

MANUAL DE
AQUAPONIA
DA UFGD

RODRIGO APARECIDO JORDAN





MANUAL DE
AQUAPONIA
DA UFGD

RODRIGO APARECIDO JORDAN

UFGD
editora
2022

Equipe EdUFGD

Coordenação editorial:

Giovani Ferreira Bezerra

Divisão de administração e finanças:

Givaldo Ramos da Silva Filho,
Rafael Todescato Cavalheiro

Divisão de editoração:

Brainner de Castro Lacerda,
Cynara Almeida Amaral Piruk,
Maurício Lavarda do Nascimento,
Rosalina Dantas da Silva,
Wanessa Gonçalves Silva
e-mail: editora@ufgd.edu.br

A presente obra foi aprovada de acordo com
o Edital n. 01/2020/EDUFGD.

Editora filiada à:



Gestão 2019-2021

Universidade Federal da Grande Dourados

Reitora pro tempore:

Mirlene Ferreira Macedo Damázio

Vice-Reitor pro tempore:

Luciano Oliveira Geisenhoff

Conselho editorial:

Giovani Ferreira Bezerra
Luciano Oliveira Geisenhoff
Maria Aparecida Farias de Souza Nogueira
Eudes Fernando Leite
Bruno Boti Bernardi
Eliane Souza de Carvalho
Gustavo de Souza Preussler

Revisão:

Cynara Almeida Amaral Piruk e
Wanessa Gonçalves Silva

Projeto gráfico, diagramação e capa:

Brainner de Castro Lacerda
João Gabriel Pereira Pimentel

Impressão e acabamento:

GDD Editora Gráfica Eireli

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

639.89 J82m	Jordan, Rodrigo Aparecido. Manual de aquaponia da UFGD [recurso eletrônico]. / Rodrigo Aparecido Jordan. – Dourados, MS: UFGD, 2022. 150p. Disponível em: https://omp.ufgd.edu.br/omp/index.php/livrosabertos/catalog ISBN: 978-85-8147-187-7 (e-book) 1. Aquicultura. 2. Recirculação. 3. Integração de sistemas. 4. Produção vegetal. I. Título.
----------------	---

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD
©Todos os direitos reservados. Permitida a publicação parcial desde que citada a fonte.

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, e a todas as instituições e empresas, aos pesquisadores, técnicos, funcionários e alunos que colaboraram para o Projeto de Aquaponia da UFGD.



SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....07

INTRODUÇÃO.....09

CAPÍTULO 1 - HISTÓRICO DO PROJETO NA UFGD.....11

CAPÍTULO 2 - SISTEMAS DE AQUAPONIA MONTADOS NA UFGD.....17

CAPÍTULO 3 - REQUISITOS DE UM SISTEMA DE AQUAPONIA.....55

CAPÍTULO 4 - DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA AQUAPÔNICO.....85

CAPÍTULO 5 - CULTIVO DE VEGETAIS NO SISTEMA.....125

CONSIDERAÇÕES FINAIS.....145

REFERÊNCIAS.....147

APRESENTAÇÃO

Tendo em vista o interesse despertado pela aquaponia nos últimos anos e a velocidade com a qual as informações se propagam pela internet, após a divulgação de matérias e vídeos sobre o Projeto de Aquaponia da UFGD, houve uma procura muito grande por informações. Pessoas de todo o Brasil e até mesmo do exterior passaram a procurar a equipe do projeto e a visitar a Área Experimental de Aquaponia da UFGD em busca de informações para construir seus sistemas. Dessa demanda, surgiu a cobrança por um material organizado de forma simples e direta, de fácil entendimento, e que fornecesse informações sobre os sistemas montados e o seu funcionamento.

Com o objetivo de atender a essa demanda, este manual foi pensado para fornecer um conjunto de informações básicas e confiáveis para leigos, estudantes, pesquisadores e profissionais que desejam ingressar nessa área e utilizar a técnica. Ao mesmo tempo, este manual é um histórico, uma coletânea de dados de trabalhos realizados desde 2008, com o início na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), os quais continuaram, a partir de 2012, na Faculdade de Ciência Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), passando pela criação da Área Experimental de Aquaponia da UFGD em 2014, até o encerramento do projeto em 2018.

Embora o projeto tenha sido encerrado naquele ano, a Área Experimental de Aquaponia da UFGD segue sob responsabilidade do curso de Engenharia de Aquicultura da universidade, consolidando a importância do espaço e das atividades nele desenvolvidas para essa área de estudo e para a comunidade acadêmica. E este manual é uma forma de immortalizar o belo trabalho realizado durante o período do projeto e mostrar o pioneirismo da UFGD quanto ao assunto no Brasil.

O projeto da Área Experimental de Aquaponia da UFGD contou com a valorosa contribuição dos seguintes profissionais, a quem cito aqui com muito respeito e gratidão: João Dimas Graciano (*in memoriam*), Damião Duque de Farias, Alzira Salete Menegat, Luiz Carlos Ferreira de Souza, Fabrício Correia de Oliveira, Rodrigo Couto Santos, Luciano Oliveira Geisenhoff, José Carlos Nogueira, Andres Hideki Tanaka Suarez, Evaldo Fernandes Ribeiro, Luiz Paulo Pin-

to, José Carlos Sorgato e Elton Bruno Giordano. Esperamos que o conteúdo aqui apresentado sirva não só de inspiração, mas como uma ferramenta realmente útil para os interessados em aquaponia.

Prof. Rodrigo A. Jordan

INTRODUÇÃO

A aquaponia é a integração entre a produção superintensiva de peixes e a produção de vegetais e hortaliças (MEDINA *et al.*, 2016). Trata-se de um ambiente simbiótico onde os vegetais atuam como filtro biológico, removendo os elementos necessários para o seu crescimento e, em contrapartida, melhorando a qualidade da água para os peixes (GEISENHOFF *et al.*, 2016; JORDAN *et al.*, 2018b).

Um dos grandes apelos da aquaponia é a otimização de recursos, principalmente de água, o que permite sua implantação em locais com pouca disponibilidade, promovendo o desenvolvimento da piscicultura mesmo no centro de uma grande cidade ou numa região desértica (DEDIU; CRISTEA; XIAOSHUAN, 2012; GRABER; JUNGE, 2009). O volume de água usado pela aquaponia é menor do que um centésimo do utilizado num sistema convencional, e, além disso, na aquaponia, há a redução na geração de resíduos (ALKHALIDI; KHAWAJA; ABUSUBAIH, 2020). É possível integrar sistemas de cultivo em solo para o aproveitamento do resíduo sólido gerado, minimizando e até mitigando o descarte de matéria orgânica para o meio ambiente. Toda a matéria orgânica gerada pode ser aproveitada para a produção de vegetais.

Por se tratar de um ambiente simbiótico, deve haver um bom equilíbrio entre a quantidade de peixes e de plantas no sistema, além de parâmetros como pH, temperatura e oxigenação, a fim de que o ambiente seja favorável tanto para os peixes quanto para as plantas. Nesse tipo de sistema, é difícil trabalhar com uma condição que seja exatamente ideal para os animais ou para as plantas, mas busca-se um ponto de equilíbrio que seja benéfico para ambos.

A aquaponia requer uma boa concentração de nutrientes na água, por isso os sistemas superintensivos são preferidos, pois neles a densidade de peixes é superior a vinte vezes a utilizada nos sistemas intensivos (tanques escavados). Assim, a concentração de nutrientes na água é muito maior. Uma boa oferta de nutrientes dependerá de uma boa relação entre o número de plantas e o número de peixes. Para isso, as bases para um bom dimensionamento são necessárias, e apresentá-las é o objetivo deste manual.

CAPÍTULO

≈ 1 ≈

HISTÓRICO DO PROJETO NA UFGD



Na China, existem relatos de mais de dois mil anos da combinação de cultivo de plantas e peixes. Na década de 1970, houve o relato do primeiro sistema com o cultivo sem solo, resultante da integração de sistemas hidropônicos com tanques de criação de peixe, marcando o início da aquaponia moderna (PALM *et al.*, 2018). A partir da década de 1990, a aquaponia ganhou visibilidade com os sistemas projetados pelo professor James Rakocy no Southern Regional Aquaculture Center (SRAC), na Carolina do Sul, Estados Unidos (LOSORDO; MASSER; RAKOCY, 1998; MASSER; RAKOCY; LOSORDO, 1999; RAKOCY; MASSER; LOSORDO, 2006). No Brasil, a técnica ainda é recente e, por isso, ainda existe certa carência de informações sobre o assunto.

A história do nosso trabalho com aquaponia começa na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) em 2008, com a montagem de um sistema de criação intensiva com recirculação para a criação de tilápias e trutas em condição de temperatura controlada (Figura 1).

Figura 1 – Sistema de criação intensiva montado na Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp em 2008.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Em dado momento, a concentração de amônia do tanque de tilápias começou a subir para níveis perigosos, pois o filtro biológico, composto de uma pequena caixa de fibra de 250 litros preenchida com pedra brita, não estava sendo suficiente. De maneira quase instintiva, pois ao lado onde o sistema estava montado havia um experimento com filtros rizosféricos, surgiu a ideia de introduzir plantas no filtro biológico. Então, foram introduzidas algumas mudas de tomate. A concentração de amônia não diminuiu, pois, o filtro era muito precário, mas os tomateiros se desenvolveram bem. O problema com a amônia só foi resolvido depois, com a instalação de mais um filtro biológico.

Antes mesmo de saber que isso era aquaponia, surgiu a ideia que mais tarde seria empregada no sistema implantado na Faculdade de Ciência Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) em 2012 (Figura 2). Esse sistema foi montado numa pequena estufa de 100 m², construída de forma bem rústica, com eucalipto roliço, onde foram alocadas 10 caixas circulares de fibra, com 500 L cada, que serviam como tanque de criação de peixes. O sistema de decantação e os filtros biológicos eram bastante rústicos e operavam com certa precariedade. A aquaponia empregada nesse sistema, na época chamada de indireta ou paralela, atualmente passou a ser conhecida como dissociada. Mais à frente serão explicadas as diferenças entre aquaponia associada e dissociada.

Figura 2 – Sistema de aquaponia dissociada montado na Faculdade de Ciências Agrárias da UFGD em 2012.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Voltando a atenção para a descrição do sistema montado, a bancada de produção vegetal não ficava em contato com a água dos tanques de criação e, sim, era utilizada como tratamento da água residual das descargas de tanques e na limpeza de filtros e do decantador para posterior aproveitamento no sis-

tema. Antes, porém, a água residual, com elevado teor de sólidos, passava por um biodigestor, o qual tinha o objetivo principal de reduzir o teor de sólidos, solubilizando os nutrientes. O biofertilizante resultante da biodigestão era, então, misturado com a fração mais leve da água residual e utilizado como solução nutritiva numa bancada de produção vegetal com cerca de 225 pés de alface (Figura 3). Ao que se tem notícia, pelo menos em contexto brasileiro, esse também foi o primeiro sistema a utilizar um biodigestor integrado à aquaponia. Os resultados foram muito satisfatórios e os trabalhos nessa estufa seguiram até 2014.

Figura 3 – Alface cultivada no primeiro sistema de aquaponia da UFGD.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

A partir de reportagem televisiva feita em 2012 nesse sistema, e que se espalhou pela internet, houve uma grande procura por informações, o que gerou a demanda de continuação e ampliação do projeto. Foi então que a UFGD cedeu o espaço e deu apoio para a criação da Área Experimental de Aquaponia da UFGD (figuras 4 e 5), que funcionou até 2018, onde foram montados sistemas em escalas diferentes com o objetivo de adaptar a técnica às condições do clima local e difundir a aquaponia. A maior parte das informações apresentadas neste manual

vem dos trabalhos de pesquisa realizados na Área Experimental de Aquaponia da UFGD (JORDAN *et al.*; 2013; GEISENHOFF *et al.*, 2016; JORDAN *et al.*, 2018a; JORDAN *et al.*, 2018b; JORDAN *et al.*, 2020a; JORDAN *et al.*, 2020b), os quais foram embasados nos trabalhos desenvolvidos pelo Southern Regional Aquaculture Center (SRAC) (LOSORDO; MASSER; RAKOCY, 1998; MASSER; RAKOCY; LOSORDO 1999; RAKOCY; MASSER; LOSORDO, 2006).

Figura 4 – Área Experimental de Aquaponia da UFGD: tanque externo e estufas.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 5 – Entrada da Área Experimental de Aquaponia da UFGD.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

CAPÍTULO

≈ 2 ≈

SISTEMAS DE AQUAPONIA MONTADOS NA UFGD

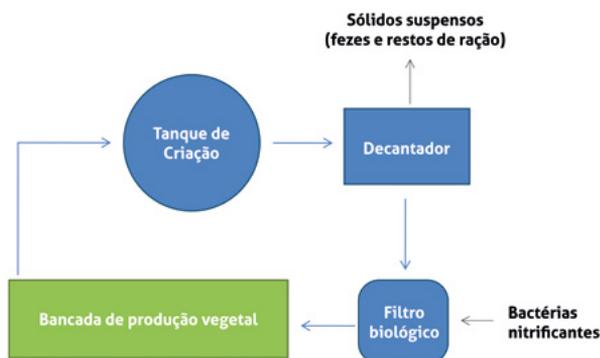


O primeiro estágio do sistema de aquaponia deve ser a decantação. Não é o dejetos sólido que vai nutrir as plantas, mas, sim, os nutrientes solúveis. O envio de água bruta, sem decantar, para a bancada de produção vegetal faz os dejetos aderirem às raízes, criando uma barreira para a absorção de nutrientes e provocando o subdesenvolvimento das raízes e das plantas. Além disso, se a água sem decantar for dirigida diretamente para um leito com brita, vai causar entupimento e a sua inutilização em pouco tempo, cerca de um ou dois meses. Por isso, assim que a água sai dos tanques de criação, ela deve passar primeiramente por um decantador para a remoção dos sólidos em suspensão.

Outro elemento importante, mas que alguns projetos de aquaponia consideram desnecessário, é o filtro biológico. É certo que as raízes das plantas vão constituir elementos de fixação de bactérias convertedoras de amônia em nitrato, porém, mesmo assim, não se deve desprezar esse elemento, pois é uma segurança, caso a população de plantas oscile muito por algum problema de produção, contra doenças, pragas, etc. Ademais, o filtro biológico não consome os nutrientes, apenas faz a conversão em formas não tóxicas para os peixes e mais assimiláveis pelas plantas, é o caso da conversão da amônia em nitrito e nitrato pelas bactérias nitrificantes.

Então, na sequência que utilizamos em nossos sistemas (Figura 6), o próximo elemento é a bancada de produção vegetal. Assim, todos os elementos são dispostos na seguinte ordem: tanque de criação, decantador, filtro biológico e bancadas de produção vegetal. Da bancada de produção vegetal, a água retorna para os tanques de criação.

Figura 6 – Componentes básicos de um sistema de aquaponia associado ou sem série.



Fonte: Elaborada pelo autor.

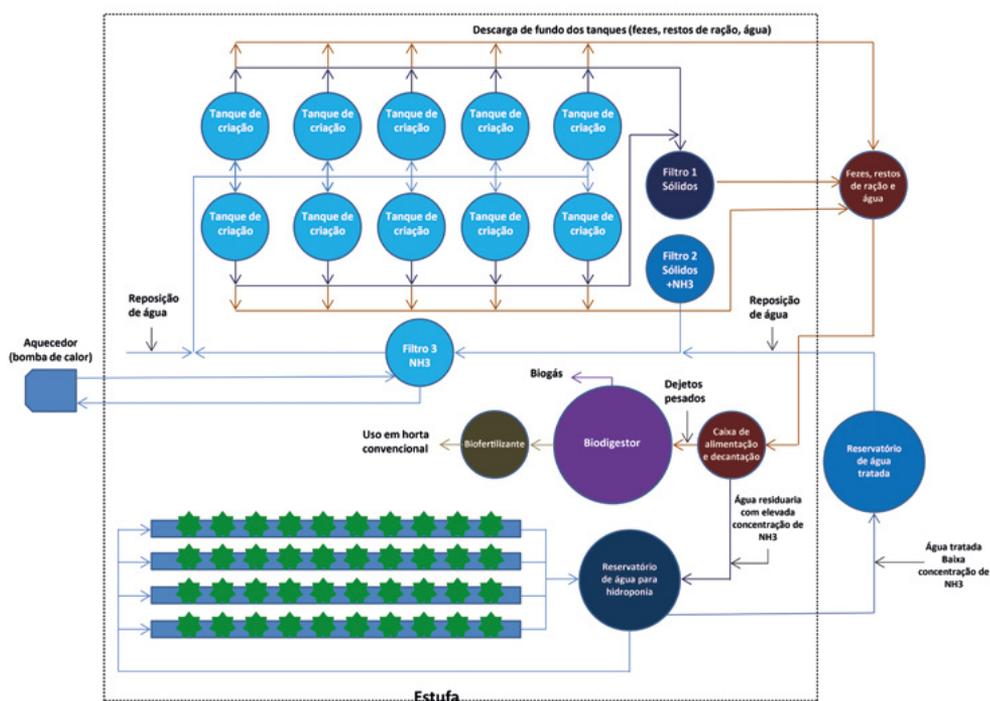
Sistema associado e sistema dissociado

O sistema associado ou em série, como mostrado na figura anterior, é caracterizado pela bancada de produção vegetal em contato direto com a água dos tanques de criação de peixes (JORDAN *et al.*, 2020a; JORDAN *et al.*, 2020b).

O sistema dissociado ou em paralelo é um aproveitamento dos resíduos sólidos decantados (fezes e restos de ração), os quais, após passarem por biodigestão, são transformados, então, em biofertilizante líquido, utilizado como solução nutritiva para um sistema aquapônico à parte (JORDAN *et al.*, 2020a; JORDAN *et al.*, 2020b). A Figura 7 mostra o esquema do sistema de aquaponia dissociado montado na UFGD em 2012. Observe que as bancadas de produção vegetal ficam fora do circuito de água do sistema de criação de peixes.

Figura 7 – Esquema do sistema de aquaponia dissociada montado na UFGD em 2012.

Esquema básico do sistema de criação intensiva de peixes com recirculação



Fonte: Elaborada pelo autor.

Nesse sistema, os dejetos decantados e removidos nas descargas de fundo eram destinados, inicialmente, para um reservatório enterrado (Figura 8). Após acumular um determinado volume, todo o material era bombeado para uma caixa de separação (tanque decantador), o que resultava na separação do dejetos pesado da água residuária. O dejetos pesado era destinado ao biodigestor (Figura 9), enquanto a água residuária era reservada para ser misturada ao biofertilizante no uso como solução nutritiva na bancada de produção vegetal. Após uma semana circulando na bancada de produção vegetal, todos os nutrientes se esgotavam e o que restava era uma água com condições para retornar a ser usada no sistema de criação de peixes (Figura 10).

Figura 8 – Reservatório de dejetos decantados.



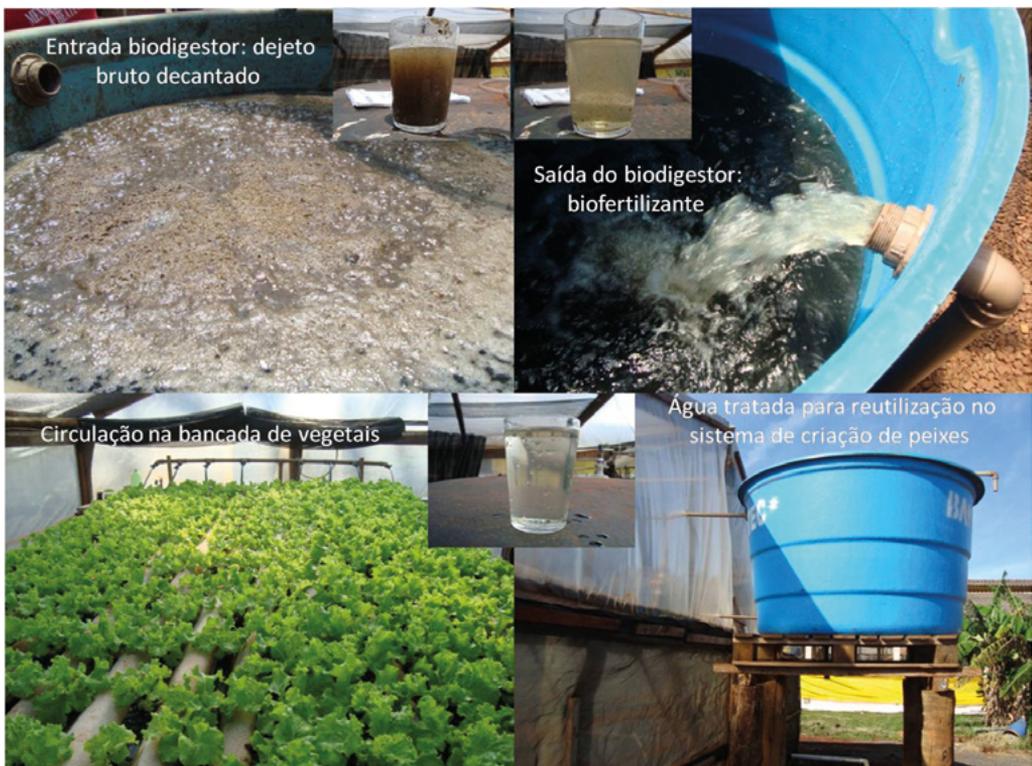
Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 9 – Biodigestor montado com quatro caixas de fibra de vidro de 500 litros.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 10 – Etapas de tratamento até a água voltar à condição para uso no sistema de criação de peixes.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

A aquaponia dissociada, junto com a aquaponia associada, permite dobrar a produção vegetal, reduzir o uso de água para a reposição e diminuir ao mínimo a geração de resíduos do sistema. Na aquaponia dissociada, o biodigestor é um componente fundamental, cujo grande objetivo é solubilizar os nutrientes, conforme pode ser bem observado na Figura 10. O uso do dejetto bruto seria impraticável, pois o material sólido adere às raízes, dificultando a absorção dos nutrientes, levando-as à atrofia e ao apodrecimento.

