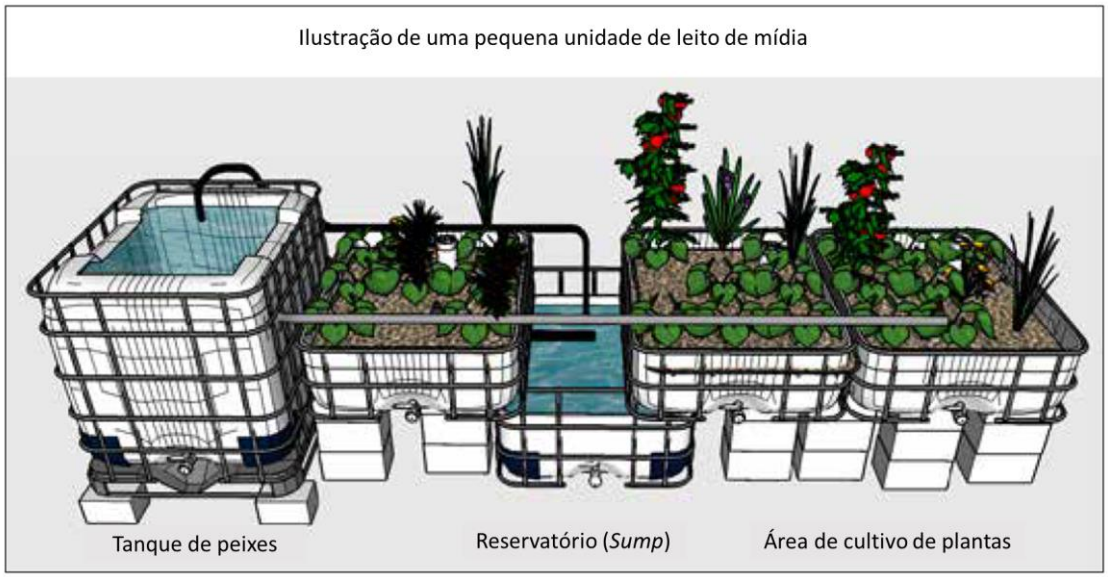
- Existem maneiras simples de ajustar o pH. As bases e, com menos frequência, os ácidos, podem ser adicionados em pequenas quantidades à água para aumentar ou diminuir o pH, respectivamente. Ácidos e bases devem sempre ser adicionados lenta, deliberada e cuidadosamente. A água da chuva pode ser usada alternativamente para permitir que o sistema abaixe naturalmente o pH por meio de bactérias nitrificantes que consomem a alcalinidade do sistema. O carbonato de cálcio do calcário, conchas do mar ou cascas de ovos aumentam a dureza (KH) e tamponam o pH contra a acidificação natural.
- Alguns aspectos da qualidade da água e do conhecimento da química da água necessários para a aquaponia podem ser complicados, em particular a relação entre pH e dureza, mas testes básicos da água são usados para simplificar o gerenciamento da qualidade da água.
- O teste de água é essencial para manter a boa qualidade da água no sistema. Teste e registre os seguintes parâmetros de qualidade da água a cada semana: pH, temperatura da água, nitrato e dureza de carbonato. Testes de amônia e nitrito devem ser usados especialmente na inicialização do sistema e se a mortalidade anormal de peixes levantar preocupações de toxicidade.