Área Experimental de Aquaponia da UFGD

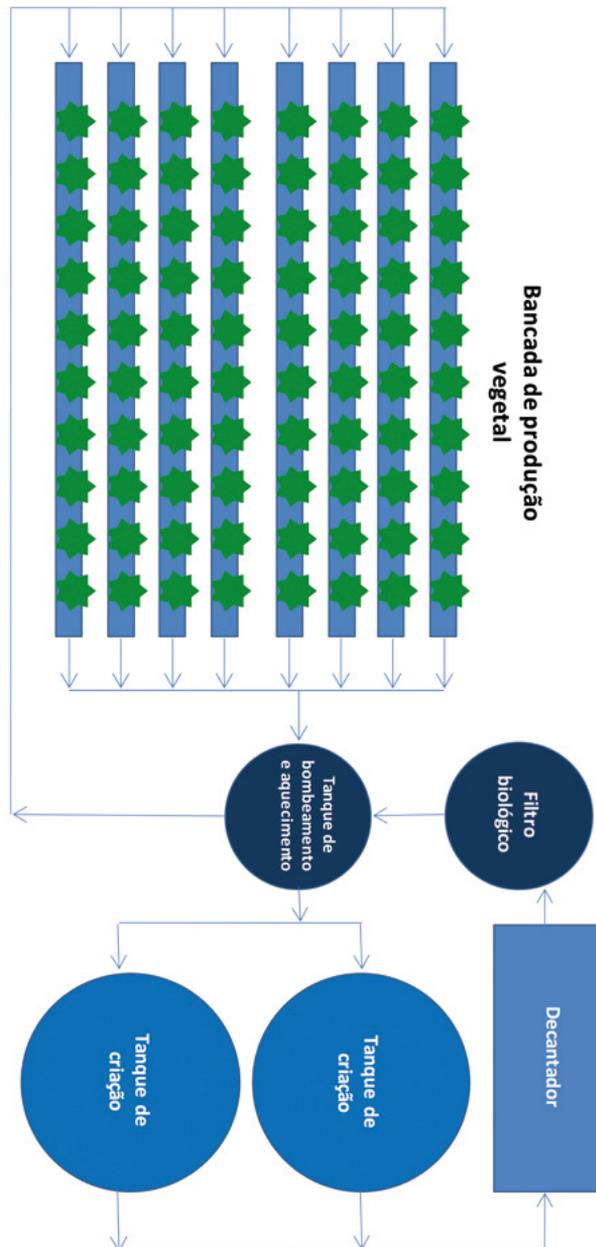
Conforme já mencionado, essa área é o resultado da expansão do projeto iniciado na UFGD em 2012, e apresenta certa evolução. Os novos sistemas montados incorporaram conceitos adquiridos das experiências anteriores em relação ao que funciona melhor em termos de operacionalidade e facilidade de manuseio e manutenção.

No projeto original da Área Experimental de Aquaponia da UFGD, foi prevista a montagem de três sistemas com escalas diferentes: pequena, média e grande. A pequena escala, visando a produção para o consumo próprio com a possibilidade de alguma comercialização, foi projetada para 200 peixes e 144 pés de alface em sistema associado, podendo chegar a 288 plantas com a adição de um sistema dissociado. O sistema em média escala foi pensado considerando o início de uma escala comercial, sendo projetado para 1.600 peixes e 1.500 pés de alface em aquaponia associada, podendo chegar a 3 mil pés de alface com a incorporação de um sistema dissociado. O sistema em grande escala, cujo desenvolvimento focou totalmente a comercialização da produção, foi projetado para 5 mil peixes e 6 mil pés de alface, operando com aquaponia associada.

O sistema aquapônico de pequena escala (figuras 11 e 12) é composto de dois tanques circulares em fibra de vidro, com fundo cônico, de 1.000 L cada, destinado à criação dos peixes; um decantador de fibra de vidro, de seção retangular, com dimensões de 0,50 m x 0,80 m x 1,0 m, com volume de total 400 L; um filtro biológico composto por um tanque circular de 310 L, também em fibra de vidro, preenchido com pedra brita; um tanque de bombeamento e aquecimento similar ao reservatório empregado para o filtro biológico; e uma bancada de produção vegetal, composta por 12 perfis NFT (Nutrient Film Technique),

em plástico, com 3 m de comprimento cada. O perfil NFT é um canal de cultivo desenvolvido para hidroponia.

Figura 11 – Esquema de funcionamento do sistema aquapônico de pequena escala.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 12 – Sistema de pequena escala montado.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

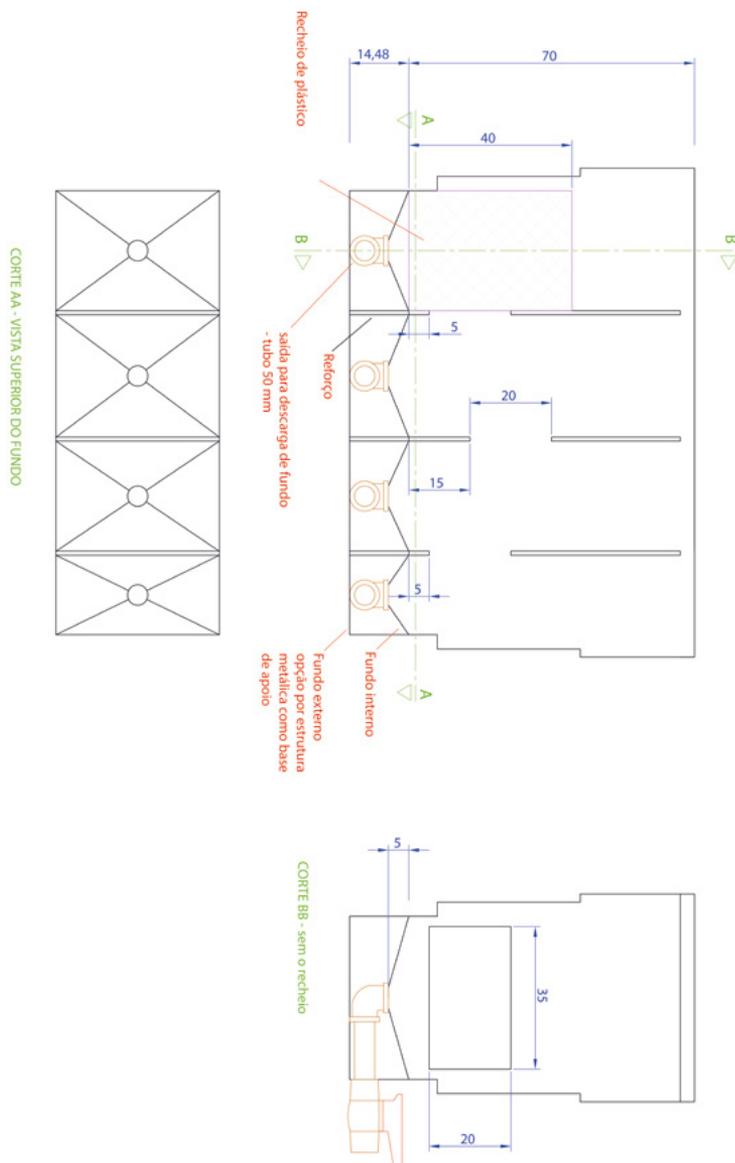
No tanque de bombeamento foram instaladas duas bombas de aquário de 120 W cada, sendo uma responsável pelo bombeamento, em fluxo contínuo, para as bancadas de cultivo e a outra pelo retorno da água aos tanques de criação. A circulação da água entre os tanques de criação de peixes, o decantador, o filtro biológico e o tanque de bombeamento ocorrem de forma natural, por gravidade. O lado inferior da bancada de produção vegetal foi posicionado um pouco mais elevado do que o tanque de bombeamento, assim, o retorno da água para esse tanque também se dá por gravidade.

O sistema de aquecimento empregado no sistema de pequena escala é composto por uma resistência elétrica de 3.000 W acionada por controlador digital de temperatura. O aquecimento resistivo, apesar de muito oneroso (JORDAN *et al.*, 2011), é a tecnologia mais barata disponível para pequena escala. A bomba de calor é uma tecnologia muito eficiente, porém, devido ao custo de aquisição, não é viável para pequenas escalas. Mais à frente será discutido melhor essa questão.

O decantador utilizado no sistema de pequena escala foi adaptado a partir de um decantador de óleo, mudando a forma da passagem de água do fundo para

a superfície no estágio seguinte (figuras 13 e 14). Foram abertos cortes para a passagem da água pela parte inferior e para a decantação dos dejetos sólidos no fundo. A entrada se dá pela parte superior, onde se encontra o recheio plástico (Figura 15), cujo propósito é quebrar os dejetos e distribuir melhor o fluxo. A saída é pela parte superior oposta.

Figura 13 – Desenho do decantador adaptado para o sistema de pequena escala.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 14 – Decantador instalado: a água dos tanques de criação entra pelo lado esquerdo e sai pelo lado direito.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

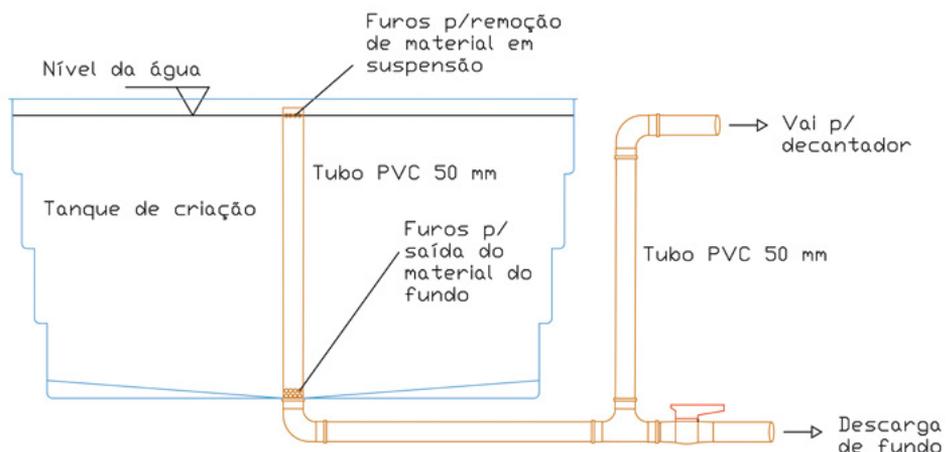
Figura 15 – Recheio plástico tipo grade utilizado no primeiro estágio do decantador.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

A saída de água dos tanques de criação acontece pelo centro (Figura 16), através de um tubo de 50 mm, perfurado na base e na parte superior, no nível da água, para a remoção do material que fica no fundo e na superfície. A tubulação de saída foi montada em forma de sifão invertido, onde foi instalado um registro para a remoção, por meio de descargas de fundo realizadas duas vezes ao dia, dos dejetos que ficam retidos nesse trajeto. É uma forma de aliviar a carga para o decantador e de melhorar a remoção dos sólidos. Essa montagem evita que o tanque de criação se esvazie no caso de uma desconexão da tubulação com o decantador.

Figura 16 – Esquema do sistema de saída de água dos tanques de criação de peixe.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Cada um dos tanques de criação foi conectado ao decantador por uma tubulação individual de PVC de 50 mm de diâmetro. Isso foi necessário para garantir a vazão para o decantador e evitar derramamento da água dos tanques de criação. As passagens de água entre o decantador, o filtro biológico e o tanque de bombeamento e aquecimento também foram feitas com duas tubulações de PVC de 50 mm de diâmetro visando garantir a vazão entre os componentes (Figura 17).

Figura 17 – Tubulação de ligação entre os tanques de criação e o decantador.

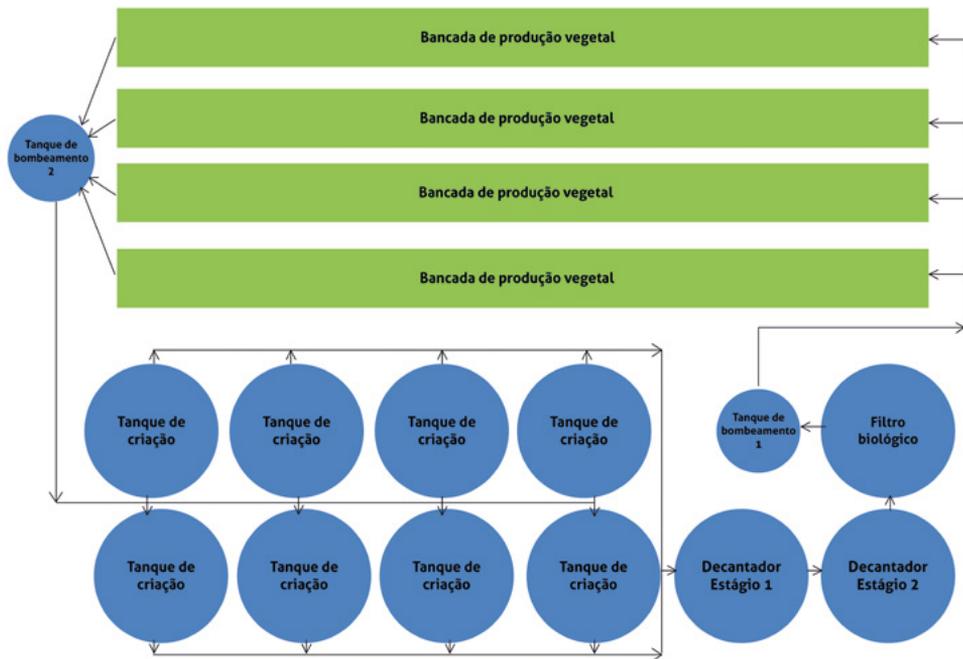


Fonte: Acervo pessoal do autor.

Na montagem, os tubos não são colados, são apenas encaixados. Isso se deve à necessidade de manutenção e limpeza sempre que preciso. Assim, os tubos são desencaixados, limpos e remontados. A colagem deve ser evitada, mas, se necessária, deve-se utilizar uma cola flexível, que possa ser removida sem comprometer a desmontagem.

O sistema médio (figuras 18 e 19) foi montado numa estufa de 225 m², com medidas 15 m x 15 m (Figura 20). Foram utilizados 8 tanques de criação de peixes, compostos por caixas d'água circulares de fibra de vidro, com fundo cônico, de 2 mil litros cada.

Figura 18 – Esquema de funcionamento do sistema médio.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 19 – Sistema de médio porte montado.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

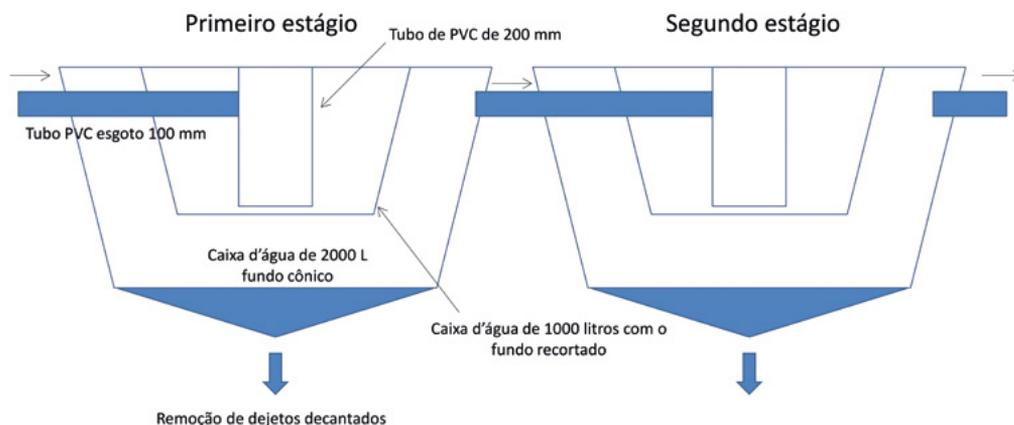
Figura 20 – Estufa de 225 m² onde foi montado o sistema de médio porte.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Os decantadores foram montados com duas caixas d'água do mesmo tipo e volume usado nos tanques de criação, totalizando um volume total de 4.000 L. Para formar as passagens, um reservatório de 1.000 L com fundo recortado foi colocado dentro de cada reservatório de 2.000 L. No centro, foi colocado um tubo de PVC de esgoto de 250 mm de diâmetro por onde a água entra. A Figura 21 detalha a montagem dos decantadores e a Figura 22 mostra uma foto deles em operação.

Figura 21 – Detalhe da montagem dos decantadores do sistema médio.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 22 – Decantadores do sistema médio em operação.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Conforme pode ser observado nas figuras 19 e 22, e detalhado na Figura 23, são duas linhas com tubos de PVC para esgoto de 100 mm de diâmetro que coletam água da saída dos tanques de criação e levam até os decantadores. As saídas dos tanques de criação foram feitas conforme ilustrado na Figura 16, utilizando tubos de PVC marrom de 50 mm de diâmetro.

Figura 23 – Tubo de 100 mm conectando a saída da segunda linha de tanques de criação aos decantadores.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Depois de passar pelos decantadores, para a remoção dos sólidos em suspensão, a água segue para o filtro biológico (Figura 24), preenchido com tela de sombreamento, e depois para o tanque de bombeamento (Figura 25), onde é bombeada até as bancadas de produção vegetal (Figura 26). Nesse projeto, devido ao tamanho do filtro, deu-se preferência pela tela de sombreamento por ser um material mais leve do que a brita e também de fácil limpeza e manutenção.

A bomba d'água utilizada é de 0,5 CV, e a linha de água que sai da bomba d'água e vai até as bancadas de produção foi montada com tubo de PVC marrom de 25 mm de diâmetro com quatro saídas que alimentam quatro bancadas, ou seja, uma saída para cada bancada.

Para a produção vegetal nesse sistema, diferente dos canais NFT utilizados no sistema pequeno, optou-se por um sistema tipo *floating*, que, traduzido para o português, quer dizer flutuante. Trata-se de canais maiores por onde passa uma lâmina d'água com altura variando entre 12 cm e 15 cm. Normalmente, placas de poliestireno expandido são utilizadas, o popular isopor, para a fixação das plantas, daí o nome de flutuante. Nesse caso, pela indisponibilidade do poliestireno expandido, optou-se pelo uso de forro de PVC perfurado.

Figura 24 – Filtro biológico preenchido com tela de sombreamento.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 25 – Tanque de bombeamento 1 conectado à saída do filtro biológico.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 26 – Entrada de água nas bancadas de produção vegetal.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

As bancadas de produção vegetal foram construídas em madeira com as seguintes dimensões: 12 m de comprimento, 1,20 m de largura e 15 cm de altura. A altura da base ao solo foi estabelecida em 1 m. Para a sustentação, foram utilizados mourões de eucalipto roliço tratado, com diâmetro de 20 cm, cravados em pares com distância de 1,5 m. Nas laterais, foram utilizadas tábuas de pinos de 30 cm de largura. Para o fundo dos canais, foram empregadas placas de compensado plastificado com 12 mm de espessura. As figuras 27 a 31 ilustram o processo de montagem das bancadas.

Após a colocação do fundo, antes da colocação da lona plástica de revestimento, com o objetivo de evitar perfurações, os canais foram revestidos com papelão. Com a colocação da lona plástica, foi feita a perfuração e a instalação da frange para a tubulação de escoamento do canal na extremidade oposta à entrada de água. As placas de forro foram cortadas com a medida da largura total do canal e perfuradas com serra tipo copo no diâmetro dos copos plásticos utilizados para as mudas. A Figura 32 ilustra a composição e o funcionamento da bancada. Os canais apresentam a vantagem, em relação ao NFT, de manter sempre uma lâmina d'água mesmo que falte energia ou a bomba d'água pare, evitando danos às plantas nessas situações.

Figura 27 – Montagem da estrutura lateral e de sustentação do fundo sobre a base de sustentação de eucalipto.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 28 – Colocação do fundo de compensado plastificado.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 29 – Forração com papelão para evitar perfuração da lona plástica de revestimento.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 30 – Canais forrados com lona plástica terminados e em teste de vazamento.



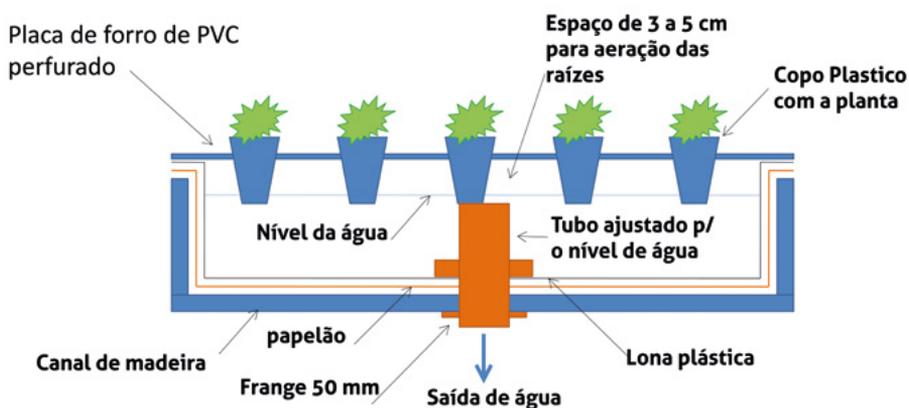
Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 31 – Sistema terminado com as placas de forro de PVC perfuradas para a colocação das plantas.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 32 – Esquema de montagem e funcionamento do canal de cultivo.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Após passar pelas bancadas de produção vegetal, a água cai pelas saídas para a caixa de bombeamento 2 (Figura 33), de onde é bombeada por uma segunda bomba de 0,5 CV até os tanques de criação (Figura 34), fechando assim o ciclo de recirculação.

Figura 33 – Caixa de bombeamento 2, responsável por coletar a água das bancadas e bombear novamente aos tanques de criação.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

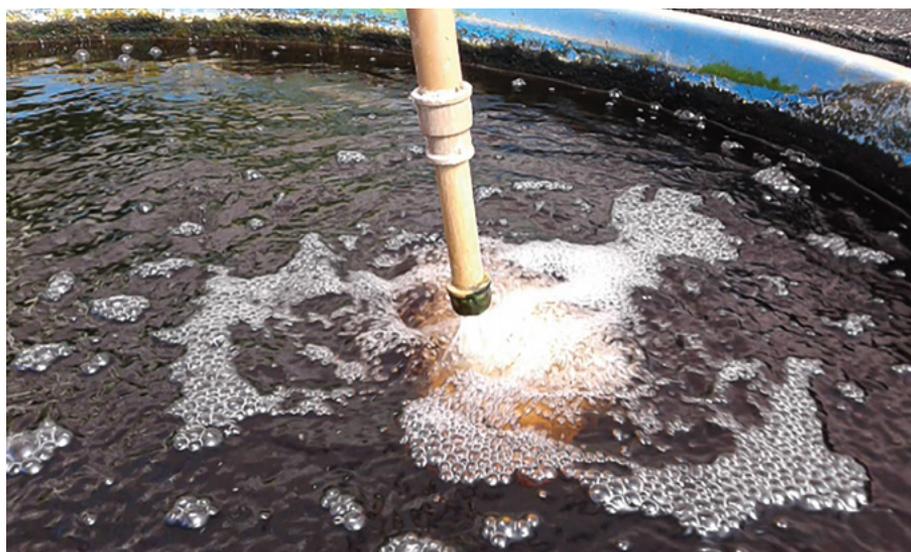
Figura 34 – Retorno de água para os tanques de criação.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

A oxigenação dos tanques é feita aproveitando a água de retorno, através de uma redução no tubo de 25 para 20 mm e a colocação de um tampão perfurado com furos de 3 mm na ponta do tubo de 20 mm (Figura 35). O efeito criado pelo aumento da velocidade e pela divisão do fluxo promove a oxigenação.