PROJETO DE UMA UNIDADE AQUAPÔNICA

- Os principais fatores ao decidir onde colocar uma unidade aquapônica são: estabilidade do solo; acesso à luz solar e sombra; exposição ao vento e chuva; disponibilidade de serviços (água, energia elétrica, insumos); e disponibilidade de uma estufa ou estrutura de sombreamento.
- Existem três tipos principais de aquaponia: o método de leito de mídia, também conhecido como leito de partículas; o método da técnica do filme de nutrientes (NFT); e o método de cultivo em águas profundas (DWC), também conhecido como método de ‘jangada’ ou sistema flutuante (*floating*).
- Os componentes essenciais para todas as unidades aquapônicas são: o tanque de peixes, a filtração mecânica e biológica, as unidades de cultivo de plantas (leitos de mídia, tubos NFT ou canais DWC) e as bombas de água/ar.
- Os leitos de mídia devem: (i) ser feitos de material inerte forte; (ii) ter uma profundidade de cerca de 30 cm; (iii) ser preenchidos com mídia contendo uma grande área de superfície específica; (iv) fornecer filtração mecânica e biológica adequada; (v) fornecer zonas separadas para o crescimento de diferentes organismos; e (vi) ser suficientemente úmido por meio de inundação e drenagem ou outras técnicas de irrigação para garantir uma boa filtração.

- Para unidades NFT e DWC, componentes mecânicos e de biofiltração são necessários para remover, respectivamente, os sólidos em suspensão e oxidar os resíduos dissolvidos (amônia em nitrato).
- Para unidades NFT, a taxa de fluxo para cada tubo de cultivo deve ser de 1 a 2 L/min. para garantir um bom crescimento das plantas.
- Para unidades DWC, cada canal deve ter um tempo de retenção de 1 a 4 h.
- A alta concentração de OD é essencial para garantir um bom crescimento de peixes, plantas e bactérias.

No tanque de peixes, o OD é fornecido por meio de pedras de ar. As unidades de leito de mídia têm uma interface entre a zona úmida e a zona seca que fornece alta disponibilidade de oxigênio atmosférico. Em unidades NFT, aeração adicional é fornecida para o biofiltro, enquanto em DWC as pedras de ar são posicionadas no biofiltro e nos canais das plantas.



BACTÉRIAS EM AQUAPONIA

- Na aquaponia, a amônia deve ser oxidada em nitrato para prevenir a toxicidade aos peixes.
- O processo de nitrificação é um processo bacteriano de duas etapas em que bactérias oxidantes de amônia convertem amônia (NH_3) em nitrito (NO_2^-) e, em seguida, as bactérias oxidantes de nitrito convertem nitrito em nitrato (NO_3^-).
- Os cinco fatores mais importantes para uma boa nitrificação são: mídias com grande área de superfície específica para as bactérias crescerem e colonizarem; pH (6-7); temperatura da água (17-34 °C); OD (4-8 mg/L); cobertura contra exposição direta à luz solar.
- A ciclagem do sistema é o processo inicial de construção de uma colônia de bactérias nitrificantes em uma nova unidade aquapônica. Este processo de três a cinco semanas envolve a adição de uma fonte de amônia ao sistema (ração para peixes, fertilizante à base de amônia, até uma concentração em água de 1 a 2 mg/L) para estimular o crescimento de bactérias nitrificantes. Isso deve ser feito de forma lenta e consistente. Amônia, nitrito e nitrato são monitorados para determinar o status do biofiltro: o pico e a queda subsequente de amônia são seguidos por um padrão semelhante de nitrito antes que o nitrato comece a se

acumular. Peixes e plantas são adicionados apenas quando os níveis de amônia e nitrito estão baixos e o nível de nitrato começa a aumentar.

- Testes de amônia e nitrito são usados para monitorar a função das bactérias nitrificantes e o desempenho do biofiltro. Em um sistema em pleno funcionamento, a amônia e o nitrito devem ser próximos a 0 mg/L. Altos níveis de amônia ou nitrito requerem uma mudança de água e ação de manejo. Normalmente, a má nitrificação é devida a uma mudança na temperatura da água, níveis de OD ou pH.
- Outra classe de microrganismos que ocorrem naturalmente na aquaponia é a das bactérias heterotróficas. Elas decompõem os resíduos sólidos de peixes, liberando alguns dos nutrientes na água em um processo chamado mineralização.

PLANTAS EM AQUAPONIA

- As principais vantagens da aquaponia sobre a agricultura em solo são:

(i) nenhum fertilizante desperdiçado;
(ii) menor uso de água;
(iii) maior produtividade/qualidade;
(iv) capacidade de utilizar terras não-aráveis; e
(v) substituição de revolvimento de solo, capina e outras tarefas agrícolas tradicionais.