Figura 35 – Sistema de oxigenação aproveitando a energia da água de retorno.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Como as bancadas de produção vegetal e os tanques de criação estão no mesmo nível, a equalização de vazão entre os dois tanques de bombeamento é feita por controladores de níveis tipo boia, os quais controlam o acionamento das bombas d'água, evitando o transbordamento ou a falta de água nesses tanques (Figura 36).

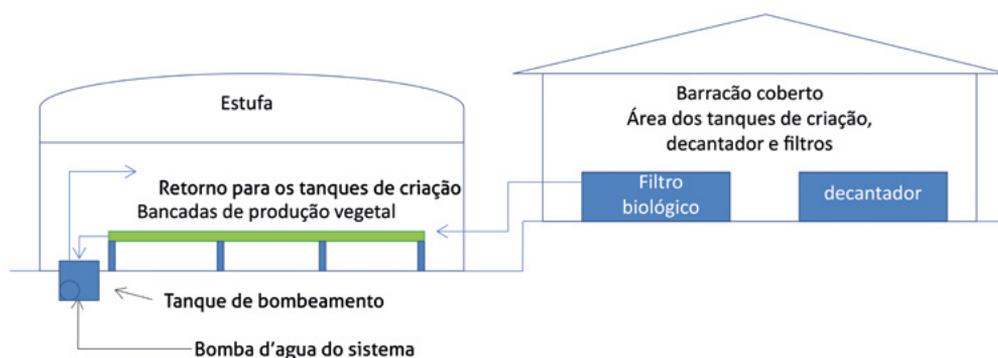
Se houvesse diferença de nível, a circulação de água poderia ser feita por uma única bomba d'água, o que simplificaria o sistema e reduziria pela metade o consumo de energia elétrica para bombeamento. Nesse caso, pode ser aproveitada a topografia de alguns terrenos, colocando os tanques de criação no nível superior e as bancadas de produção vegetal no nível inferior (Figura 37). Assim, a água desce por gravidade até as bancadas e, depois, é bombeada de volta para os tanques de criação.

Figura 36 – Boias elétricas de controle de nível nos tanques de bombeamento.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 37 – Sistema com uma única bomba d'água, aproveitando o desnível do terreno.



Fonte: Elaborada pelo autor.

As figuras 38 a 42 detalham o sistema de grande porte, projetado para 5 mil peixes e 3 mil pés de alface em sistema associado, podendo chegar a 6 mil com o sistema dissociado. Para esse sistema, visando reduzir os custos com a aquisição de tanques de fibra de vidro, optou-se por um tanque escavado revestido com filme de vinil de 0,8 mm, com volume de 54 mil litros, construído com geometria trapezoidal e fundo inclinado para possibilitar a melhor retirada dos dejetos.

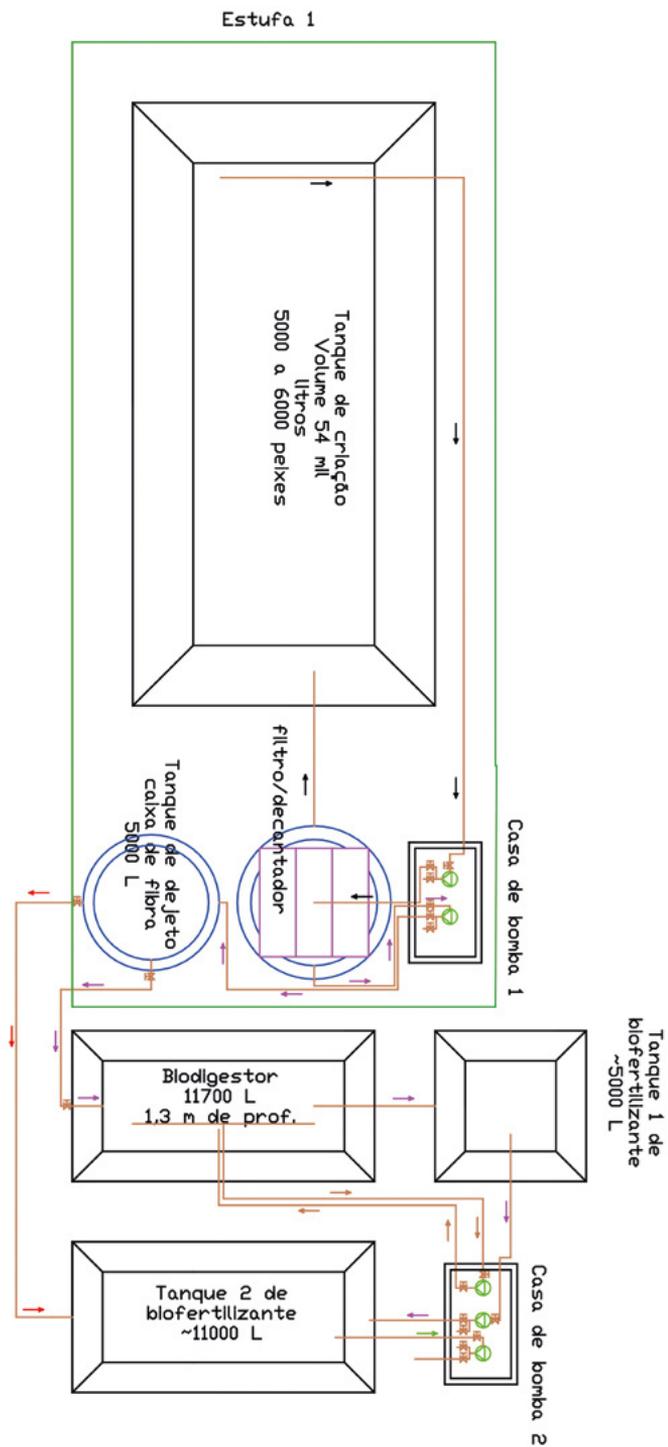
Para a separação dos dejetos e a conversão da amônia em nitrato, foi projetado um sistema de decantação e filtro com enchimento plástico tipo grade, utilizado em recheios de torres de resfriamento. Para o tratamento dos dejetos decantados e uso em aquaponia dissociada, foi projetado um biodigestor com câmara de digestão em 11 mil litros para um tempo de retenção hidráulica de 20 dias. Ao lado do biodigestor, foram projetadas duas lagoas, de 11 mil e 5 mil litros, para estoque de biofertilizante e de água residuária respectivamente.

Figura 38 – Vista geral do sistema de grande porte em tanque escavado.



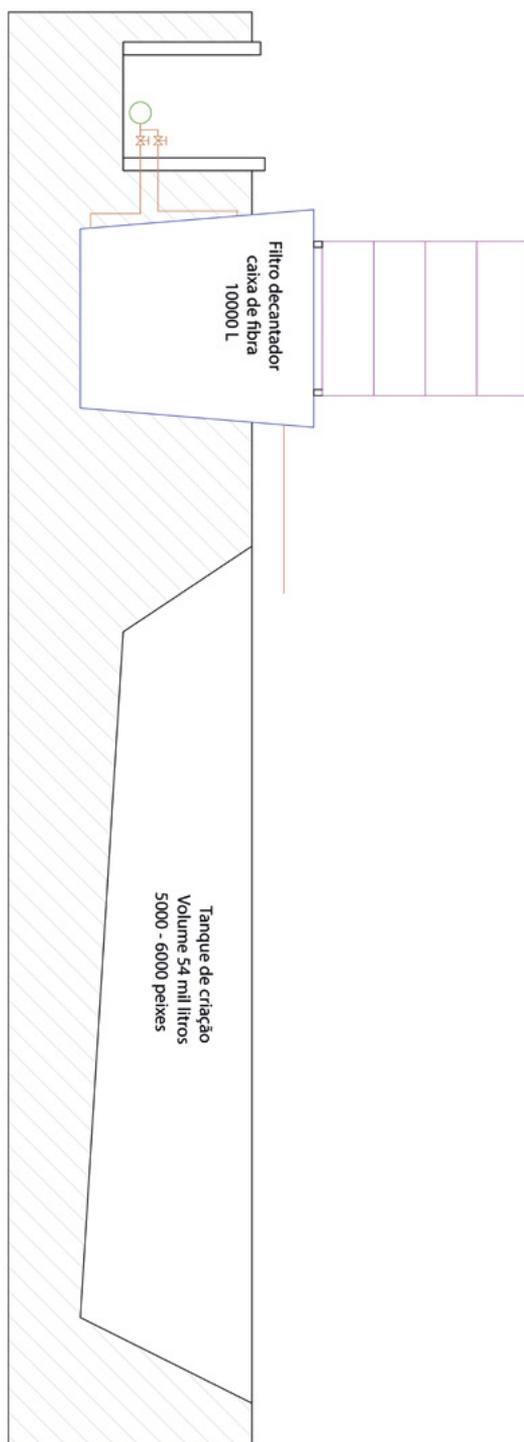
Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 39 – Planta baixa do sistema de grande porte.



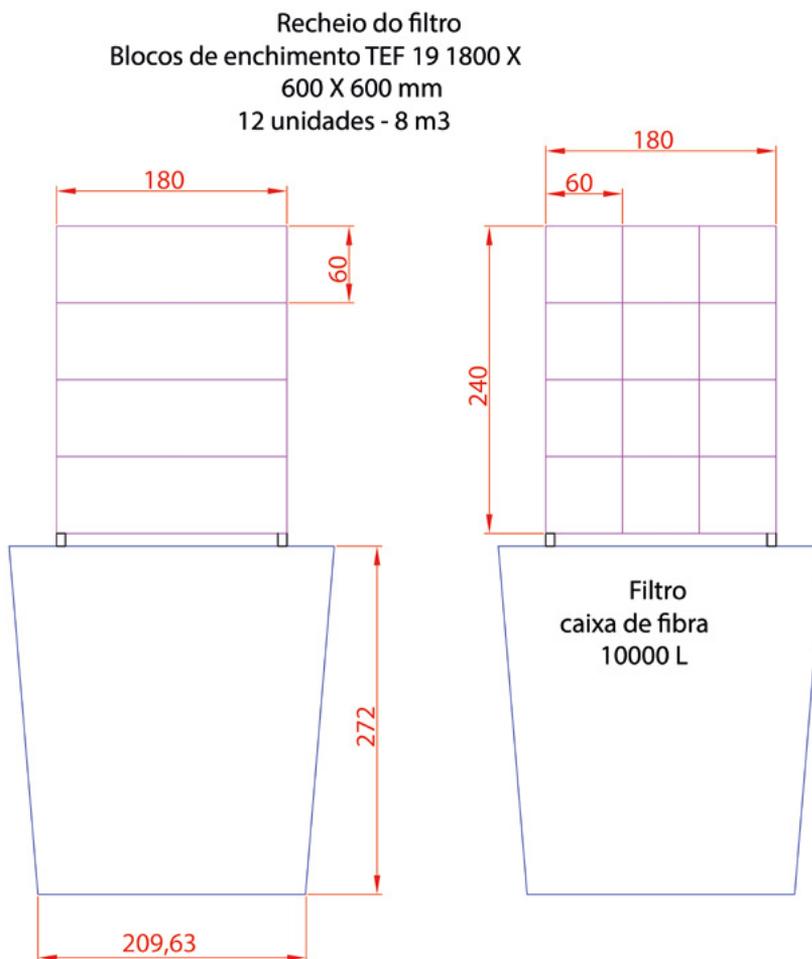
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 40 – Detalhe do tanque de criação e filtro decantador em corte.



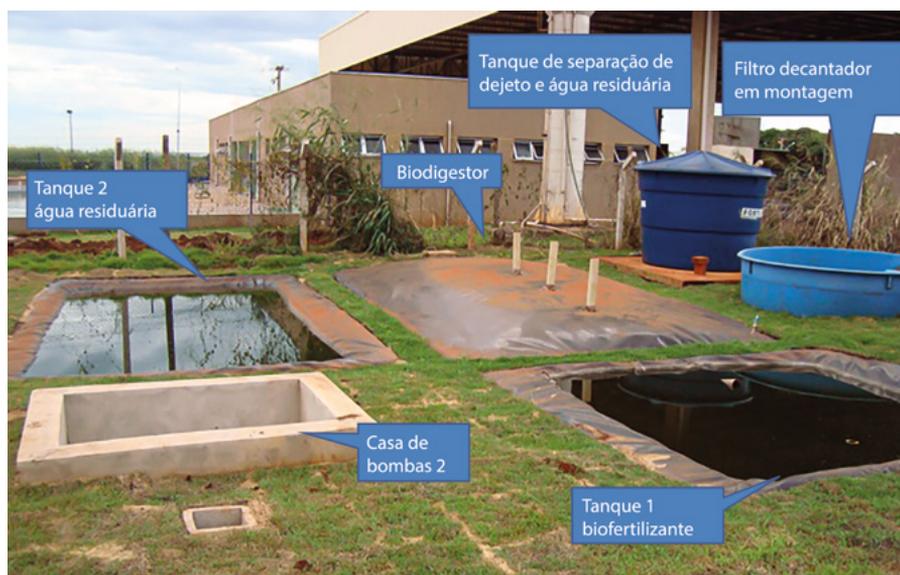
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 41 – Detalhe do filtro decantador (medidas em centímetros).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 42 – Sistema de filtragem, separação e tratamento dos dejetos gerados.



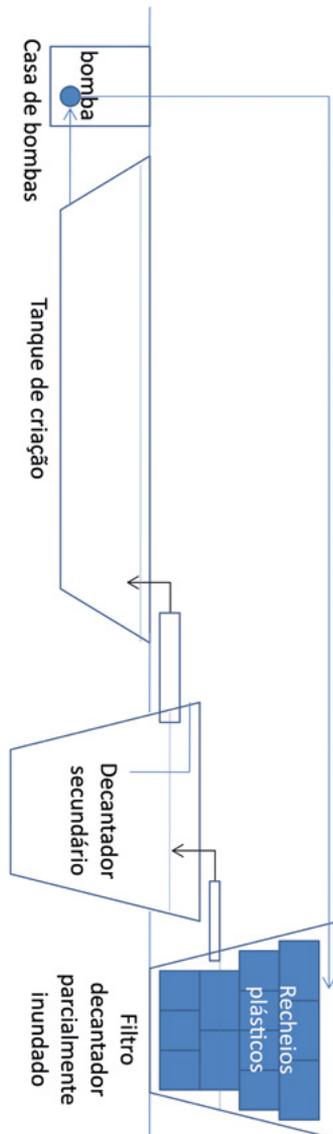
Fonte: Acervo pessoal do autor.

Por questão de adequação orçamentária, o sistema de grande porte acabou sendo montado parcialmente. Assim, adaptações foram necessárias, começando pelo filtro decantador. Como não foi possível adquirir a quantidade necessária de recheio plástico, uma pequena parte, destinada ao que era para ser o filtro decantador, passou a operar apenas como um decantador secundário. No lugar do tanque de separação de dejetos e água residuária, foi colocado um reservatório de fibra de vidro de 10 mil litros, onde foram montados os recheios plásticos, conforme pode ser observado na Figura 38. A Figura 43 ilustra como ficou o sistema. A Figura 44 mostra os recheios plásticos utilizados e a Figura 45 apresenta a colocação destes no reservatório.

Dessa forma, devido à redução da capacidade do sistema de filtragem, o número de peixes alojados também foi reduzido de 5 mil para pouco mais de 1,5 mil. Sem o tanque de separação de dejetos e água residuária, os dejetos retirados do filtro decantador e do decantador secundário são enviados diretamente para o biodigestor. A remoção dos dejetos decantados no fundo do filtro decantador é feita por uma tubulação de 50 mm de diâmetro, instalada no fundo do tanque, através da abertura de um registro. A limpeza do decantador secundário é feita por meio da aspiração do fundo com uma bomba específica para isso. Tal como foi ficado montado o sistema de decantação e filtragem, com o uso de re-

servatórios de fundo plano e com certa improvisação pela restrição de recursos, ficou bastante trabalhoso o processo de limpeza e até um pouco ineficiente, pois, antes de passar pelos recheios plásticos, a água deveria passar por decantação. Entretanto, mesmo não tendo ficado totalmente adequado, o sistema funcionou. A Figura 46 mostra uma configuração mais apropriada para esse sistema.

Figura 43 – Condição final de montagem do sistema de grande porte.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 44 – Recheios plásticos utilizados na montagem do filtro biológico.



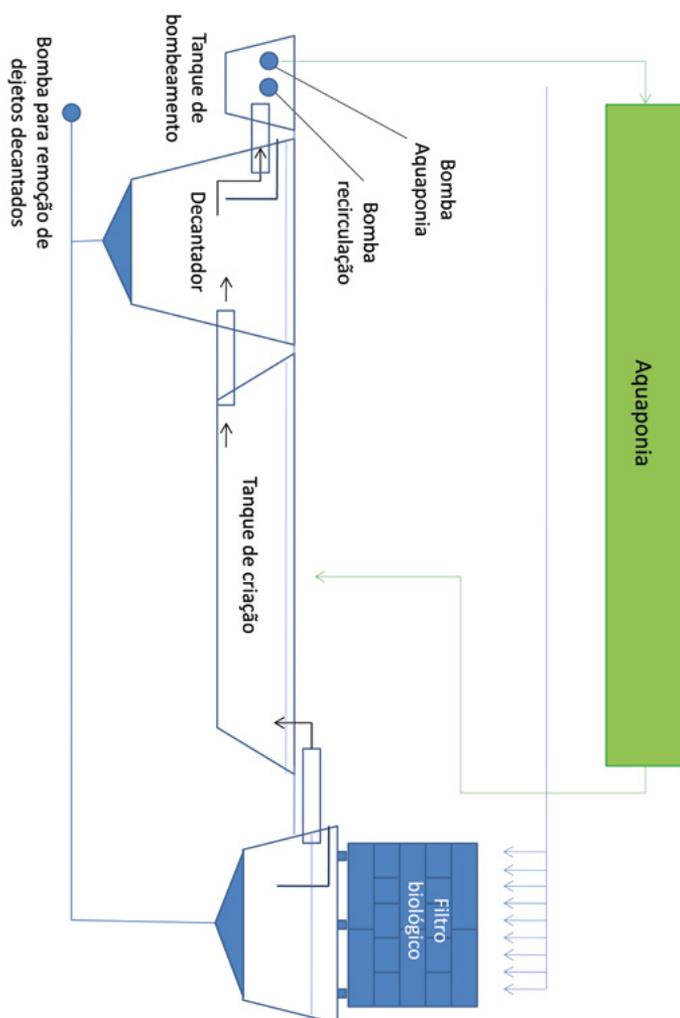
Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 45 – Colocação dos recheios no reservatório de fibra de 10 mil litros.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 46 – Proposta de montagem mais adequada para o sistema de grande porte.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A estufa de 252 m² (Figura 47) foi projetada somente para receber as bancadas de cultivo do sistema de grande porte na modalidade de aquaponia associada. Como não foi ocupada totalmente para essa finalidade, a estufa foi utilizada para abrigar os sistemas de pequeno porte e as bancadas de produção de mudas (berçário e maternidade). A construção das bancadas para o sistema de grande porte acabou sendo executada gradativamente (Figura 48), conforme disponibilidade orçamentária. Ao serem terminadas, tinham capacidade para quase 3 mil pés de alface.

Figura 47 – Estufa para as bancadas do sistema de grande porte sendo utilizada para abrigar sistemas de menor capacidade.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 48 – Execução parcial das bancadas de produção vegetal tipo *floating* de aquaponia associada no sistema de grande porte.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Para utilizar o biofertilizante produzido no biodigestor do sistema de grande porte na modalidade de aquaponia dissociada, seria necessária uma estufa de igual tamanho da utilizada na modalidade associada. Assim, devido à indisponibilidade de recursos, a saída foi utilizar a maior parte do biofertilizante em um sistema de cultivo de plantas em solo (figuras 49 a 53), fertirrigadas por um sistema de irrigação por gotejamento pelo qual o biofertilizante é aplicado diretamente na raiz das plantas, não entrando em contato com a parte foliar. Nesse sistema, foi utilizado apenas o biofertilizante, nenhum outro tipo de adubo.

Figura 49 – Alfaces em solo, fertirrigadas com biofertilizante dos dejetos dos peixes.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 50 – Repolho em solo e mudas de pimenta recém-transplantadas ao fundo.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 51 – Salsinha, couve-manteiga, almeirão e cebolinha.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 52 – Pimentas fertirrigadas.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 53 – Beterrabas: detalhe do solo do local, de aterro com restos de construção e pedras britas.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Como diz o ditado, “é na dificuldade que aparecem as boas ideias”. Foi assim que, devido à falta de recursos para construir mais uma estrutura de cultivo protegido, optou-se pelo cultivo em solo com fertirrigação, utilizando o biofertilizante dos dejetos dos peixes. Na horta, foi utilizada também toda a descarga de fundo dos decantadores e dos tanques do sistema de médio porte (Figura 54). Uma vez por ano, as lagoas de dejetos eram completamente drenadas e o lodo que ficava no fundo, resultante do processo de decantação da água residuária e do biofertilizante, era removido e incorporado aos canteiros (Figura 55).

Figura 54 – Lagoa de recolhimento das descargas de fundo do sistema de médio porte.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 55 – Remoção de lodo para a aplicação em canteiros.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Por meio de uma parceria, quase toda a produção vegetal da Área Experimental de Aquaponia da UFGD foi destinada ao restaurante universitário, que serve diariamente mais de 4 mil refeições. O excedente foi doado para várias instituições, como creches e abrigos para menores e para idosos da cidade de Dourados, MS.

CAPÍTULO

≈ 3 ≈

REQUISITOS DE UM SISTEMA DE AQUAPONIA



Para um sistema de aquaponia funcionar bem, é necessário que as condições sejam favoráveis. O número de peixes adequado para a quantidade de plantas é fundamental. Porém, são necessárias determinadas condições de pH, temperatura e oxigenação (LOSORDO; MASSER; RAKOCY, 1998; MASSER; RAKOCY; LOSORDO, 1999; RAKOCY; MASSER; LOSORDO, 2006). Essas condições devem ser monitoradas e controladas.

A temperatura é um fator crucial para o sistema, tanto para o peixe quanto para as plantas. Ambos se desenvolvem bem em determinadas faixas de temperatura. Assim, há de se buscar um equilíbrio, uma condição que seja benéfica para ambos. A faixa de temperatura boa para a absorção de nutrientes pelas plantas está entre 18 °C e 24 °C (JORDAN *et al.*, 2020b). Já as tilápias apresentam um bom desenvolvimento numa faixa de temperatura entre 24 °C e 28 °C (MASSER; RAKOCY; LOSORDO, 1999; JORDAN *et al.*, 2011).