- As plantas precisam de luz solar, ar, água e nutrientes para crescer. Os macronutrientes essenciais incluem: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre; Os micronutrientes incluem ferro, zinco, boro, cobre, manganês e molibdênio. As deficiências precisam ser tratadas fornecendo os nutrientes limitantes com fertilizantes suplementares.
- O parâmetro de qualidade da água mais importante para as plantas é o pH, pois afeta a disponibilidade de nutrientes essenciais.
- A faixa de temperatura adequada para a maioria das hortaliças é de 18 a 26 °C, embora muitas sejam sazonais. As hortaliças de inverno requerem temperaturas de 8 a 20 °C e as de verão requerem temperaturas de 17 a 30 °C.
- Ervas e hortaliças folhosas se dão muito bem em aquaponia. Hortaliças grandes frutíferas também são aplicáveis, incluindo tomates, pimentões, berinjela e pepinos, ervilhas e feijões. Raízes e tubérculos são cultivados com menos frequência e requerem atenção especial.
- A produção integrada e o manejo de pragas e doenças usa práticas físicas, mecânicas e culturais para minimizar pragas e patógenos e, em seguida, usa tratamento químico e biológico seguro para peixes em aplicações específicas, quando necessário.
- O projeto de plantio inteligente pode maximizar o espaço, estimular insetos benéficos e melhorar a produção.
- O plantio escalonado fornece colheita contínua, bem como uma absorção constante de nutrientes e qualidade da água mais consistente.

PEIXES EM AQUAPONIA

- São recomendados *pellets* de ração industrializada e padronizada para peixes para uso em aquaponia, pois é um alimento completo, contendo o equilíbrio correto de proteínas, carboidratos, gorduras, vitaminas e minerais necessários para os peixes.

- A proteína é o componente mais importante para a construção da massa corporal dos peixes. Os peixes onívoros, como a tilápia e a carpa comum, precisam de cerca de 32 % de proteína em sua dieta, os peixes carnívoros precisam de mais.
- Nunca alimente os peixes em excesso e remova a ração não consumida após 30 minutos para reduzir os riscos de toxicidade por amônia ou sulfeto de hidrogênio.
- Deve ser mantida a qualidade da água para os peixes. A amônia e o nitrito devem ser próximos a 0 mg/L, pois são tóxicos em qualquer nível detectável. O nitrato deve ser inferior a 400 mg/L. O OD deve ser de 4 a 8 mg/L.
- A tilápia, a carpa e o bagre são altamente adequados para aquaponia em condições tropicais ou áridas, pois crescem rapidamente e podem sobreviver em água de baixa qualidade e em níveis mais baixos de OD. As trutas crescem bem em água fria, mas requerem água de melhor qualidade.
- A saúde dos peixes deve ser monitorada diariamente e o estresse deve ser minimizado. A má qualidade da água e/ou alteração, superlotação e distúrbios físicos podem causar estresse, o que pode levar a surtos de doenças.
- Anormalidades ou mudanças no comportamento físico podem indicar estresse, má-qualidade da água, parasitas ou doenças. Reserve um tempo para observar e monitorar os peixes a fim de reconhecer os sintomas precocemente e fornecer tratamento.

EQUILÍBRIO DE PEIXES E PLANTAS: CÁLCULO DOS COMPONENTES

Os sistemas aquapônicos precisam ser equilibrados. Os peixes (e, portanto, a alimentação/ração dos peixes) precisam fornecer nutrientes adequados às plantas; o número de plantas deve ser adequado para aproveitar todos os nutrientes liberados, mas não em excesso para evitar qualquer risco de deficiências. O biofiltro precisa ser grande o suficiente para processar todos os resíduos de peixes e é necessário um volume de água suficiente para circular este sistema. Esse equilíbrio pode ser difícil de atingir em um novo sistema, mas esta seção fornece cálculos úteis para estimar os tamanhos de cada um dos componentes.