Em temperaturas baixas, as tilápias têm seu apetite reduzido, consumindo menor quantidade de ração, o que afeta o seu desenvolvimento e também a oferta de nutrientes na água, prejudicando as plantas. Temperaturas muito próximas ou acima de 28 °C afetam significativamente o desenvolvimento das plantas, além de reduzirem a concentração de oxigênio na água, o que é ruim para os peixes e para as plantas que necessitam de oxigenação para as raízes. A incidência de doenças nas plantas é maior em temperaturas mais elevadas (JORDAN *et al.*, 2020b).

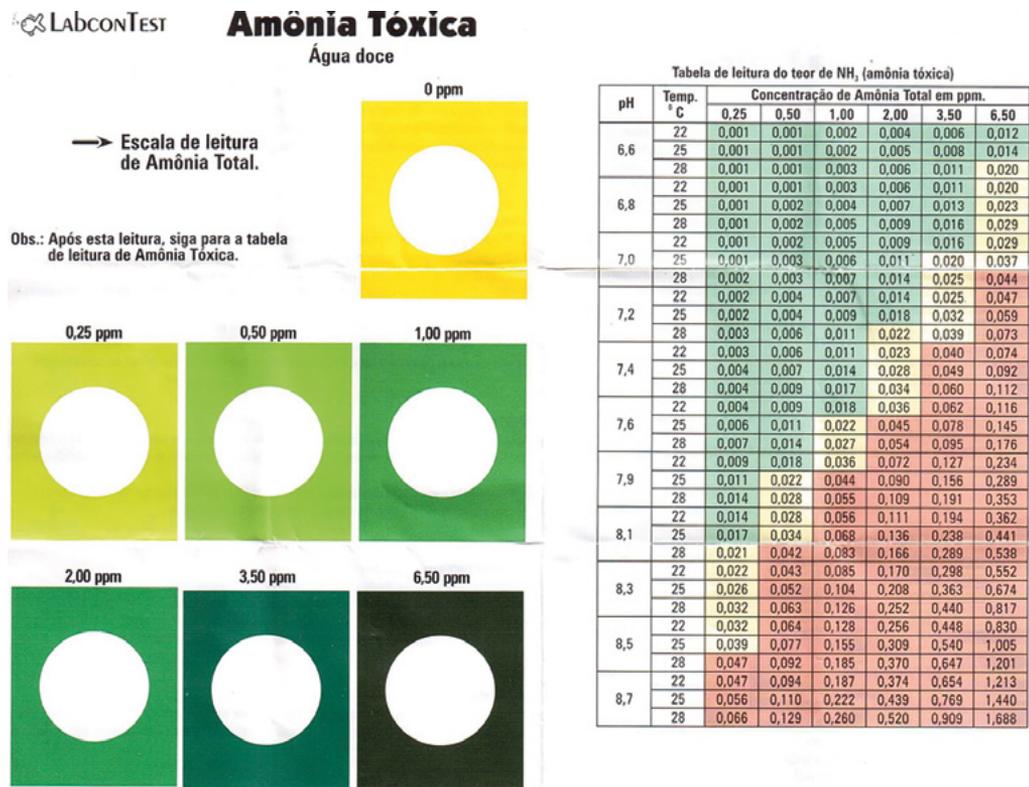
Considerando as duas faixas de temperatura, uma para as plantas e outra para os peixes, o ideal seria trabalhar com uma temperatura em torno de 24 °C, que é o limite superior para as plantas e o limite inferior para os peixes. Porém, dependendo da região onde o projeto vai ser implantado, é difícil manter essa temperatura de forma natural. Assim, sistemas para controle de temperatura podem ser necessários, o que impacta diretamente na viabilidade econômica do sistema, pois implica em maior consumo de energia.

Na nossa experiência na Área de Experimental de Aquaponia da UFGD, foram verificados resultados satisfatórios em condições de temperatura da água entre 22 °C e 26 °C, sem a necessidade de intervenção. Faz-se necessário ponderar o resultado financeiro ao operar na faixa ideal e um pouco fora dela de forma a encontrar um equilíbrio entre resultados e custos.

O pH do sistema aquapônico, para uma boa absorção de nutrientes pelas plantas, deve ser mantido um pouco ácido, com valores considerados ideais entre 6,7 e 6,8, e até próximo de 7 é tido como aceitável. No entanto, acima desse valor, a absorção de nutrientes pelas plantas é afetada (JORDAN *et al.*, 2020b), sendo necessária a correção do pH. A concentração de amônia tóxica também

se intensifica com o aumento do pH e da temperatura. A título de exemplo, utilizamos a escala do teste colorimétrico (Figura 56) para a leitura da concentração de amônia. Conforme pode ser observado, mesmo numa concentração de amônia total de 3,5 ppm, é possível haver a concentração de amônia tóxica abaixo de 0,02 ppm, mantendo o pH em 6,8 e a temperatura em 25 °C.

Figura 56 – Escala de leitura de amônia total e tabela de amônia tóxica (NH₃) em função da temperatura e do pH.



Fonte: ALCON, 2018. Kit de teste instantâneo LabconTest.

Para o controle de pH dos sistemas aquapônicos montados na Área Experimental de Aquaponia da UFGD, são empregados o sulfato de alumínio para a redução e o carbonato de cálcio para a elevação, produtos facilmente encontrados em casas especializadas em produtos para piscina. A quantidade empregada varia de acordo com o valor de pH atual e o desejado, normalmente informada na embalagem do produto, cuja dosagem varia de 20 g até 40 g por 1.000 L de água. Deve-se sempre dividir a dosagem calculada em duas partes: faz-se a dilui-

ção de uma parte, colocando-a no sistema — de preferência no tanque de bombeamento, nunca diretamente nos tanques de criação de peixes —, e espera-se, pelo menos, uma hora para haver homogeneização; na sequência, tira-se uma nova leitura e verifica-se a necessidade de colocação do restante da dosagem. Esse procedimento é feito para evitar uma variação muito brusca do pH.

O pH dos sistemas montados na Área Experimental de Aquaponia da UFGD tendeu sempre a aumentar um pouco, talvez pela característica dos biofiltros, os quais foram empregados como enchimento, materiais derivados de plástico e com pouca influência sobre a água. No sistema de pequeno porte, onde foi empregada pedra brita, houve uma tendência do pH em permanecer um pouco mais baixo, na faixa de 6,8. Tal fato se deu pela característica da pedra basáltica de acidificar a água. Em sistemas com tendência a valores mais baixos de pH, podem ser empregadas pedras de origem calcária para sua elevação. Porém, se o sistema se mostra equilibrado, com bom desenvolvimento de plantas e peixes, mesmo que o pH se apresente um pouco alterado, o recomendado é não interferir, pois o sistema atingiu o equilíbrio naquela condição. A correção deve ocorrer apenas quando forem constatados problemas que possam estar associados ao pH, como sinais de desnutrição das plantas ou problemas de elevação de amônia tóxica quando parâmetros como temperatura e alimentação estiverem corretos.

Voltando à questão da amônia tóxica (NH_3), devido à sua toxicidade para os peixes, concentrações acima de 0,05 ppm devem ser evitadas (LOSORDO; MASSER; RAKOCY, 1998). A elevação da concentração de amônia pode ocorrer por falhas no projeto do sistema de filtragem e oscilação no número de plantas. Por isso, é importante enfatizar a necessidade de um filtro biológico bem dimensionado para manter a concentração de amônia sob controle, indiferente ao número de plantas no sistema. O mau funcionamento do filtro biológico também pode ser uma causa, o que pode ocorrer pelo entupimento por deficiência no processo de decantação ou pela adição de sal ou antibiótico na água, os quais devem ser evitados, pois prejudicam as bactérias presentes nos sistemas, responsáveis por tratar a água e favorecer a assimilação dos nutrientes pelas plantas. O sal, além de bactericida, causa intoxicação das plantas e, portanto, deve ser evitado a todo custo num sistema aquapônico.

O excesso na quantidade de ração fornecida aos peixes também eleva a concentração de amônia, além de reduzir o teor de oxigênio na água. Daí a importância de seguir um arrazoamento correto, de acordo com o projeto, distribuindo o número de tratos ao longo do dia, evitando concentrar a quantidade

diária em único período. O ideal é distribuir a quantidade diária em quatro tratos, dando mais tempo ao sistema para assimilar os metabólicos.

O número de peixes também deve obedecer ao projeto, evitando-se o déficit ou o excesso, o que colabora para descontrolar a concentração de amônia e o nível de oxigênio. Nos sistemas superintensivos de recirculação utilizados na aquaponia, de acordo com os dados de Losordo, Masser e Rakocy (1998), a recomendação para tilápia é de uma biomassa total final (na despesca) em torno de 50 kg de peixe por metro cúbico de água de tanque de criação. Assim, os projetos aquapônicos normalmente utilizam uma densidade final de cem peixes por metro cúbico. Porém, essa quantidade pode variar dependendo da fase de criação e em função do tamanho dos peixes. A Tabela 1 traz recomendações sobre densidade e também sobre quantidade de ração ofertada diariamente em função do tamanho dos peixes.

Tabela 1 – Estimativa de densidade e consumo de ração para tilápias em água a 28 °C.

Peixe/m ³	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Taxa de engorda (g/dia)	Período de crescimento (dias)	Taxa de alimentação (% do peso corporal)
7500	0,02	0,5 - 1	-	30	20 - 15
3000	0,5 - 1	5	-	30	15 - 10
1500	5	20	0,5	30	10 - 7
933	20	50	1,0	30	7 - 4
467	50	100	1,5	30	4 - 3,5
183	100	250	2,5	30	3,5 - 1,5
100	250	450	3,0	70	1,5 - 1,0

Fonte: MASSER; RAKOCY; LOSORDO, 1999.

A concentração mínima de oxigênio não deve ser inferior a 3 mg por litro devido tanto à necessidade dos peixes quanto a das plantas a fim de garantir o fornecimento de oxigênio às raízes (JORDAN *et al.*, 2020b). Desse modo, é necessário garantir uma boa oxigenação, que pode ser conseguida aproveitan-

do o próprio sistema de recirculação de água, conforme mostrado na Figura 35, ou por meio do uso de sistemas próprios para oxigenação, nos quais têm sido empregados compressores rotativos para a incorporação de ar diretamente aos tanques de criação (Figura 57).

Para um maior equilíbrio no sistema, é interessante trabalhar de forma escalonada tanto em relação aos peixes quanto às plantas, ou seja, não colocar os peixes todos de uma vez, com uma mesma idade, mas, sim, ter tanques com peixes em diferentes fases (idades), desde um tanque para a formação do juvenil, que receberá o alevino de 1 g, até o tanque para peixes já no peso de despesca. Além de garantir um suprimento constante de nutrientes para as plantas, esse procedimento evita a parada total do sistema pela retirada de todos os peixes e permite a realização de despescas mensais, garantindo oferta contínua de pescado.

Figura 57 – Compressor rotativo, também conhecido como soprador.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Da mesma forma, para as plantas, deve-se ter um planejamento a fim de que se obtenha colheitas semanais. Assim, no sistema, haverá plantas (hortaliças) em vários estágios de desenvolvimento, distribuindo melhor a necessidade de

nutrientes. O planejamento também traz benefícios para a comercialização das hortaliças, a exemplo do que ocorre com os peixes, com oferta constante de produto, o que contribui para a fidelização de clientes.

Exemplificando, a colocação de todos os peixes de uma única vez no sistema, vai provocar falta de nutrientes no início, limitando em muito a quantidade de plantas que poderiam ser alojadas. Somente no final do ciclo, com os peixes grandes e comendo bem, haveria uma boa oferta de nutrientes, permitindo que todo o potencial pudesse ser explorado. No entanto, com a despesca, o sistema ficaria sem peixe, ocasionando a parada da produção vegetal. A importância do escalonamento de forma planejada está no fato de que, assim, o sistema sempre terá uma quantidade de peixes e plantas e funcionará de forma contínua.

Os nutrientes para as plantas vêm dos peixes, da ração fornecida a eles, ou seja, ao alimentar os peixes num sistema aquapônico, indiretamente se está “adubando” as plantas. Por isso, é importante certificar-se da qualidade da ração, em proteína e nutrientes, evitando, quando possível, o uso de rações com elevado teor de sódio, o que faz aumentar a concentração desse elemento na água, prejudicando as plantas, uma vez que não existe renovação, apenas reposição da água evaporada.

Na verdade, não existe ainda, no mercado nacional, uma ração especificamente desenvolvida para sistemas intensivos de recirculação e sistemas aquapônicos. As rações são as mesmas utilizadas para a criação convencional, em tanques escavados com renovação constante, e possuem os seguintes teores de proteína: 40% na fase inicial (até 5 g), 36% na fase juvenil (de 5 g a 50 g) e 32% na engorda (de 100 g a 450 g). Já seria um bom começo desenvolver uma ração com menor teor de sódio.

Estando as condições do sistema equilibradas (pH, temperatura, oxigenação, número de peixes e número de plantas), somente a ração fornecida para os peixes é suficiente para propiciar um desenvolvimento satisfatório das plantas. A Tabela 2 mostra o resultado da análise feita na água residuária (descarga de fundo) de um sistema de aquaponia dissociada montado na Área Experimental de Aquaponia da UFGD. Na tabela, pode ser visto o incremento de nutrientes em comparação com a água de reposição proveniente de um poço.

Tabela 2 – Análise de nutrientes (mg/L) da água de reposição e da água fertilizada pelos peixes para o sistema de aquaponia dissociada da UFGD montado em 2012.

Nutrientes	Água de reposição	Água residuária	Incremento (%)
Amônia	4,2	4,9	+ 16,66
Cálcio	1,01	4,38	+ 333,66
Ferro	0,02	0,24	+ 1.100
Fósforo total	1,30	19,53	+ 1.402, 31
Magnésio	0,75	2,78	+ 270, 67
Manganês	0,02	0,07	+ 250
Nitrato	1,9	3,1	+ 63,16
Nitrito	3,0	1,0	- 66,67
Nitrogênio amoniacal	4,2	4,9	+ 16,67
Nitrogênio orgânico	6,3	7,7	+ 22,22
Ortofosfato solúvel	0,25	46	+ 18.300
Potássio	1	22	+ 95,45
Sódio	3,9	17,2	+ 341,02
Zinco	0,00	0,02	+ 200

Obs.: Análises realizadas pelo Solanalise Central de Análises Ltda., localizado em Cascavel, PR. Metodologia oficial de análises da Associação Oficial de Química Analítica.

Fonte: SOLOANALISE, 2012. Dados organizados pelo autor.

Para avaliar melhor a condição da água do sistema aquapônico, o ideal é a realização de análises de nutrientes, como mostrado na Tabela 2, o que possibilita a verificação de quais nutrientes estão sendo incrementados na água. Porém, como essas análises envolvem custo, não é possível realizá-las com muita frequência. Um acompanhamento mais simples pode ser feito com o uso de um condutivímetro portátil, que é de baixo custo, como já é feito na hidroponia, com o qual se mede a condutividade elétrica, relacionada à quantidade de nutrientes presentes na água na forma de sais.

De acordo com dados do Southern Regional Aquaculture Center (SRAC), a condutividade elétrica de um sistema aquapônico deve estar situada entre 0,3 mS/cm e 0,6 mS/cm (micro Siemens por centímetro), ou seja, abaixo dos valores normalmente encontrados na hidroponia, que variam de 1,5 mS/cm a 2,5 mS/cm. Porém, na aquaponia, o fornecimento é constante, o que compensa essa diferença. O único cuidado é que a elevação da concentração de sódio na água faz aumentar a condutividade elétrica, mascarando a leitura.

Então, na dúvida, mesmo a condutividade elétrica estando elevada, havendo alguma deficiência muito nítida nas plantas, que possa comprometer seriamente o seu desenvolvimento, e estando os outros fatores dentro da faixa adequada para pH, temperatura e oxigenação, torna-se necessário uma análise dos nutrientes da água e também da ração para verificar se existe alguma deficiência.

A Tabela 3 mostra resultados de concentração de nutrientes da água de reposição, da água residuária e da descarga de fundo no sistema de pequeno porte montado na Área Experimental de Aquaponia da UFGD. A descarga de fundo é o material proveniente da limpeza do decantador e do fundo dos tanques de criação. A água residuária é a fração mais líquida resultante da decantação desse material. Apesar de a bibliografia estrangeira relatar deficiências de cálcio, potássio e ferro em águas de sistemas aquapônicos, pode-se notar, nas tabelas 2 e 3, que, em comparação com a água de reposição, existem incrementos significativos desses elementos na água pela criação dos peixes.

Observa-se que o teor de sódio demonstrado pela Tabela 3 foi muito mais elevado do que o valor mostrado na Tabela 2, isso porque foram utilizadas rações de empresas diferentes e, por esse motivo, a concentração de alguns elementos também variou. A condutividade elétrica apresentada na Tabela 3 foi bastante elevada até mesmo para uma solução de hidroponia, muito provavelmente pela presença excessiva de sódio na água.

Tabela 3 – Concentração de nutrientes (mg/L) presentes na água de reposição e na água fertilizada pelos peixes do sistema de pequeno porte montado em 2014.

Determinação	Água de reposição	Água residuária	Descarga de fundo
Fósforo	-	5,0	17,0
Potássio	-	13,0	15,0

Continua

Tabela 3 – Concentração de nutrientes (mg/L) presentes na água de reposição e na água fertilizada pelos peixes do sistema de pequeno porte montado em 2014.

Continuação

Determinação	Água de reposição	Água residuária	Descarga de fundo
Cálcio	5,0	25,0	155,0
Magnésio	1,0	7,0	24,0
Enxofre	-	34,0	130,0
Ferro	0,2	1,2	4,5
Manganês	-	0,1	1,0
Cobre	-	-	-
Zinco	0,1	0,2	0,3
Boro	-	0,1	0,2
Sódio	3,0	270,0	300,0
pH	7,9	8,0	5,5
CE (25 °C) mS/cm	0,07	4,3	5,82

Obs.: Análises realizadas pelo Laboratório Unithal, localizado em Campinas, SP. Os dados representados por um traço ficaram abaixo do valor de detecção.

Fonte: UNITHAL, 2014. Dados organizados pelo autor.

Concentrações de sódio acima de 50 mg/L em soluções nutritivas afetam a absorção de potássio (K) e cálcio (Ca) pelas plantas, tendo como resultado a queima das extremidades das folhas durante o verão, um efeito conhecido como “tip-burn”.

Se comparada a uma solução padrão de hidroponia, obviamente a concentração de alguns elementos, como potássio e cálcio, se apresenta menor na aquaponia. Porém, na hidroponia, existe a necessidade de diluir os nutrientes na água em quantidade e requerimento. Já na aquaponia, trata-se de um reaproveitamento dos nutrientes que são liberados na água pela alimentação dos peixes.

Nos experimentos realizados na Área Experimental de Aquaponia da UFGD, não foram observadas deficiências significativas que comprometessem o aspecto e a qualidade das hortaliças na percepção dos consumidores, mostrando

que, mesmo com menor concentração de nutrientes, o ambiente aquapônico é capaz de propiciar o desenvolvimento das plantas.

A Tabela 4 compara os dados de produtividade de alface cultivada no sistema de aquaponia, a partir da análise de nutrientes da Tabela 3, com os dados de produtividade de um sistema hidropônico com solução padrão, montado ao lado do sistema de aquaponia e sob as mesmas condições ambientais. Os dados da Tabela 4 representam os valores médios para dois ciclos (janeiro a fevereiro e março a abril). Pode-se observar muita similaridade entre os dados de produtividade dos dois sistemas, o que também é comprovado pela Tabela 5, a qual mostra a concentração de alguns nutrientes nas folhas das alfaces produzidas nos dois sistemas, demonstrando até maior absorção de cálcio e fósforo pelas plantas do sistema de aquaponia.

Tabela 4 – Dados de produtividade de alface-crespa verde produzida em sistema aquapônico (associado) e hidropônico.

Parâmetros	Aquaponia	Hidroponia
Massa fresca parte aérea (g)	80,34	83,13
Altura da planta (cm)	22,97	25,02
Produtividade (kg/m ²)	2,00	2,09

Fonte: Organizada pelo autor.

Tabela 5 – Concentração de alguns nutrientes nas folhas de alface-crespa verde produzida em sistema aquapônico (associado) e hidropônico.

Nutrientes (mg/kg)	Aquaponia	Hidroponia
Cálcio	9,03	6,35
Magnésio	3,4	3,59
Nitrogênio	45,85	53,49
Fósforo	5,51	2,43
Potássio	0,92	1,02

Fonte: Organizada pelo autor.

Em sistemas aquapônicos onde haja algum desequilíbrio na relação entre o número de peixes e o número de plantas ou redução no apetite dos peixes pela diminuição da temperatura da água, pode ser necessária alguma complementação de nutrientes. Durante o verão ou numa situação em que não seja possível manter a temperatura da água dentro dos patamares aceitáveis, havendo sua elevação, podem aparecer sintomas de deficiência por ferro, conforme relatado em publicações do Southern Regional Aquaculture Center (SRAC) e já verificado nos experimentos realizados na Área Experimental de Aquaponia da UFGD. Nesse caso, de acordo com a recomendação do SRAC, foi realizada a adição de ferro quelatizado na concentração de 2 g por 1.000 L de água no início do ciclo, o que foi suficiente para contornar o problema.

Quando foi iniciada a operação no sistema de médio porte, como a quantidade de peixes alojados era inferior à capacidade do projeto, foi necessária uma complementação com solução hidropônica, nitrato de cálcio, ferro quelatizado e fertilizante mineral misto com NPK (10%, 9%, 28%) e com os micronutrientes magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), manganês (Mn) e zinco (Zn) (3%, 8%, 0,05%, 0,01%, 0,05%, 0,0075%, 0,02%) numa diluição de 20 vezes o utilizado em hidroponia. Isso foi suficiente para manter a produção vegetal e não afetou os peixes, pois a tilápia se adapta bem em águas salinas e os nutrientes estão na forma de sais. Esse sistema operou com teor de amônia total variando entre 0,25 mg/L e 2 mg/L, concentração de oxigênio entre 4,18 mg/L e 5,67 mg/L, pH entre 6,6 e 7,2, condutividade elétrica em torno de 0,96 mScm⁻¹ e temperatura da água com mínima de 18,83 °C (inverno) e máxima de 27,13 °C (verão).

De forma a manter um bom acompanhamento das condições do sistema, para controle e intervenções, se necessário, recomenda-se medições diárias de temperatura, oxigênio, pH e condutividade elétrica. No caso de se possuir um sistema de controle de temperatura, se o próprio controlador for digital, ele já dará a indicação do valor da temperatura. Na internet, é possível encontrar condutivímetros e pHmetros de bolso de boa qualidade por um preço acessível, na faixa de R\$ 70,00 a R\$ 100,00 cada um. O equipamento de maior valor e não menos importante é o oxímetro, com valor em torno de R\$ 1.000,00 para os modelos mais simples.

Em nossa experiência, o emprego de testes colorimétricos para a determinação da concentração de oxigênio não mostrou muita imprecisão. O teste colorimétrico para determinação da concentração de amônia pode ser utilizado. Por pouco mais de R\$ 30,00 é possível adquirir um kit para teste de amônia tóxica de água doce para até 50 testagens. A não ser que observe algum problema com os peixes e seja necessária uma verificação apenas para confirmação, para reduzir

custos, a frequência de verificação de amônia pode ser semanal. Assim, uma caixa de kit de teste poderá durar até um ano.

Sistemas para o controle de temperatura

Em situações em que a temperatura da água possa cair abaixo de 20 °C, é necessário prever o uso de algum sistema de aquecimento. Na região de Dourados, MS, onde o projeto foi implantado, o aquecimento é utilizado em condições de inverno muito rigoroso, normalmente nos meses de junho, julho e agosto, mas não necessariamente durante todo o período, apenas nas semanas em que a temperatura ambiente cai muito. A ideia é usar o aquecimento de forma racional, em situações extremas, visando reduzir custos.

Com relação a tecnologias de aquecimento, para sistemas muito pequenos, não há muitas opções, e o que existe de mais acessível em termos de custo de aquisição é o aquecimento resistivo. Entretanto, ele apresenta elevado consumo de energia elétrica e, por isso, deve ser usado em situação de extrema necessidade, numa condição em que a temperatura da água possa diminuir abaixo de 18 °C.

Já para sistemas maiores, existem mais opções de tecnologias de aquecimento acessíveis em termos de custo de aquisição e operação, como o aquecimento solar, a lenha e por bombas de calor. No sistema de grande porte instalado na UFGD, foi empregado uma bomba de calor como sistema de aquecimento em situações extremas (Figura 58).

Figura 58 – Bomba de calor utilizada para aquecimento do sistema de grande porte.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

No sistema montado na UFGD em 2012, utilizamos lenha com queima direta e bomba de calor para prover o aquecimento da estufa. A bomba de calor foi utilizada para o aquecimento da água (Figura 59). No caso da lenha, foi colocado um queimador dentro da estufa para o aquecimento do ar (Figura 60), arranjo não recomendado devido ao risco de incêndio e geração de gases no interior da estufa. Fizemos, então, uma comparação de impacto do sistema de aquecimento no custo de produção, considerando lenha, bomba de calor e uma terceira opção que seria gás liquefeito de petróleo (GLP).

Figura 59 – Bomba de calor utilizada para o aquecimento da água do primeiro sistema de aquaponia montado na UFGD em 2012.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 60 – Aquecimento do ar da estufa com lenha por meio de queima direta.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

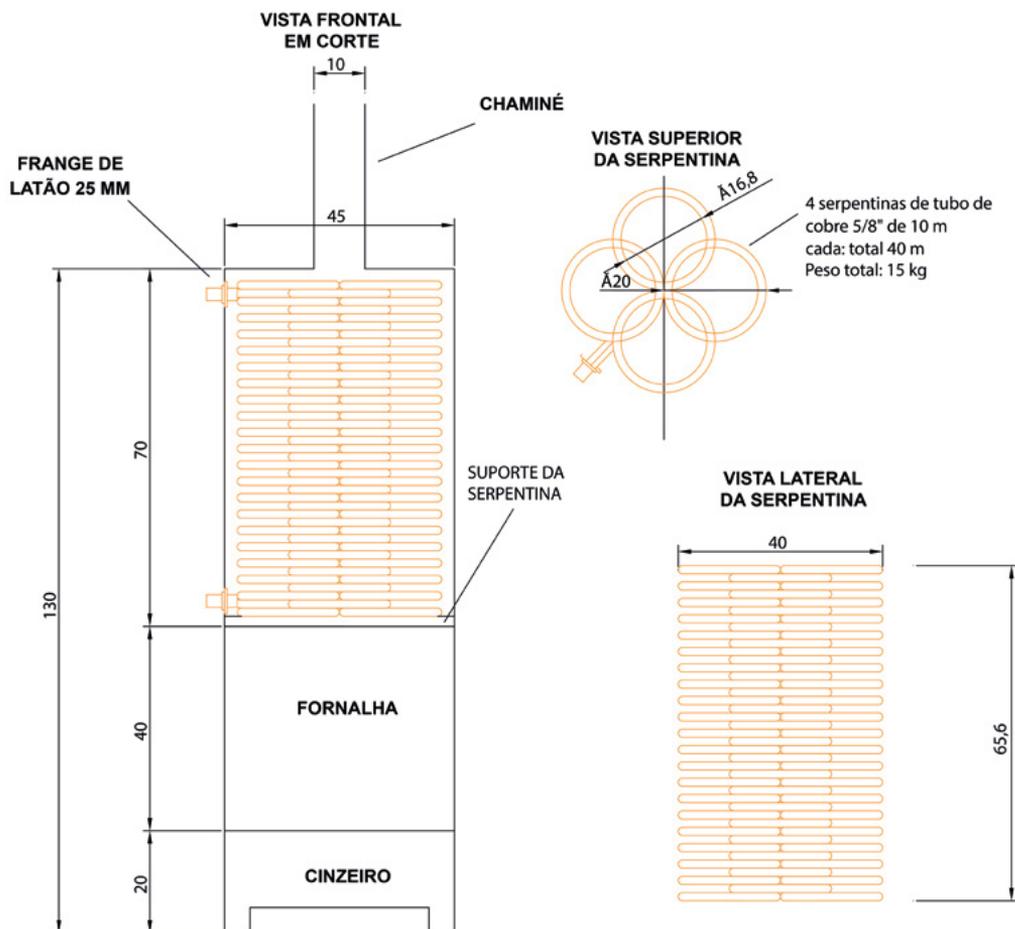
A lenha apresentou o menor custo de aquecimento, acrescentando, na época (em 2012), R\$ 0,32 ao custo do quilograma de peixe criado durante o inverno, o aquecimento com bomba de calor acrescentou R\$ 1,22 e o GLP se mostrou a opção mais custosa, representando um acréscimo de mais de R\$ 5,00 ao custo, o que o inviabilizou como opção.

É importante não olhar somente para o custo durante o inverno, mas para o benefício do aquecimento para todo o ciclo. Sem aquecimento, em algumas regiões, o sistema para durante o inverno, reduzindo, assim, o número de ciclos produtivos durante o ano, tornando o investimento menos lucrativo. Mesmo que não atinja uma situação crítica, a temperatura em baixa causa atraso no ciclo produtivo do peixe, afetando também as plantas.

A lenha, mesmo tendo se mostrado mais atrativa, esbarra no problema de disponibilidade em algumas regiões, além da necessidade de estoque do material no local. O controle de temperatura é trabalhoso, exigindo a presença constante de um operador para controlar a alimentação de lenha, o que vai elevar o custo de operação. Para o projeto implantado, foi previsto e montado um aquecedor a

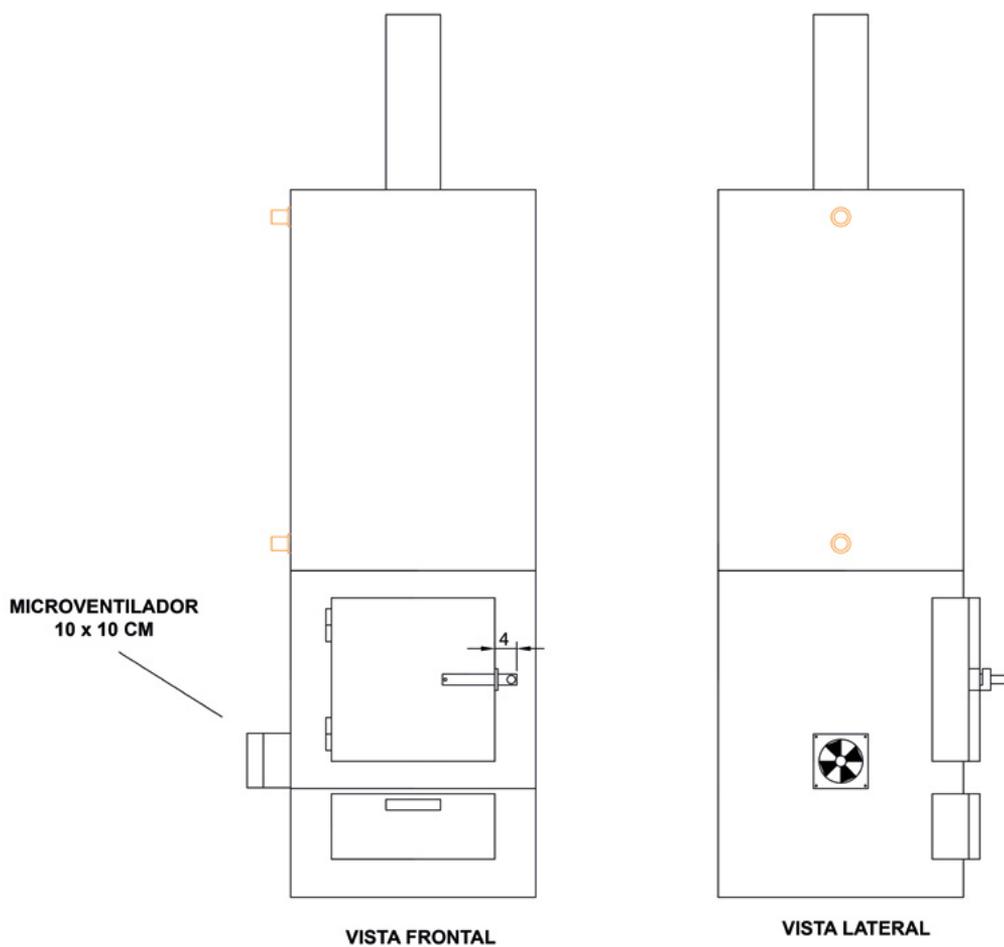
lenha de 20 kW de potência térmica para o sistema de médio porte (figuras 61, 62 e 63).

Figura 61 – Aquecedor a lenha de 20 kW em corte.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 62 – Vista do aquecedor projetado para o sistema de médio porte.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 63 – Aquecedor montado.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Justamente pela falta de alguém para operar, principalmente durante o período noturno, o aquecedor a lenha não foi colocado em uso. Ele foi projetado para aquecer a água do sistema, não o ar. Como a chaminé pode ser estendida,

poderia até ficar dentro da estufa, desde que fosse garantido um suprimento de ar para a queima.

É mais complicado o aquecimento da água devido à sua característica de estar carregada de material solúvel que se deposita muito lentamente. Não sendo possível a remoção no decantador, a deposição desse material vai ocorrer nos tubos e trocadores dos sistemas de aquecimento, o que levará à redução de fluxo e ao entupimento caso medidas adequadas não sejam tomadas, como a instalação de um filtro antes do sistema de aquecimento. Na Figura 58 pode ser visto um filtro de areia antes da entrada de água para a bomba de calor. Ainda assim, é necessária a retrolavagem do filtro diariamente.

A tomada de água para o sistema de aquecimento deve ser após o decantador, pois assim evita-se que sólidos suspensos sejam bombeados para o filtro do aquecedor. O retorno de água deve ser feito para a caixa de rebombeamento, instalada após as bancadas de produção vegetal, sendo permitido, portanto, haver a mistura, evitando o retorno de água quente diretamente para as bancadas de produção vegetal ou para os tanques de criação de peixes.

O controle sobre a temperatura do ar das estufas e das instalações se mostra como uma opção mais interessante em relação ao controle diretamente sobre a água (ALKHALIDI; KHAWAJA; ABUSUBAIH, 2020), pois evita todo o problema de incrustação de aquecedores e trocadores de calor. Nos EUA, na Europa e nos países da Ásia, já é bastante comum o uso de bombas de calor para o aquecimento do ar da estufa (CHAI; MA; NI, 2012; LIM; BAIK; KIM, 2020).

A bomba de calor, depois do aquecedor a lenha, é uma opção bastante interessante, pois é muito eficiente no uso da energia elétrica. Na verdade, esses equipamentos não convertem a energia elétrica em calor como as resistências elétricas. A energia elétrica é utilizada num compressor que movimenta um fluido específico, o qual consegue remover calor do ar à baixa temperatura e rejeitar, para a água, a uma temperatura maior. As fontes de calor para esse equipamento podem ser variadas: água, ar, solo, fontes geotérmicas, etc. Com isso, uma bomba de calor pode produzir um efeito térmico cinco vezes maior do que a energia utilizada, ou seja, com 1 kW de energia elétrica, uma bomba de calor pode produzir até 5 kW de energia térmica.

Outra vantagem da bomba de calor é o controle automático de temperatura, realizado por um controlador eletrônico onde pode ser ajustada a temperatura desejada. A máquina entra em operação automaticamente quando a temperatura baixa em relação ao valor programado, não havendo a necessidade de supervisão

constante. Outra vantagem é que o equipamento dispensa instalações especiais, requerendo pouco espaço e sendo de simples instalação.

A desvantagem da bomba de calor reside na ocorrência de congelamento do evaporador em regiões muito frias, onde a temperatura possa permanecer abaixo de 10 °C por um período longo. O evaporador é a peça responsável por retirar o calor do ar. A formação de gelo bloqueia a passagem de ar, impedindo a troca de calor e afetando significativamente a capacidade da bomba de calor, a ponto de ser necessário o desligamento do evaporador para evitar danos. A Figura 64 mostra o congelamento do evaporador da bomba de calor utilizada para aquecer a água do primeiro sistema de aquaponia montado na UFGD durante o inverno de 2012, quando as temperaturas ficaram abaixo de 5 °C nos dias mais frios.

Figura 64 – Congelamento do evaporador da bomba de calor.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Quando a mancha de gelo vista na Figura 64 aparece pelo lado externo, é porque todo o lado interno já está bloqueado; e foi o que aconteceu. Por isso, foi necessário acionar um sistema de emergência composto por um banco de resis-

tências elétricas. Devido a esse problema, o uso de bomba de calor em regiões muito frias é desaconselhado, pelo menos, como o único sistema de aquecimento. Dessa forma, o uso da bomba de calor requer a utilização de um sistema de apoio ou emergência para situações como a descrita.

O aquecimento solar pode ser uma opção para o aquecimento de água na aquaponia. A popularização do aquecimento solar fez o custo dessa tecnologia baixar e ser competitivo. Uma vantagem do aquecimento solar é que ele pode ser usado constantemente para manter a água do sistema próxima de 24 °C sem haver grande gasto com energia, pois o único consumo de energia é o da bomba d'água de circulação, que é pequeno. A automação do sistema pode ser feita com um controlador de temperatura atuando sobre o acionamento da bomba d'água.

Voltando à questão de uso de aquecimento em regiões muito frias, talvez não seja possível fugir do uso de algum sistema de queima. Na China, por exemplo, a solução utilizada para o aquecimento de estufas com bomba de calor em locais com temperaturas abaixo de zero tem sido o uso de fontes de calor alternativas, como o solo, as águas subterrâneas ou as águas de rios e lagos. No entanto, isso depende da disponibilidade dessas fontes e encarece o projeto, não sendo aplicável à nossa realidade.

Já existem, no mercado nacional, aquecedores a biomassa com sistemas de alimentação automatizados, que utilizam cepilho de madeira, pó de serra ou até madeira peletizada. As desvantagens residem no tamanho desses equipamentos, normalmente disponíveis somente para grandes capacidades, esbarrando no custo e na oferta desses produtos e no custo do material para queima.

Os sistemas de aquecimento da Área Experimental de Aquaponia da UFGD foram todos adquiridos por volta de 2014 pelos seguintes valores: bomba de calor do sistema de grande porte, R\$ 7.200,00; placas de aquecimento solar para o sistema de médio porte, R\$ 6.937,00; e aquecedor de água a lenha para o sistema de médio porte com custo de montagem, R\$ 3.500,00. Observe que o custo do aquecedor a lenha não foi o de aquisição e, sim, o de montagem, por isso teve um custo menor do que o das outras duas tecnologias, que apresentaram valores muito semelhantes. O sistema de aquecimento solar encontra-se em fase de instalação.

A necessidade de aquecimento com base na experiência com os sistemas de aquaponia pode variar de 500 W a 1000 W de potência térmica por metro cúbico de água total do sistema, somando o volume de todos os componentes. Sistemas mais fechados e isolados vão requerer menor potência. Já em sistemas

não muito bem isolados, a potência requerida será maior. É claro que, em regiões mais frias, a exigência de potência também será maior.

Os coletores solares planos, fabricados em plástico, podem produzir uma potência média de 500 W por metro quadrado de placas em dias de boa insolação. Já os coletores solares em caixilho metálico envolvido por vidro, mais caros, produzem uma potência média superior a 700 W por metro quadrado em dias de boa insolação. As bombas de calor são normalmente comercializadas pela capacidade de aquecimento em BTU (British Thermal Unit, ou unidade térmica britânica). Nesse caso, pode-se considerar uma potência de 1.705 BTU a 3.410 BTU por metro cúbico de água.

Até aqui, abordamos a questão de necessidade de aquecimento para conter a diminuição da temperatura da água. Porém, a elevação de temperatura da água do sistema é tão prejudicial quanto a sua diminuição, principalmente pela questão das plantas. Temperaturas superiores a 26 °C devem ser evitadas, uma vez que a absorção de nutrientes pelas plantas é muito afetada nessa condição.

Na região de Dourados, MS, nos deparamos com longos períodos de temperaturas muito elevadas e, devido a esse fato, a temperatura da água do sistema pode facilmente passar de 32 °C, o que é catastrófico, já que diminui o oxigênio da água e, literalmente, cozinha as raízes das plantas. Com certeza, o controle de temperatura no verão será muito mais complicado do que a situação no inverno em várias regiões.

O efeito das temperaturas elevadas pode ser amenizado com o emprego de estufas mais adequadas para locais mais quentes, que tenham o pé direito maior, filmes específicos, telas de sombreamento específicas para o calor e emprego de sistemas de climatização, como ventiladores e resfriamento adiabático. O local de construção da estufa deve ser bem escolhido a fim de evitar a insolação direta nos períodos mais quentes do dia durante o verão. Essas são formas de melhorar o conforto térmico da instalação, no entanto, elas podem não ser suficientes.

Em condições muito extremas, talvez seja necessário o resfriamento da água, o que deve elevar muito o custo de produção, podendo ser até um fator limitante. Por isso, é importante investir um pouco mais nas instalações para evitar custos demasiados com sistemas de controle de temperatura.

O efeito da temperatura ambiente será maior em sistemas pequenos. Em sistemas maiores, devido ao volume, o efeito do ambiente na variação da temperatura é menor, reduzindo a variação de temperatura.

Na primeira estufa montada, onde foram abrigados os sistemas de pequeno porte, foi difícil o controle de temperatura no verão, pois, somado ao pequeno

volume, estava o fato de a estufa possuir um pé direito baixo. Como tentativa de reduzir a temperatura, foi instalado um sistema de resfriamento por refrigeração montado a partir de um ar-condicionado de janela de 10 mil BTU (Figura 65).

Figura 65 – Sistema de refrigeração montado para reduzir a temperatura do sistema de pequeno porte durante o verão.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

O sistema de refrigeração não evita a elevação da temperatura da água para níveis superiores a 26 °C em dias em que a temperatura do ar da estufa ultrapassa os 45 °C nas horas mais quentes, sem levar em conta o consumo de energia. Trata-se realmente de um problema relacionado ao pequeno volume de água do sistema e ao modo construtivo da estufa.

Ao lado do sistema de aquaponia de pequeno porte, tem-se um pequeno sistema intensivo de recirculação que ajuda a alimentar um sistema de aquaponia dissociada, o qual utiliza um filtro percolador, onde a água cai sobre um recheio de plástico em forma de chuveiro (Figura 66), existindo, assim, um efeito evaporativo de resfriamento que ajuda a reduzir a temperatura da água em dias de baixa umidade relativa do ar.

Solução parecida foi utilizada no sistema montado na Unicamp, onde foi empregada uma torre de resfriamento para operar como filtro percolador (Figura 67), a qual acabou atuando como sistema de resfriamento nos dias mais quentes, quando, então, era acionado o seu ventilador para forçar a passagem do ar e aumentar o efeito evaporativo. O ventilador era comandado por controlador de temperatura. Em condições normais, o ventilador não era acionado, somente quando a temperatura se elevava.

Figura 66 – Filtro percolador de aspersão fixa em sistema de recirculação de pequeno porte.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

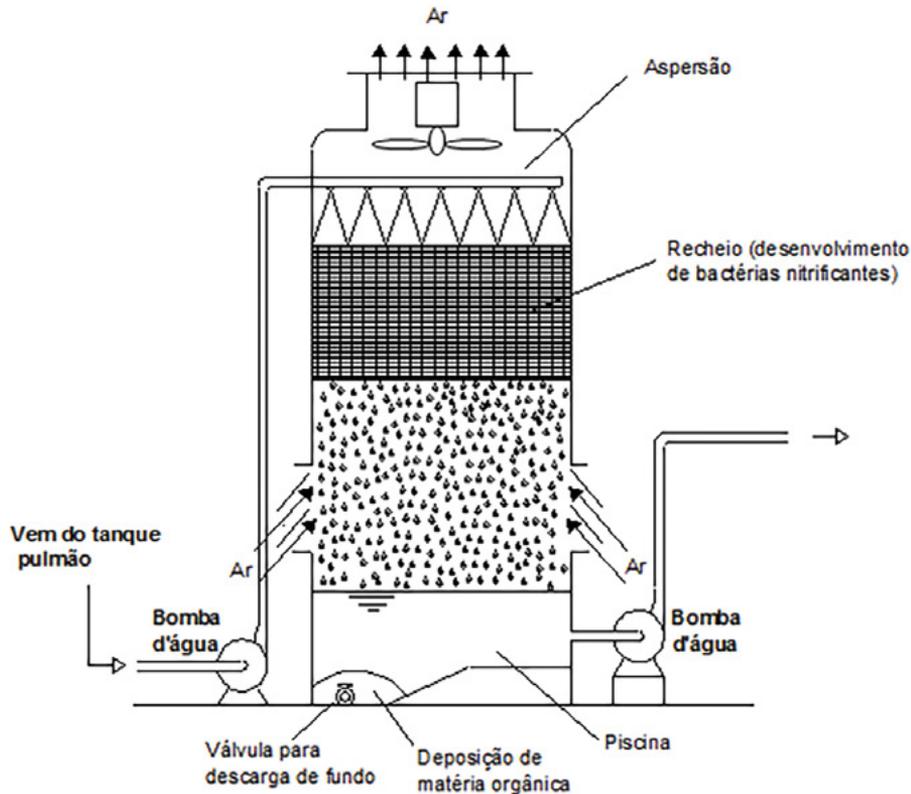
Figura 67 – Torre de resfriamento utilizada como filtro percolador e controle de temperatura no primeiro sistema montado na FEAGRI/Unicamp (2008).