A maneira mais bem-sucedida de equilibrar um sistema aquapônico é usar a taxa de alimentação descrita na Seção 2.1.4 desta publicação. Essa proporção é o cálculo mais importante para a aquaponia, de modo que os peixes e as plantas possam prosperar simbioticamente dentro do ecossistema aquapônico.

A proporção estima a quantidade de alimento para peixes que deve ser adicionada ao sistema a cada dia e é calculada com base na área disponível para o crescimento da planta. Essa proporção depende do tipo de planta que está sendo cultivada; hortaliças frutíferas requerem cerca de um terço a mais de nutrientes do que as folhosas para garantir o desenvolvimento de flores e frutos. O tipo de ração também influencia a taxa de alimentação, e todos os cálculos fornecidos aqui assumem uma ração industrializada padrão para peixes com 32 % de proteína. Rações com menor teor de proteína podem ser fornecidas em taxas mais altas.

Hortaliças folhosas	Hortaliças frutíferas
40-50 g de ração para peixes por m^2	50-80 g de ração para peixes por m^2

A primeira etapa recomendada no cálculo é determinar quantas plantas são necessárias. As hortaliças são provavelmente a parte mais lucrativa na aquaponia em pequena escala devido sua alta taxa de rotatividade. Em média, as hortaliças podem ser cultivadas na seguinte densidade de plantio. Esses números são apenas médias e

muitas variáveis existem dependendo do tipo de hortaliça e do tamanho na colheita e, portanto, devem ser usados apenas como diretrizes.

Hortaliças folhosas	Hortaliças frutíferas
20-25 plantas por m^2	4 plantas por m^2

Escolha a quantidade de área de cultivo necessária usando a métrica acima (folhosas *vs*. frutíferas). A área de superfície deve ser escolhida pelo produtor para atender às metas de mercado ou de produção de alimentos. Isso também depende da cultura, pois algumas plantas requerem mais espaço e crescem mais devagar do que outras. Uma vez escolhido o número de plantas desejado, é possível determinar a quantidade de área de cultivo necessária e, consequentemente, a quantidade de ração que deve ser adicionada ao sistema todos os dias.

Uma vez que a quantidade de ração para peixes foi calculada, é possível determinar a biomassa dos peixes necessária para comer esta ração. Peixes de tamanhos diferentes têm requisitos e regimes alimentares diferentes, o que significa que muitos peixes pequenos consomem tanto quanto alguns peixes grandes. Em termos de equilíbrio de uma unidade aquapônica, o número real de peixes não é tão importante quanto a biomassa total de peixes no tanque. Em média, os peixes consomem 1 a 2 % de seu peso corporal por dia durante o estágio de crescimento, o que corresponde a uma massa corporal acima de 50 g. Em contrapartida, os peixes pequenos ou juvenis consomem mais do que os grandes, como porcentagem do peso corporal.

Taxa de alimentação de peixes
1-2 % do peso corporal total por dia

O exemplo a seguir demonstra como conduzir este conjunto de cálculos: Para produzir 25 cabeças de alface por semana, um sistema aquapônico deve ter de 10 a 20 kg de peixes, alimentados com 200 g de ração por dia e ter uma área de cultivo de 4 m^2. Os cálculos são os seguintes:

A alface requer 4 semanas para crescer uma vez que as mudas são transplantadas para o sistema e 25 cabeças por semana são colhidas, portanto:

25 cabeças/semana × 4 semanas = 100 cabeças no sistema

Cada 25 cabeças de alface requerem 1 m^2 de espaço de cultivo, portanto:

$$100 \text{ cabeças} \times \frac{1 \text{ m}^2}{25 \text{ cabeças}} = 4 \text{ m}^2$$

Cada metro quadrado de espaço de cultivo requer 50 g de ração para peixes por dia, portanto:

$$4 \text{ m}^2 \times \frac{50 \text{ g ração/dia}}{1 \text{ m}^2} = 200 \text{ g de ração/dia}$$