Fonte: Acervo pessoal do autor.

As torres de resfriamento já possuem todas as características para serem utilizadas em sistemas de aquaponia, não necessitando de adaptação alguma. A Figura 68 detalha o funcionamento da torre de resfriamento com a água entrando pela parte superior, passando pelos recheios e o ar entrando pela parte inferior dos recheios. Na cidade de São Paulo, pela proibição do seu uso em sistemas de ar-condicionado devido à questão de escassez de água, muitas torres de resfriamento foram parar em ferros velhos de desmanche de parques fabris e, assim, podem ser adquiridas por um valor baixo.

Figura 68 – Detalhe de uma torre de resfriamento em operação como filtro percolador e resfriador adiabático num sistema de aquaponia.



Fonte: Elabora pelo autor.

É preciso ressaltar que todo sistema de resfriamento evaporativo depende de condições ambientais com baixa umidade relativa, uma vez que o princípio é a evaporação da água para o ar. O sistema perde efeito se estiver em condição de saturação, ou seja, com umidade relativa de 100%. Assim, quanto mais baixa for a umidade relativa, melhor será a eficiência desse sistema para a redução de temperatura.

Sistemas evaporativos também podem ser usados para resfriar o ar da estufa. As figuras 69, 70 e 71 mostram uma estufa montada na UFGD, próxima à Área Experimental de Aquaponia, com filme duplo e sistema evaporativo para resfriamento do ar no interior. O filme duplo reduz a transmissão de calor para o interior da estufa, pois o espaço entre os dois filtros é preenchido com ar, que funciona como um isolante térmico. Porém, o custo desse tipo de estufa pode

até dobrar em relação a uma estufa convencional. O preço do metro quadrado de uma estufa básica montada está por volta de R\$ 100, ao passo que uma estufa como a mostrada a seguir pode facilmente ultrapassar o custo de R\$ 250 o metro quadrado.

Figura 69 – Estufa de filme duplo com sistema evaporativo: placas evaporativas.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 70 – Estufa de filme duplo com sistema evaporativo: exaustores do lado oposto as placas evaporativas.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 71 – Ventilador que infla o ar entre os dois filmes plásticos da estufa.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Voltando às estufas montadas na Área de Experimental de Aquaponia, a segunda estufa montada (Figura 20) para o sistema de médio porte, com pé direito maior, lanternim, cortinas laterais, sistema de nebulização e circulação de ar por exaustores (vistos na Figura 72), mantém a temperatura até cinco graus mais baixa do que a estufa onde se encontram os sistemas de pequeno porte, mesmo sem o uso dos nebulizadores. No entanto, o preço do metro quadrado da segunda estufa foi 70% maior em comparação com a primeira.

Foram realizados testes utilizando os ventiladores e os nebulizadores em operação como um sistema evaporativo, o qual foi eficiente em baixar a temperatura do interior da estufa de 40 °C para 28 °C durante o verão. No entanto, a nebulização provocou o acúmulo de água nas folhas das hortaliças, provocando queima, além de favorecer o aparecimento de fungos. Por isso, o uso desse sistema foi descontinuado.

O tipo de construção empregada pode contribuir em muito na redução do uso de sistemas para o controle de temperatura. Por exemplo, não existe a necessidade de os tanques de criação de peixes, decantadores e filtros ficarem dentro

de uma estufa, pois somente as plantas necessitam de luz. Nas nossas montagens, todo o sistema foi colocado dentro de estufas por falta de local adequado. O sistema de criação de peixes em local coberto evita o crescimento de algas nos tanques, o que é desejável, além de evitar oscilações de temperatura.

Figura 72 – Detalhe do sistema de nebulização montado no teto da estufa, ao fundo um dos ventiladores do conjunto de exaustão de ar.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

A não ser que se trate de um sistema muito pequeno, no qual não seja viável a colocação dos tanques de peixes e das bancadas de vegetais em locais separados, para um sistema de grande porte, uma montagem ideal seria colocar todos os tanques de peixe, o sistema de recirculação intensiva em si, em um local coberto, um barracão, e apenas as bancadas de produção vegetal em uma estufa.

A parte de criação de peixes poderia ficar alocada dentro de um barracão pré-moldado, de baixo custo de construção, que, dependendo da região, pode ser de meia parede, com sistemas de cortina, como em aviários, os quais permitem a abertura para circulação de ar em dias mais quentes. Se for fechado completamente é melhor para controle da temperatura interna.

O sistema de pequeno porte foi inicialmente montado no interior de um laboratório, em um local completamente fechado (Figura 73). Nesse período, observou-se uma facilidade muito grande em manter a temperatura da água sob controle com pouco uso de sistemas de resfriamento e aquecimento. O aquecimento era resistivo, diretamente na água. O resfriamento era feito controlando a temperatura do ar com um aparelho de ar condicionado tipo split.

Figura 73 – Sistema de aquaponia de pequena escala montado em local fechado.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Assim, o ambiente climático é importantíssimo na viabilidade de um sistema de aquaponia, pois interfere em um fator muito importante: a temperatura. Portanto, regiões com menor amplitude térmica, com clima e temperatura mais amenos, apresentarão maior viabilidade para projetos de aquaponia.

CAPÍTULO

≈ 4 ≈

DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA AQUAPÔNICO



Aquaponia associada

O dimensionamento do sistema de aquaponia associada é baseado em informações do Southern Regional Aquaculture Center (SRAC) e em observações feitas nos trabalhos com aquaponia realizados na UFGD. Aqui será demonstrado o dimensionamento passo a passo, baseado no exemplo para o sistema de médio porte.

Caso alguém deseje trabalhar com tilápia, com 1.800 peixes e peso final médio de 450 g na despesca, o uso de tanques de fibra de vidro com volume de 2 mil litros para a densidade máxima recomendada de 50 kg de peixe por metro cúbico de tanque deve ser considerado. Assim, para essa situação, teremos 100 indivíduos por metro cúbico, 200 peixes por tanque. Portanto, serão necessários 8 tanques de criação de 2 mil litros. Sempre que possível, deve-se dar preferência aos tanques circulares de fundo cônico, com saída da água pelo centro e entrada pela lateral, o que facilita a remoção dos dejetos gerados.

O segundo passo é dimensionar um dos componentes mais importantes do sistema, que é o decantador, por onde a água que sai dos tanques de criação deve passar primeiro, para a remoção dos sólidos em suspensão (fezes e restos de ração). O volume recomendado para os decantadores é de cerca de 1/4 do volume total de água dos tanques de criação. Para o sistema de criação que está sendo dimensionado, teremos, então, um volume total de 16 mil litros de água em tanques de criação. Para isso, será necessário um sistema de decantação com volume total de 4 mil litros.

Existem dois tipos de decantadores, o de fluxo horizontal e seção retangular, utilizado no sistema de pequeno porte (figuras 13 e 14), e os circulares, de fluxo vertical, descendente/ascendente, utilizado no sistema de médio porte (figuras 21 e 22).

A velocidade nos decantadores deve ser restringida de forma a evitar o arraste de partículas. Para decantadores de fluxo horizontal, recomenda-se que a velocidade seja inferior a $1,25 \text{ cm/s}^{-1}$. Já para decantadores de fluxo vertical (decantadores circulares), recomenda-se que a velocidade do fluxo descendente seja inferior a $0,15 \text{ cm/s}^{-1}$.

Inicialmente, será demonstrado o dimensionamento de um decantador de fluxo horizontal com seção retangular. O tempo de retenção do decantador é calculado dividindo-se o volume do decantador pela vazão de água do sistema. Será considerada no projeto a vazão mínima recomendada, que é de 1/4 do volume dos tanques de criação por hora, assim teremos uma vazão de recirculação

de 4 mil litros por hora e, sendo o volume do decantador de 4 mil litros, logo o tempo de retenção (t_R) será de 1 hora. Em decantadores para esgoto doméstico, são recomendados tempos de retenção de 1,5 a 4 horas, o que, se aplicado nesse caso, resultaria em um decantador de volume muito grande.

$$t_R = \frac{4000 \text{ L}}{4000 \text{ L/h}} = 1 \text{ h}$$

A área superficial de um decantador é importante, pois afeta diretamente a velocidade do fluxo e, em consequência, a decantação. Assim, no dimensionamento, deve ser considerada uma taxa de escoamento superficial, que leva em consideração o tempo de decantação do material em função da sua característica e da qualidade do processo. Já existem valores tabelados para várias finalidades, desde simples sedimentação até clarificação. Com base nos projetos desenvolvidos na Área Experimental de Aquaponia da UFGD, verificou-se boa operação dos decantadores para uma taxa de escoamento superficial em torno de $20 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ dia}$.

Dessa forma, a área superficial do decantador pode ser determinada dividindo-se a vazão diária (metro cúbico em 24 horas) pela taxa de escoamento superficial. A vazão diária é obtida multiplicando-se a vazão horária por 24 horas.

$$\text{Vazão em 24 horas} = \frac{4000}{1000} \times 24 \text{ horas} = 96 \text{ m}^3$$

$$A_s = \frac{96}{20} = 4,80 \text{ m}^2$$

A relação recomendada entre comprimento e largura para decantadores de estações de tratamento, a mesma utilizada aqui, é de:

$$\frac{L}{B} \leq 2,25$$

Assim:

$$L = 2,25 \times B$$

Sendo:

$$L \times B = 4,80 \text{ m}^2, \text{ temos:}$$

$$2,25 \times B^2 = 4,80$$

$$B = \sqrt{\frac{4,80}{2,25}} = 1,46 \text{ m}$$

Como a medida da largura (B) é de 1,46 m, sabendo que o produto da largura pelo comprimento (L) é a área superficial de 4,80 m², determina-se o valor de L, que é:

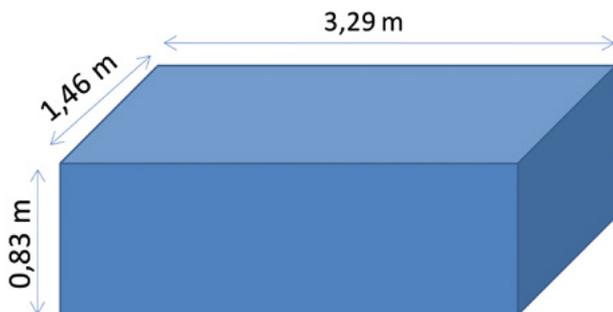
$$L = 4,80/1,46 = 3,29 \text{ m}$$

Considerando que o volume é o produto da área pela altura, sendo o volume do decantador de 4.000 litros (4 m³) e a área igual a 4,80 m², determina-se a altura útil do decantador pela relação:

$$h = 4/4,80 = 0,83 \text{ m}$$

A Figura 74 ilustra as medidas básicas do decantador, determinadas no dimensionamento.

Figura 74 – Dimensões básicas do decantador.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Considerando a vazão e $4 \text{ m}^3/\text{h}$ (4.000 L/h) e a área da seção transversal do decantador, podemos determinar a velocidade do fluxo pela equação da continuidade:

$$v = 4 / (0,83 \times 1,46) = 3,30 \text{ m/h}^{-1} = 0,09 \text{ cm/s}^{-1}$$

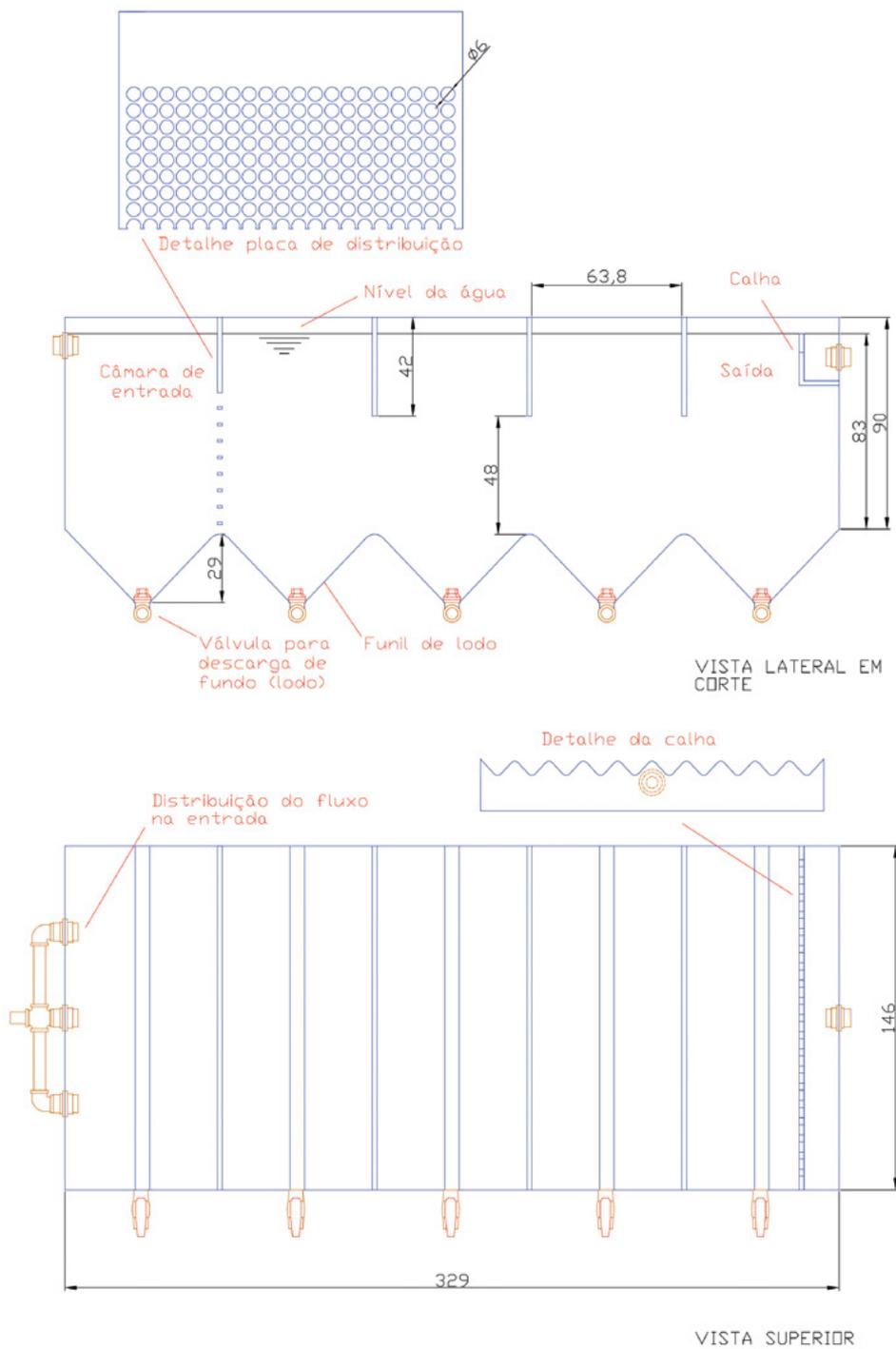
Verifica-se, então, que a velocidade do decantador projetado está bem abaixo do valor máximo recomendado, que é de $1,25 \text{ cm/s}$, o que assegura que não haverá arraste do material em decantação.

Para melhor funcionamento do decantador, ele deverá ter uma zona de entrada por onde a água bruta passará por uma placa perfurada para melhorar a distribuição do fluxo, além de mais três placas igualmente distribuídas na parte superior, conhecidas como placas de clarificação. O objetivo dessas placas é evitar que algum material não decantado passe diretamente para a saída do decantador. Assim, o material fica retido nessa área até decantar.

A Figura 75 mostra o desenho mais detalhado do decantador montado. Considerando a colocação das placas de clareamento, a altura de passagem da água fica reduzida para 50 cm . Portanto, a área transversal do decantador (área livre) para a passagem da água é reduzida de $1,21 \text{ m}^2$ para $0,73 \text{ m}^2$. Dessa forma, a velocidade do fluxo (vazão/área) é aumentada para $0,15 \text{ cm/s}$, ficando ainda muito abaixo do valor máximo permitido.

Deve-se ter cuidado com o fluxo de água na entrada do decantador para não gerar turbulência e obter a melhor distribuição possível. Se necessário, recomenda-se distribuir o fluxo em duas ou três saídas ao longo da largura do decantador conforme mostrado na vista superior na Figura 75.

Figura 75 – Detalhamento construtivo do decantador com medidas em centímetros.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na placa de distribuição, a área de todos os furos somados é de 0,48 m², o que resulta em uma velocidade de 0,23 cm/s nesse trecho, que ainda está bem abaixo da velocidade capaz de causar arraste nesse tipo de decantador.

No entanto, para o sistema de médio porte, pela disponibilidade de material, foram utilizados decantadores circulares, conforme já mostrado nas figuras 21 e 22, os quais são decantadores de fluxo descendente/ascendente, onde o fluxo é radial. Como as caixas de fibra de vidro eram de 2 mil litros, elas foram montadas em dois módulos para somar o volume necessário de 4 mil litros. A caixa de fibra externa de 2 mil litros tinha 1,67 m de diâmetro e a caixa circular interna de 500 litros, 1,08 m de diâmetro. No centro, o tubo de PVC utilizado contava com 30 cm de diâmetro, porém foi colocado de forma errada, pois a área criada pelo seu pequeno diâmetro provocou uma velocidade descendente elevada, dez vezes o valor recomendado (0,15 cm/s), conforme demonstrado a seguir:

$$Área = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,3^2}{4} = 0,071 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{Vazão}{Área} = \frac{4 \text{ m}^3/h}{0,071 \text{ m}^2} = 56,33 \text{ m/h} = 1,56 \text{ cm/s}$$

Já o diâmetro de 1,08 m da caixa circular de 500 litros propicia uma área maior (0,92 m²) e se considera a vazão de 4 m³/h, de velocidade descendente de 0,12 cm/s, abaixo do valor máximo recomendado. A área formada pelo anel externo foi calculada conforme abaixo, sendo que a diferença entre as áreas das caixas de 2 mil e de 500 litros é de 1,27 m² e propicia uma velocidade ascendente de 0,09 cm/s também abaixo do valor máximo recomendado.

$$Área = \frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 1,67^2}{4} - \frac{\pi \cdot 1,10^2}{4} = 2,19 - 0,92 = 1,27 \text{ m}^2$$

A altura da borda ao fundo da caixa circular de 2 mil litros, de 0,9 m nas laterais, ficou dentro da profundidade útil calculada para o decantador de seção retangular, que foi de 0,83 m. A diferença se deve apenas à distância do nível da água para a borda, que foi de aproximadamente 7 cm, ou seja, a distância necessária para evitar transbordamento. A relação entre os diâmetros da caixa circular de 2 mil litros e a interna de 500 litros foi de 1,52.

O sistema de decantação de dois módulos, montado com caixas circulares de fibra de vidro, funcionou muito bem no sistema de médio porte. Houve boa decantação de sólidos no fundo dos dois módulos e não houve passagem de sólidos para as bancadas de produção vegetal, o que é desejável. Não há a necessidade de utilização do tubo de 30 cm no centro dos módulos, pois ele pode agir de forma negativa, aumentando a velocidade do fluxo. Porém, como o funcionamento foi muito satisfatório, o tubo não foi retirado.

Somadas as áreas superficiais dos módulos de decantação de 2 mil litros, tem-se uma área total de 4,37 m², valor muito próximo da área superficial do projeto do decantador retangular de fluxo horizontal, que foi de 4,80 m².

Dividindo a vazão diária pela área superficial (TES), obtemos a taxa de escoamento superficial no sistema de decantação circular conforme segue:

$$TES = \frac{96 \text{ m}^3/\text{dia}}{4,37 \text{ m}^2} = 21,97 \text{ m}^3/\text{dia m}^2$$

Esse valor é também muito similar à taxa de escoamento superficial de 20 m³/dia.m², utilizada no projeto do decantador de fluxo horizontal e que foi observada no decantador retangular de fluxo horizontal usado no sistema de pequeno porte. Isso mostra que essa taxa é bastante adequada ao projeto de decantadores de sistemas superintensivos de criação de peixes e de sistemas aquapônicos.

A seguir, daremos um exemplo de dimensionamento de um único módulo de decantação (decantador circular) para um sistema de médio porte utilizando os parâmetros de projeto levantados.

Começamos por calcular a área superficial da mesma forma feita para o decantador de seção retangular, relacionando a vazão diária com a taxa de escoamento superficial, adotando o valor de 20 m³/dia.m²:

$$A_s = \frac{96}{20} = 4,80 \text{ m}^2$$

Observa-se que essa é a mesma área superficial calculada para o decantador de fluxo horizontal.

Conhecendo a área superficial, determina-se o diâmetro do decantador, ou seja, o diâmetro externo, da seguinte forma:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,80}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,80}{3,14}} = 2,47 \text{ m}$$

Para a determinação do diâmetro do anel interno, é preciso utilizar a mesma relação dos módulos de decantação montados para o sistema de médio porte (1,52). Assim, o diâmetro do anel interno será de:

$$d = \frac{D}{1,52} = \frac{2,47}{1,52} = 1,62 \text{ m}$$

As áreas de passagem de fluxo descendente (AFD) e ascendente (AFA) serão iguais a:

$$AFD = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,62^2}{4} = 2,06 \text{ m}^2$$

$$AFA = 4,80 - 2,06 = 2,74 \text{ m}^2$$

Portanto, os valores das velocidades do fluxo nas seções, na entrada e na saída, do fluxo descendente (VFD) e do fluxo ascendente (VFA) serão os mesmos e iguais a:

$$VFD = \frac{Vazão}{Área} = \frac{4 \text{ m}^3/h}{2,06 \text{ m}^2} = 1,94 \text{ m/h} \cong 0,05 \text{ cm/s}$$

$$VFA = \frac{Vazão}{Área} = \frac{4 \text{ m}^3/h}{2,74 \text{ m}^2} = 1,46 \text{ m/h} \cong 0,04 \text{ cm/s}$$

Esses são valores bem abaixo do valor máximo recomendado (0,15 cm/s), o que garante que não haverá arraste de partículas.

A profundidade útil do decantador, considerando o volume de 4 m³ e a área superficial externa de 4,80 m², será de:

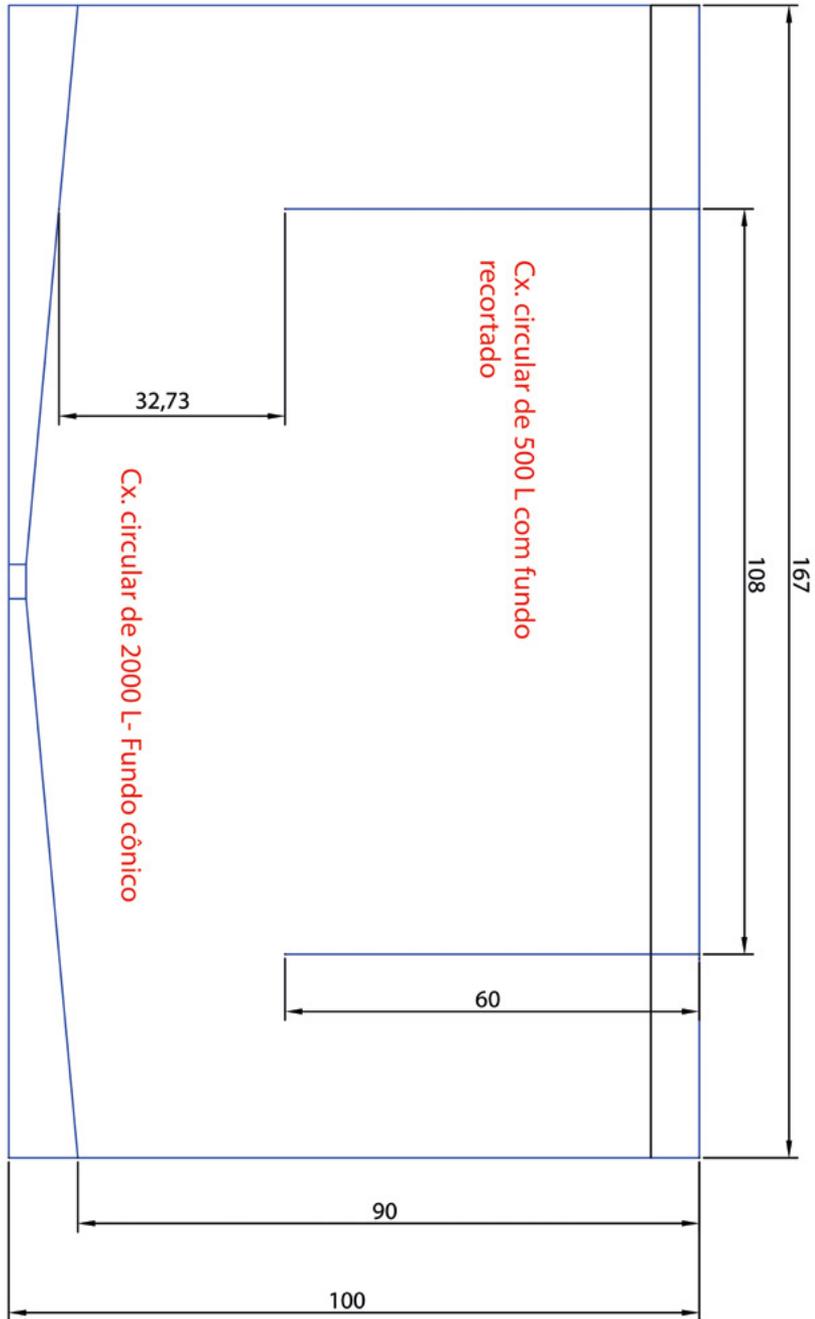
$$h_c = \frac{Vd}{A_e} = \frac{4 \text{ m}^3}{4,80 \text{ m}^2} = 0,83 \text{ m}$$

Essa é a mesma profundidade obtida para o caso do projeto do decantador retangular de fluxo horizontal, pois a área superficial e o volume são os mesmos.

A profundidade é função do volume e da área superficial que, por sua vez, é afetada pela taxa de escoamento superficial. A utilização de uma taxa maior implicaria numa menor área superficial e numa maior profundidade do decantador. Porém, em função da velocidade de sedimentação das partículas, se o decantador for muito profundo, a partícula pode não atingir o fundo e ser arrastada pelo fluxo. Conforme já comentado anteriormente, a taxa de escoamento de $20 \text{ m}^3/\text{m}^2$ dia, observada experimentalmente, se mostrou bastante adequada ao projeto dos decantadores.

Com relação à altura do anel interno, ela deve ser menor do que a profundidade do decantador para possibilitar a passagem do fluxo para o segundo anel, e a área de passagem deve possibilitar que a velocidade do fluxo seja inferior ao valor máximo recomendado para evitar arraste. No caso dos módulos de decantação do sistema de médio porte implantado na UFGD, a altura da parede do decantador era de 90 cm e a altura da parede do anel interno era de 60 cm, deixando um espaço de 30 cm para a passagem do fluxo (Figura 76).

Figura 76 – Dimensões dos módulos de decantação do sistema de médio porte.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Com isso, a área de passagem calculada através do produto do perímetro do anel interno pela sua distância ao fundo foi a seguinte:

$$A_p = P_m \cdot \Delta h = \pi \cdot d \cdot \Delta h = 3,14 \cdot 1,08 \cdot 0,327 = 1,11 \text{ m}^2$$

A relação entre a vazão (4 m³/h) e essa área resultou em uma velocidade de 0,10 cm/s (3,6 m/h), ou seja, abaixo do valor máximo estabelecido de 0,15 cm/s. Assim, podemos usar esse valor de velocidade para estabelecer a altura do anel interno do projeto de decantador de um único módulo para o sistema de médio porte.

Com isso, a área de passagem que foi calculada pela mesma vazão (de 4 m³/h) e a velocidade de fluxo (3,6 m/h) também será 1,11 m².

$$A_p = \frac{Q}{v} = \frac{4 \text{ m}^3/\text{h}}{3,6 \text{ m/h}} = 1,11 \text{ m}^2$$

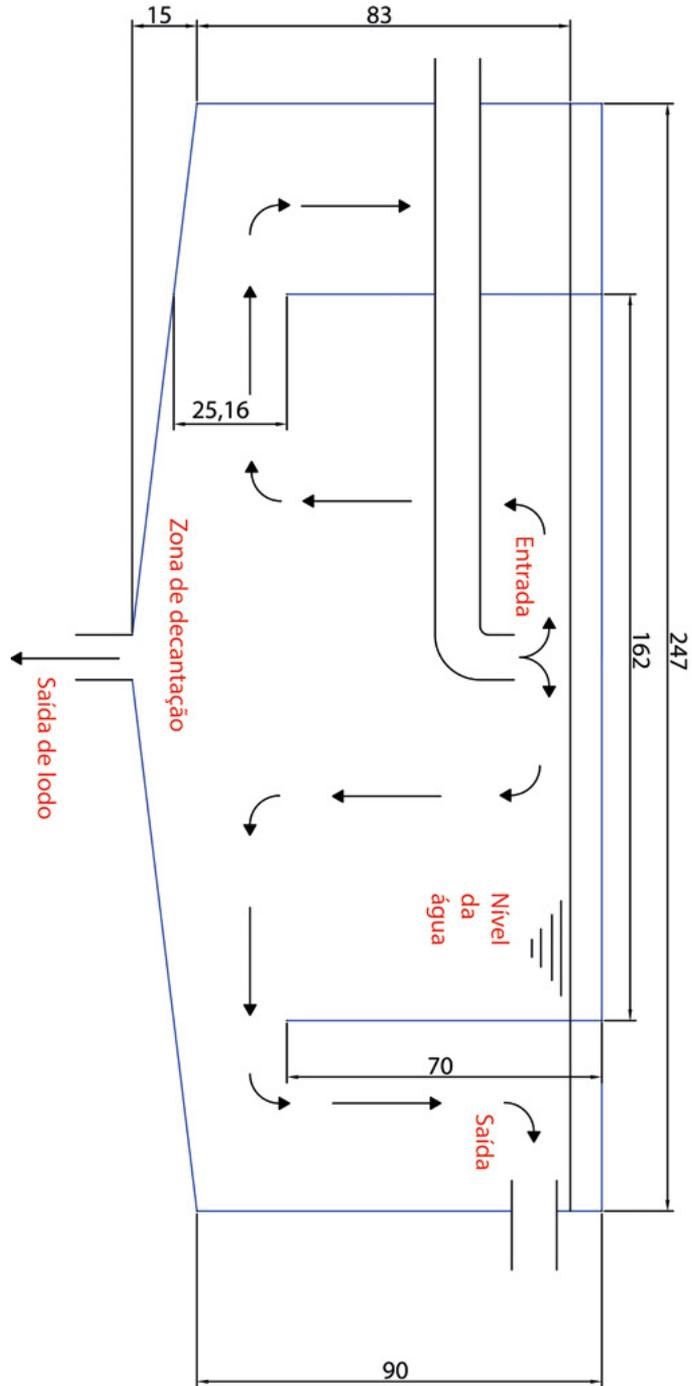
Com essa área, por meio do perímetro do anel interno, podemos determinar a diferença dele em relação à parede externa do decantador e à altura do anel interno, considerando que a altura total da parede externa do decantador seja de 90 cm, deixando 7 cm do nível da água até a borda para evitar transbordamento.

$$\Delta h = \frac{A_p}{P_m} = \frac{A_p}{\pi \cdot d} = \frac{1,11}{3,14 \cdot 1,75} = 0,20 \text{ m}$$

$$h_i = 0,90 - 0,20 = 0,70 \text{ m}$$

Para a inclinação do fundo, pode ser utilizada a relação de 1/8 do raio. Assim, como o raio do decantador é de 1,24 cm, dividindo esse valor por 8, teremos que a saída de lodo deverá estar cerca 15 cm abaixo do limite inferior da parede do decantador. A Figura 77 mostra o desenho do decantador projetado com todas as medidas.

Figura 77 – Dimensões do decantador circular projetado.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Se o decantador for bem projetado e estiver funcionando bem, com a vazão adequada conforme o projeto, não se verifica sinais de fluxo ou turbulência na superfície, como pode ser visto na Figura 78. Tem-se a impressão de que a água está parada, pois a velocidade é muito baixa.

Figura 78 – Superfície de decantadores em operação.

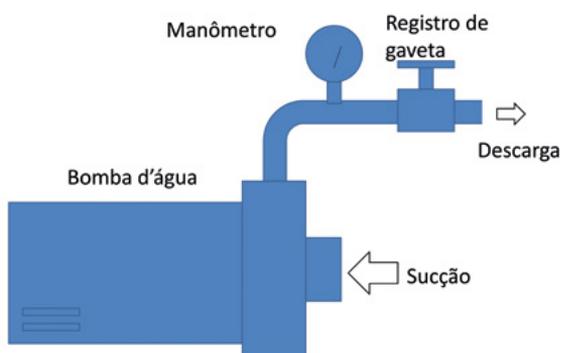


Fonte: Acervo pessoal do autor.

Se a água estiver em movimento perceptível na superfície, é indicativo de mau funcionamento causado por erro de projeto ou vazão muito acima do valor de projeto. É importante, assim, ajustar a vazão correta.

O ajuste da vazão da bomba d'água é feito por meio da sua curva característica, fornecida pelo fabricante em catálogos técnicos. Na curva característica, a vazão é mostrada num gráfico em função da altura manométrica ou pressão. Instala-se um manômetro na saída da bomba e na sequência, um registro de gaveta (Figura 79). Com o registro totalmente aberto, tira-se a leitura da pressão e entra na curva característica para verificar a vazão. Se estiver acima do recomendado, é preciso procurar, na curva característica, a pressão correspondente à vazão desejada e fechar o registro gradativamente até obter essa pressão no manômetro.

Figura 79 – Esquema de instalação de manômetro e registro para ajuste de vazão.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O funcionamento incorreto do decantador vai permitir a passagem de material sólido para o filtro biológico e para as bancadas de cultivo, provocando entupimentos e subdesenvolvimento das plantas, pois, aderido às raízes, o resíduo forma um bloqueio de absorção conforme pode ser visto da Figura 80, a qual mostra uma raiz de tomateiro bem desenvolvida, limpa, e outra subdesenvolvida devido à aderência de material particulado, deficiência que se reflete na planta.

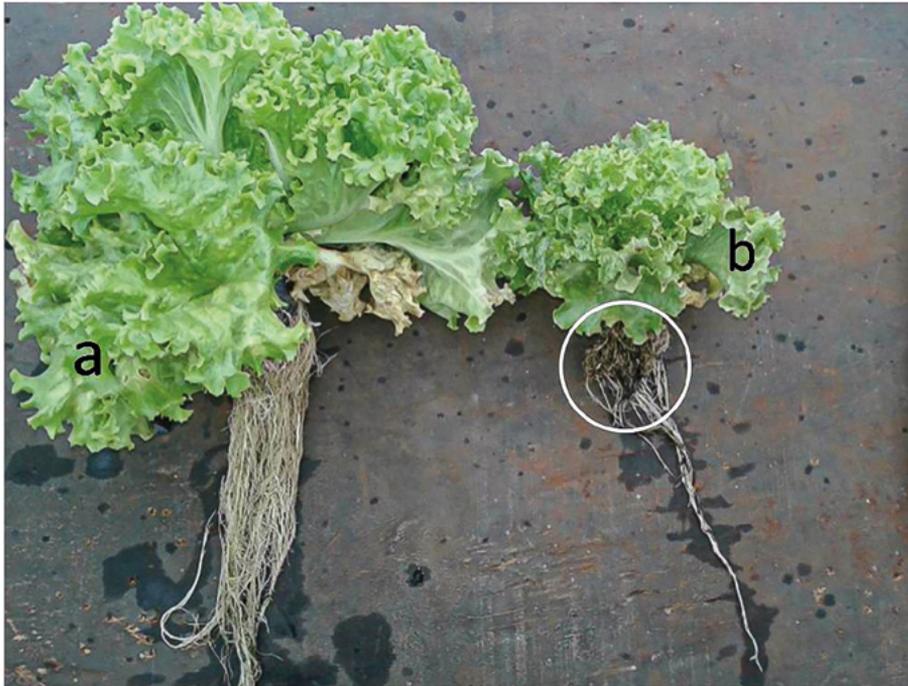
Figura 80 – Raízes de tomateiro: a) sistema com boa decantação; b) sistema com problema de decantação.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

A Figura 81 mostra a mesma situação para dois pés de alface de mesma idade.

Figura 81 – Pés de alfaces de mesma idade: a) sistema com boa decantação; b) sistema com problema de decantação.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Após o decantador, o próximo componente é o filtro biológico, o qual, conforme já comentado anteriormente, não deve ser dispensado do sistema pela presença das plantas. Ele serve para converter os nutrientes em formas mais disponíveis para as plantas, além de assegurar a remoção de amônia mesmo havendo variação no número de plantas.

O filtro biológico tem a função de fazer a nitrificação, que é a conversão da amônia em nitrato (NO^{-3}). Esse processo ocorre pela ação de dois grupos de bactérias, as nitrosomas e as nitrobacters. As nitrosomas são responsáveis pelo processo de nitritação, que é a conversão da amônia em nitrito (NO^{-2}). As nitrobacters são responsáveis pelo processo de nitratação, que é a conversão do nitrito em nitrato.

Como o processo de nitrificação requer oxigênio, para isso ocorrer de forma satisfatória, é necessário que a concentração de oxigênio dissolvido na água seja superior a 2 mgL^{-1} , principalmente devido às nitrobactérias que são mais sensíveis à ausência de oxigênio.

Vários materiais podem ser utilizados, assim como vários modelos de filtro: inundado, parcialmente inundado (figuras 43 e 45) e percolador (figuras 65, 66 e 67). No caso do sistema de médio porte, a preferência por um inundado se deu pela disponibilidade de certos materiais e a indisponibilidade de outros. No entanto, indiferente ao modelo, a questão principal é determinar a área necessária para a fixação de bactérias nitrificantes.

Essa área é determinada com base na quantidade de ração ministrada diariamente. A recomendação do SRAC é de 83 m^2 de superfície específica para cada quilograma de ração. Por exemplo, para o dimensionamento do sistema médio, na pior situação, quando os peixes vão consumir maior quantidade de ração, o que vai acontecer quando já estiverem próximo do peso médio para o abate, ou seja, 450 g , considerando uma taxa de alimentação de 2% , teremos o seguinte consumo diário (CDR):

$$CDR = 450\text{g} \cdot 1600\text{peixes} \cdot \frac{2\%}{100} = 14400 \text{ g} = 14,4 \text{ kg}$$

Então, a área de material filtrante (AMF) deverá ser de:

$$AMF = 14,4 \text{ kg} \cdot 83 \text{ m}^2/\text{kg} = 1195,2 \text{ m}^2$$

Uma vez determinada a área de material filtrante (AMF), conhecendo-se a superfície específica do material utilizado, é possível determinar o volume de material e, assim, o volume do filtro. A escolha do material vai depender da disponibilidade, do custo e da facilidade de manuseio e manutenção. A Tabela 6 mostra dados de superfície específica e densidade para alguns materiais que podem ser utilizados como recheio para filtro biológico.

Materiais mais leves são mais fáceis de manusear e de fazer a manutenção, que consiste na limpeza quando aparenta muito material depositado, uma vez que a fração solúvel não é retirada no decantador, devido ao longo tempo de deposição. Então, esse material fino acaba se depositando nas bancadas de cultivo e no filtro biológico, o que vai exigir uma limpeza que pode ser feita até anualmente.

Tabela 6 – Superfície específica e densidade de alguns materiais.

Material	Superfície específica (m ² /m ³)	Densidade (kg/m ³)
Pedra brita n. 1 (9,5 mm a 19 mm)	420	1410
Argila expandida (15 mm a 22 mm)	420	500
Recheio plástico de torre de resfriamento tipo filme	100-150	13,75

Fonte: Elaborada pelo autor.

No caso do nosso exemplo de dimensionamento, se a opção fosse por brita ou argila expandida, de acordo com o valor de superfície específica mostrado na Tabela 5, o volume de material (VM) seria de:

$$VM = \frac{1195,2 \text{ m}^2}{420 \text{ m}^2/\text{m}^3} = 2,85 \text{ m}^3$$

A diferença entre esses dois materiais está no peso. O recheio com brita, devido à maior densidade, pesaria 4.018 kg; já com argila expandida, o peso total seria de 1.425 kg, pouco mais de 1/3 do peso da brita. Em termos de custo, a brita pode ser encontrada por 1/6 do valor da argila expandida.

No entanto, não apenas o aspecto financeiro deve ser analisado, mas também as questões técnicas. Devido ao peso, não é possível utilizar um reservatório de água para acomodar a brita. Por exemplo, um reservatório de fibra de vidro de 3 mil litros, feito para suportar 3 mil kg, não suportaria os 4.018 kg do recheio de brita. Seria necessário o uso de um reservatório mais reforçado, que teria um custo maior. A remoção da brita para a limpeza é muito mais custosa e pesada, enquanto o manuseio da argila expandida é mais fácil por ser mais leve.

Porém, com a argila expandida não é possível trabalhar com filtro totalmente inundado, pois ela é um material mais leve do que a água e, por isso, tende a flutuar (Figura 82). Nesse caso, o filtro deve ser parcialmente inundado (Figura 83), com o nível da água atingindo, no máximo, 76% da altura da coluna de argila expandida (Figura 84), caso contrário, haverá flutuação.

Figura 82 – Argila expandida flutuando em reservatório totalmente cheio de água.



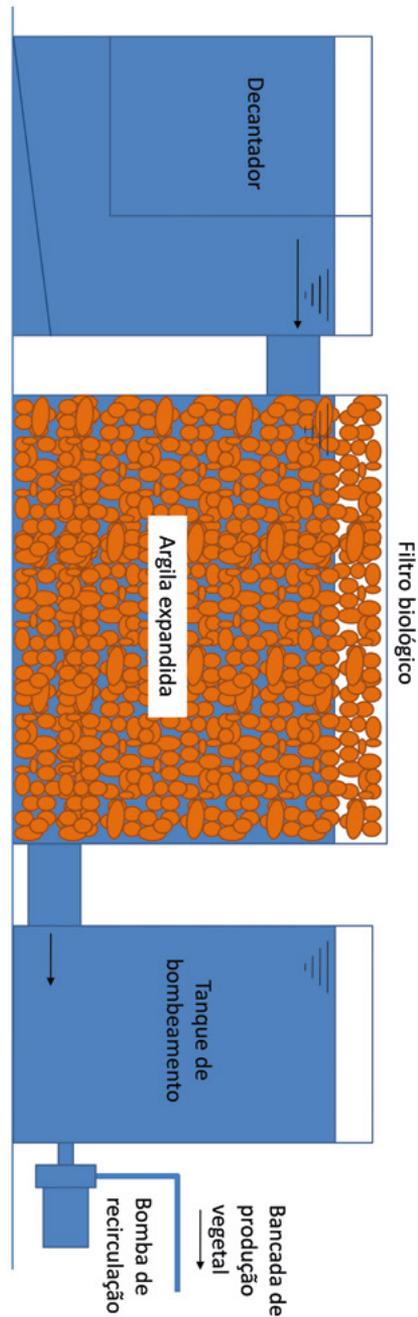
Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 83 – Reservatório parcialmente inundado para evitar flutuação.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 84 – Utilização de filtro parcialmente inundado com argila expandida.

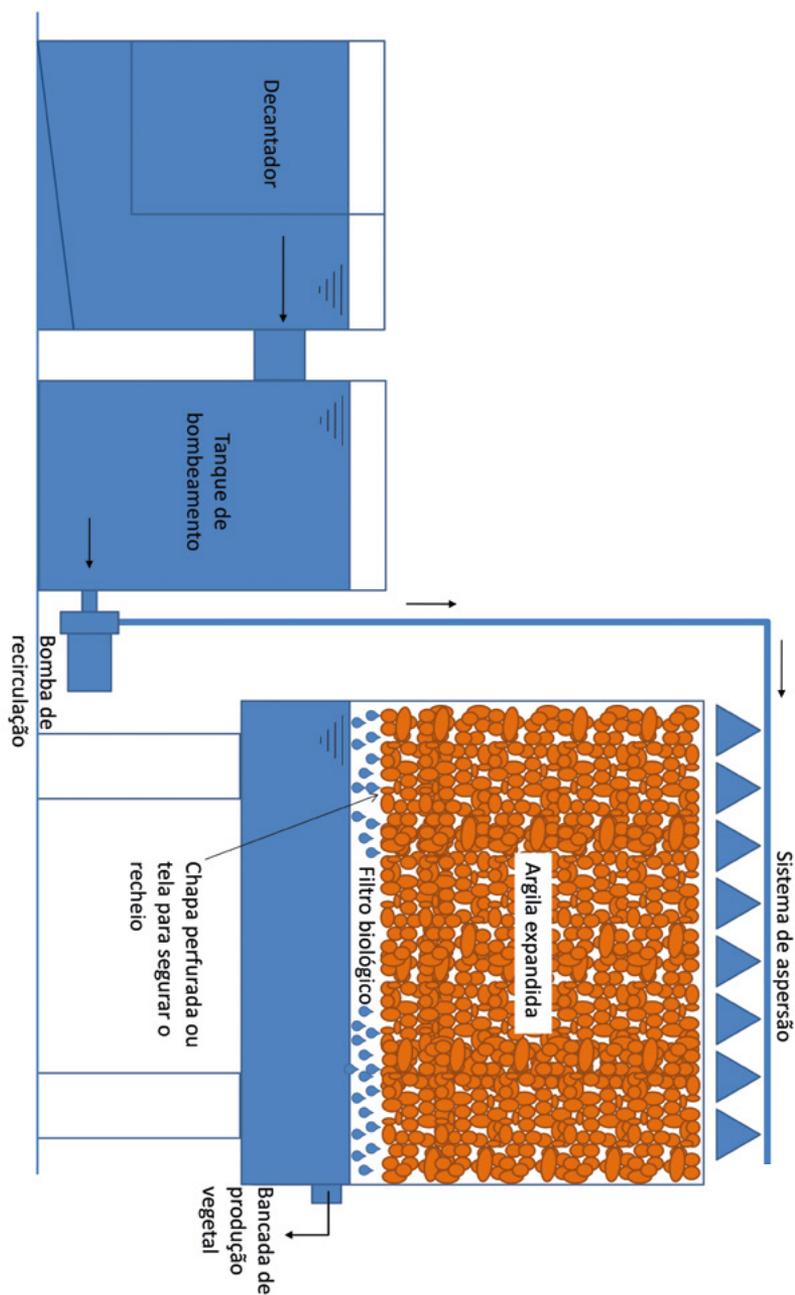


Fonte: Elaborada pelo autor.