O peixe (biomassa) em um sistema consome 1-2 % do seu peso corporal por dia, portanto:

$$200 \text{ g de ração/dia} \times \frac{100 \text{ g de peixe}}{1\text{-}2 \text{ g de ração/dia}} = 10\text{-}20 \text{ kg de biomassa de peixe}$$

Embora extremamente útil, essa proporção alimentar é realmente apenas um guia, especialmente para unidades de pequena escala. Existem muitas variáveis

envolvidas com esta proporção, incluindo o tamanho e tipo de peixe, temperatura da água, conteúdo de proteína da ração e demandas de nutrientes das plantas, que podem mudar significativamente durante a estação/época de crescimento. Essas mudanças podem exigir que o agricultor ajuste a taxa de alimentação. Testar a água para nitrogênio ajuda a determinar se o sistema permanece em equilíbrio. Se os níveis de nitrato forem muito baixos (menos de 5 mg/L), aumente lentamente a taxa de alimentação por dia sem alimentar os peixes em excesso. Se os níveis de nitrato forem estáveis, pode haver deficiências em outros nutrientes e pode ser necessária suplementação especialmente para cálcio, potássio e ferro. Se os níveis de nitrato estiverem aumentando, trocas ocasionais de água serão necessárias caso o nitrato suba acima de 150 mg/L. O aumento dos níveis de nitrato sugere que a concentração de outros nutrientes essenciais está adequada.

Guia prático de design de um sistema para unidades aquapônicas de pequena escala

Volume do tanque de peixes (L)	**Biomassa máxima de peixes[1] (kg)**	**Taxa de arraçoa-mento[2] (g/dia)**	**Vazão da bomba (L/h)**	**Volume de filtros[3] (L)**	**Volume mínimo de mídia biofiltrante[4] (L)**		**Área de cultivo de plantas[5] (m^2)**
					Tufo vulcânico	**Bioballs®**	
200	5	50	800	20	50	25	1
500	10	100	1.200	20-50	100	50	2
1.000	20	200	2.000	100-200	200	100	4
1.500	30	300	2.500	200-300	300	150	6
2.000	40	400	3.200	300-400	400	200	8
3.000	60	600	4.500	400-500	600	300	12

Notas:

1. A densidade de peixes recomendada baseia-se numa densidade máxima de 20 kg/1.000 L. Densidades mais altas são possíveis com mais aeração e filtragem mecânica, mas isso não é recomendado para iniciantes.
2. A taxa de alimentação recomendada é de 1 % do peso corporal por dia para peixes com mais de 100 g de massa corporal. A proporção da taxa de alimentação é: 40-50 g/m^2 para hortaliças folhosas; e 50-80 g/m^2 para hortaliças frutíferas.
3. Os volumes para separador mecânico e biofiltro devem ser de 10 a 30 % do volume total do tanque de peixes. Na realidade, a escolha dos contêineres depende de seu tamanho, custo e disponibilidade. Biofiltros são necessários apenas para unidades NFT e DWC; os separadores mecânicos são aplicáveis para unidades NFT, DWC e unidades de leito de mídia com uma densidade de peixes superior a 20 kg/1.000 L.
4. Esses números assumem que as bactérias estão em condições ideais o tempo todo. Caso contrário, por um determinado período (inverno), pode ser necessário adicionar mídias de filtração extras como um

tampão. Valores diferentes são fornecidos para as duas mídias de biofiltro mais comuns com base em suas respectivas áreas de superfície específicas.
5. Os valores relativos ao espaço de cultivo das plantas incluem apenas as hortaliças folhosas. Hortaliças frutíferas teriam uma área um pouco menor.

TÓPICOS ADICIONAIS EM AQUAPONIA

- Extrato de composto pode ser usado para suplementar nutrientes para as plantas e ser produzido em pequena escala pela compostagem de resíduos vegetais.
- Alimentos alternativos e suplementares para peixes podem ser cultivados e produzidos em pequena escala, incluindo lentilha-d'água, *Azolla* spp., insetos e moringa.
- As sementes podem ser coletadas e armazenadas usando técnicas simples para reduzir os custos de nova propagação.
- A coleta e o armazenamento de água potável fornecem uma maneira econômica de reabastecer a água do sistema aquapônico.
- Devem ser empregados métodos de diluição e segurança contra falhas para evitar eventos catastróficos de perda de água que podem matar os peixes.
- A água proveniente do sistema aquapônico pode ser usada para fertilizar e irrigar outras atividades de jardinagem.
- Existem outros tipos e métodos além dos exemplos descritos nesta publicação.

DEZ PRINCIPAIS DIRETRIZES PARA O SUCESSO DA AQUAPONIA

- Observe e monitore o sistema todos os dias.
- Assegure aeração adequada e circulação de água com bombas de água e bombas de ar.
- Mantenha uma boa qualidade da água: pH 6-7; OD > 5 mg/L; NAT > 1 mg/L; NO_2^- < 1 mg/L; NO_3^- 5-150 mg/L; temperatura 18-30 °C.
- Escolha peixes e plantas de acordo com o clima da estação.
- Não superlotar os tanques de peixes (< 20 kg/1.000 L).
- Evite alimentar em excesso e remova qualquer ração não consumida após 30 minutos de ofertada.
- Remova os resíduos sólidos e mantenha os tanques limpos e sombreados.
- Equilibre o número de plantas, peixes e o tamanho do biofiltro.
- Escalonar a colheita e o reabastecimento/replantio para manter o equilíbrio.
- Não deixe que os agentes patogênicos entrem no sistema vindos de pessoas ou animais e não contamine os produtos deixando a água do sistema molhar as folhas.

Aquaponia é uma integração simbiótica de dois temas consolidados – aquicultura e hidroponia. Esta publicação técnica discute os três grupos de organismos vivos (bactérias, plantas e peixes) que compõem o ecossistema aquapônico. Apresenta estratégias de manejo e práticas de solução de problemas, bem como tópicos relacionados, destacando especificamente as vantagens e desvantagens deste método de produção de alimentos.

Esta publicação discute os principais conceitos teóricos da aquaponia, incluindo o ciclo do nitrogênio, o papel das bactérias e o conceito de equilíbrio de uma unidade aquapônica. O texto inclui qualidade da água, testes e insumos para aquaponia, bem como métodos e teorias de projetos de unidades, incluindo os três principais métodos de sistemas aquapônicos: leitos de mídia, técnica do filme de nutrientes e cultivo em águas profundas.

A publicação inclui outros tópicos importantes: condições ideais para plantas comuns cultivadas em aquaponia; controles químicos e biológicos de pragas e doenças comuns, incluindo um guia de plantio compatível; doenças comuns em peixes e sintomas relacionados, causas e tratamentos; ferramentas para calcular a amônia produzida e a mídia de biofiltração necessária para certa quantidade de ração para peixes; produção caseira de ração para peixes; diretrizes e considerações para o estabelecimento de unidades aquapônicas; uma análise custo-benefício de uma unidade aquapônica de leito de mídia de pequena escala; um guia completo para a construção de versões em pequena escala de cada um dos três métodos aquapônicos; e um breve resumo desta publicação elaborado como uma apostila suplementar para divulgação, extensão e educação.

Aquaponia é uma abordagem integrada para a intensificação eficiente e sustentável da agricultura que atende às necessidades de iniciativas para a escassez de água. Globalmente, são necessárias práticas agrícolas aprimoradas para aliviar a pobreza rural e aumentar a segurança alimentar. Aquaponia é uma técnica que economiza mão de obra e pode ser inclusiva de muitos gêneros e idades. Diante do crescimento populacional, das mudanças climáticas e da diminuição das reservas de água e terras aráveis em todo o mundo, o desenvolvimento de técnicas agrícolas eficientes e integradas apoiará o desenvolvimento econômico.