Outra opção é trabalhar com filtro percolador (Figura 85). Para isso, é preciso garantir uma boa distribuição do fluxo sobre a camada que permanecerá

fora da água, o que pode ser obtido com o uso de um sistema tipo chuveiro, com tubos perfurados. O sistema de aspersão também pode ser fixo ou móvel.

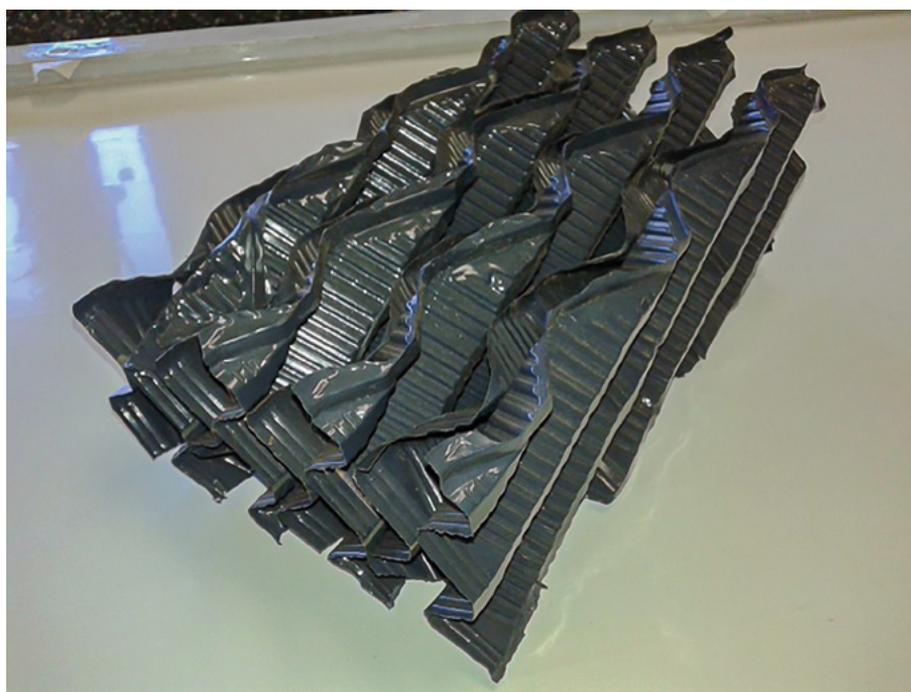
Figura 85 – Montagem de filtro percolador e aspersão fixa com argila expandida.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O uso de um enchimento plástico tipo filme (Figura 86), utilizado em torres de resfriamento, por se tratar de um material leve, de fácil manuseio e de elevada superfície específica, pode ser uma boa opção, desde que o custo seja favorável, o que vai depender da proximidade com os fabricantes desse material, já que, devido ao seu volume e à sua baixa densidade, o frete costuma encarecer o seu custo. Na porta das fábricas, é possível que ele seja encontrado a um valor médio de até R\$ 600,00 o metro cúbico, porém, dependendo da distância, esse valor pode ser mais que o dobro.

Figura 86 – Bloco de enchimento plástico tipo filme.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

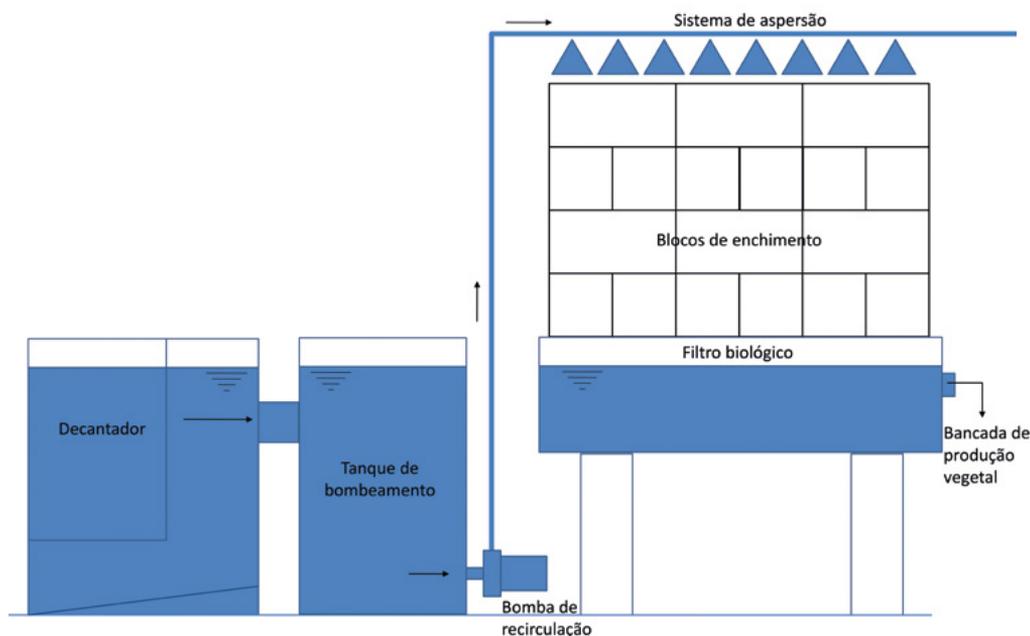
O uso dessa opção no exemplo de dimensionamento vai resultar no seguinte volume de enchimento plástico:

$$VM = \frac{1195,2 \text{ m}^2}{150 \text{ m}^2/\text{m}^3} = 7,97 \text{ m}^3$$

O enchimento plástico é normalmente vendido em blocos com medida de base e altura de 30 cm x 30 cm, e o comprimento pode variar de acordo com a especificação do cliente, com medidas de 90 cm, 120 cm a 180 cm, por exemplo. A montagem é feita como foi apresentada na Figura 66, onde os blocos são dispostos sobre um reservatório, que tem como função coletar a água que cai do recheio plástico. Para evitar respingos para fora desse reservatório, os blocos devem ser envolvidos por uma cortina plástica, de preferência, que não seja transparente, para evitar o crescimento de algas. A Figura 87 esquematiza como seria a montagem desse tipo de filtro no sistema de médio porte.

No filtro biológico do sistema de médio porte, conforme já comentado, foi dada a opção pela tela de sombreamento com fio de polipropileno. Trata-se de um material leve e que fornece boa superfície específica, aproximadamente $1 \text{ m}^2/\text{m}^2$ de área de tela de 50% de sombreamento. Essa tela, bem dobrada, sem compactar (Figura 88), fornece uma superfície específica de $868 \text{ m}^2/\text{m}^3$, com uma densidade de aproximadamente $36 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Figura 87 – Esquema de como seria a montagem do filtro biológico com blocos de enchimento no sistema de médio porte.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 88 – Tela de 50% sombreamento dobrada.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Considerando a área de 1.195,2 m² para a fixação de bactérias nitrificantes, com a relação de 1 m²/m² de área de tela de 50% de sombreamento, foi necessária a mesma área superficial de tela, ou seja, 1.195,2 m². Para a montagem do filtro, foram utilizados três rolos de 100 m de tela com largura de 4 m, totalizando 1.200 m². Para o volume do filtro, considerando a superfície específica de 868 m²/m³, o resultado seria o seguinte:

$$VM = \frac{1195,2 \text{ m}^2}{868 \text{ m}^2/\text{m}^3} = 1,38 \text{ m}^3$$

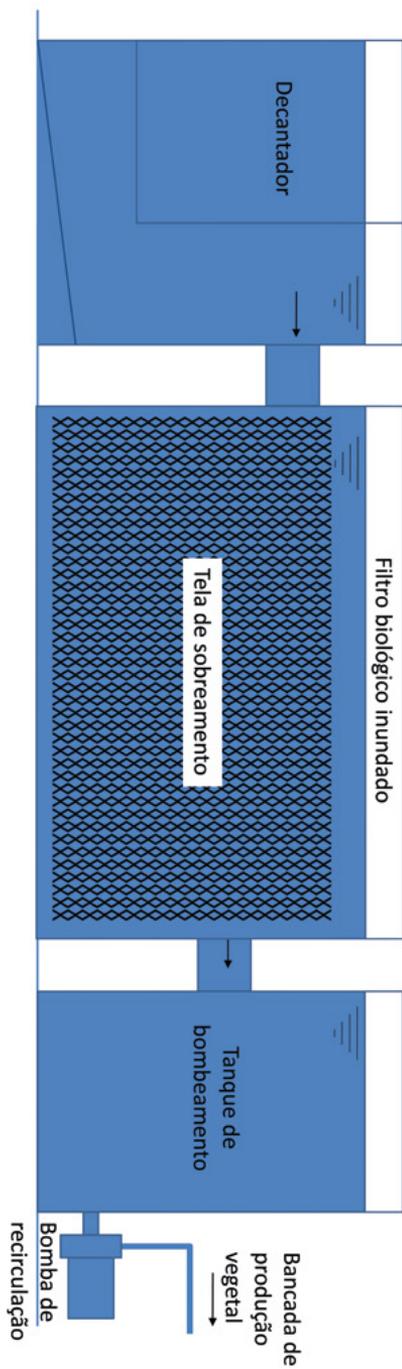
No caso, optou-se pelo uso de um reservatório circular de fibra de vidro, com volume de 2 mil litros. Assim, levando em conta a vazão de 4 mil litros por hora, o resultado do tempo de retenção hidráulica foi de 0,5 horas.

A tela de sombreamento é um material muito fácil de ser encontrado no mercado devido ao seu uso agrícola. Em termos de valor, ela pode ser encontrada por um preço médio de R\$ 2,00 o metro quadrado, resultando em um custo

de R\$ 1.763,00 por metro cúbico de filtro. Como o volume utilizado é menor, o custo total para o filtro do sistema de médio porte foi de R\$ 2.400,00. Se fosse empregado o bloco de enchimento, o custo, considerando a melhor situação, seria de R\$ 4.782,00. Para a opção com argila expandida, o custo para o enchimento seria de aproximadamente R\$ 1.710,00. O menor custo seria obtido com a brita, R\$ 285,00, porém, a pedra brita é a pior opção em termos de manuseio devido ao seu peso elevado. A tela de sombreamento apresenta a melhor opção para manuseio, podendo ser facilmente retirada e lavada quando necessário. Tanto a sua remoção quanto a recolocação são rápidas.

A montagem da tela de sombreamento foi feita em sistema totalmente inundado, conforme mostrado na Figura 24 e no esquema da Figura 89. O tanque de bombeamento e a bomba de recirculação foram colocados após o filtro biológico. É importante ressaltar a necessidade de oxigenação do filtro inundado para que o processo de nitrificação possa ocorrer de forma satisfatória. Nos filtros parcialmente inundado (Figura 84) e de percolação (figuras 85 e 86) a oxigenação ocorre durante a aspersão e a queda da água através do material filtrante, sendo uma vantagem desses tipos de filtro.

Figura 89 – Esquema de montagem do filtro biológico inundado com tela de sombreamento de 50%.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Depois de passar por decantação e filtragem biológica, a água pode seguir para as bancadas de produção vegetal e depois retornar aos tanques de criação. A bomba de recirculação do tanque de bombeamento é responsável por mandar a água para as bancadas de produção vegetal. Conforme já comentado anteriormente, no sistema de médio porte, pelo fato de o terreno ser em nível, foi necessário utilizar duas bombas d'água, uma para mandar água para as bancadas de produção vegetal, outra para enviar a água recolhida das bancadas para os tanques de criação. Se houvesse desnível entre os tanques de criação e as bancadas de vegetais, poderia ser utilizada apenas uma bomba d'água.

Em relação à área de produção vegetal, a recomendação do SRAC varia de 60 g a 100 g de ração ministrada diariamente para cada metro quadrado de área de cultivo. Os sistemas da Área Experimental de Aquaponia da UFGD foram dimensionados pela média geral de consumo diário de ração.

Considerando um ciclo de crescimento de seis meses, de 30 g para 450 g, para uma conversão alimentar de 1,30, haverá o resultado médio diário de 3 g por peixe, o que dá uma relação de vinte peixes para cada metro quadrado de área de cultivo, aproximadamente 60 g de ração para cada metro quadrado, considerando a média geral.

O dimensionamento dessa forma possibilita ter peixes em várias fases de crescimento no sistema e, ainda assim, fornecer a quantidade necessária de nutrientes para manter a área de cultivo, pois, conforme já comentado anteriormente, não é interessante alojar os peixes todos de uma vez, mas, sim, de forma escalonada para que a oferta de peixe possa ter uma maior frequência e também para que o sistema não fique vazio.

Seguindo essa relação para o sistema médio, tem-se a seguinte área de cultivo (AC):

$$AC = \frac{1600 \text{ peixes} \cdot 3 \text{ g/dia}}{60 \text{ g/m}^2} = 80 \text{ m}^2$$

No entanto, no espaço restante da estufa do sistema de médio porte, na parte não ocupada pelo sistema de criação de peixes, foi possível acomodar apenas 4 bancadas de cultivo de 12 m de comprimento por 1,20 m de largura, resultando em uma área de cultivo de aproximadamente 58 m². Por outro lado, a quantidade de peixes alojados tem sido menor. Para essa área de cultivo, a quantidade de peixe deve ser ajustada para no máximo 1.120 indivíduos.

A montagem e a composição das bancadas de cultivo já foram descritas e mostradas nas figuras 27 a 32, que apresentam o emprego das placas de forro de PVC como suporte de cultivo. A Figura 32 detalha a instalação, mostrando a necessidade de deixar um espaço entre a placa e a água para que as raízes das plantas não fiquem totalmente afogadas.

A seguir, a Figura 90 mostra o uso de placas de poliestireno expandido (EPS) como suporte de cultivo. Na verdade, os *floatings* são normalmente montados com placas de EPS, daí a sua designação. A vantagem do uso do EPS é que esse material flutua sobre a água, ficando sempre nivelado com a superfície, o que faz com que as raízes tenham contato suficiente com a água, evitando que as plantas fiquem muito afogadas, o que pode ocorrer quando são utilizadas placas sustentadas pelas laterais das bancadas devido à possível oscilação no nível da água, como é caso do forro de PVC.

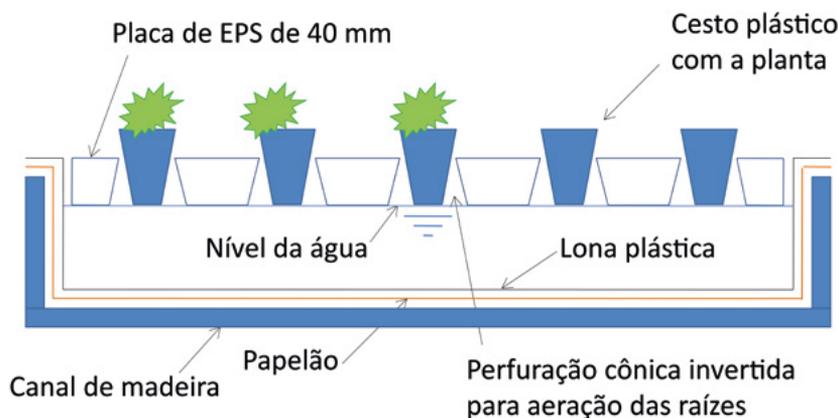
Figura 90 – Canais de cultivo (*floating*) com placas de poliestireno expandido (EPS) de 40 mm de espessura.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

O recomendado, quando se utiliza EPS, é que as placas tenham 40 mm de espessura e que os cestos de cultivo sejam colocados de forma que apenas o seu fundo toque a superfície da água (Figura 91) para garantir melhor oxigenação das raízes.

Figura 91 – Esquema de instalação e furação de placa de EPS para *floating*.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para completar o projeto do sistema, ainda ficou faltando o sistema de oxigenação. O SRAC recomenda 0,5 kg de oxigênio para cada kg/hora de comida e estima a relação com o consumo de energia em 0,455 kg de O₂/kWh. Assim, a potência do soprador pode ser determinada conforme segue:

$$\text{Comida / hora} = \frac{14,4 \text{ kg}}{24 \text{ h}} = 0,6 \text{ kg/h}$$

$$\text{Oxigênio} = 0,6 \text{ kg/h} \cdot 0,5 = 0,3 \text{ kg/h}$$

$$\text{Potência} = \frac{0,3 \text{ kg/h}}{0,455 \text{ kg/kWh}} = 0,65 \text{ kW}$$

Para a relação 0,736 kW/CV, tem-se 0,89 cv, resultando em uma potência comercial de 1 cv para o soprador.

No sistema de médio porte, inicialmente foi utilizado um soprador (compressor radial) de 3/4 de cv, o mesmo modelo mostrado na Figura 56, o qual funcionou muito bem, conforme demonstrado na Figura 92. O fato de um número de peixes bem menor do que o projetado ter sido alojado colaborou para isso.

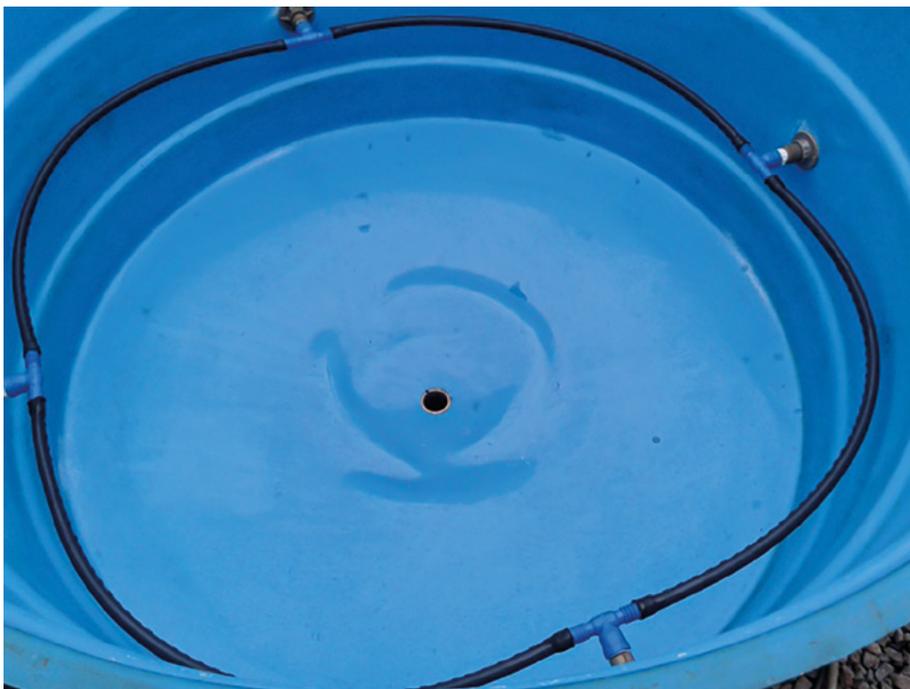
Figura 92 – Tanques de criação com bolhas de oxigênio na superfície.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

A linha principal foi montada com tubo de PVC de 40 mm. As derivações da linha principal aos tanques foram feitas com tubos de PVC de 25 mm. No interior dos tanques, foram montados difusores em anel, com mangueira preta de 12 mm (Figura 93) perfurada com furos de 2 mm e distância de 1,5 cm entre os furos (Figura 94).

Figura 93 – Difusor em anel feito com mangueira preta perfurada.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 94 – Detalhe do difusor com mangueira preta perfurada.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Para evitar o levantamento de sedimentos do fundo, os difusores foram instalados a 50 cm do fundo e a 40 cm da borda do tanque (Figura 95).

Figura 95 – Ponto de instalação do difusor e tomada de ar para o tanque de criação.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Após um ano de funcionamento dos difusores, houve a queima do soprador e, para substituí-lo, foi utilizada uma bomba d'água de 1/2 cv, a qual promove a recirculação da água entre os tanques, promovendo a oxigenação (Figura 96).

Figura 96 – Bomba d'água utilizada para substituir o soprador queimado (ao fundo).



Fonte: Acervo pessoal do autor.

A linha usada para a injeção de ar nos tanques foi conectada à sucção da bomba d'água. A descarga é feita pela parte superior, junto com a entrada de água da bomba que faz o recalque da água das bancadas de produção vegetal (Figura 97). Para promover a oxigenação, foram montados difusores do tipo injetor utilizando tampão de PVC de 25 mm com três a quatro furos de 4 mm.

Figura 97 – Sistema de oxigenação com bomba d'água.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Com relação à bomba d'água ou bombas d'água, uma vez determinada a vazão de recirculação (1/4 do volume de água dos tanques de criação por hora), é necessária apenas a seleção, a qual é feita com o auxílio de catálogos técnicos de fabricantes por meio de curva característica ou tabelas em que a vazão é dada em função da altura manométrica em m.c.a. (metros de coluna d'água). Após a instalação, o ajuste de vazão é feito conforme descrito na Figura 79.

A altura manométrica é a soma da elevação mais a perda de carga devido ao atrito da própria tubulação e das conexões. Em geral, os catálogos mais completos, que hoje podem ser obtidos facilmente pela internet, trazem tabelas de perda de carga para tubulações e conexões de metal e PVC em função do diâmetro e do tipo de conexão. Inclusive, essas tabelas já trazem orientação em relação ao diâmetro adequado para cada vazão.

Aquaponia dissociada

A aquaponia dissociada, conforme já comentado e apresentado nas figuras 7 a 10, é uma forma de aproveitar os resíduos sólidos gerados no sistema de cria-

ção intensiva de peixes e pode ser desenvolvida também com a aquaponia associada. Para isso, é necessária a utilização de um biodigestor, peça fundamental do sistema. O projeto do biodigestor é baseado na quantidade de resíduos gerados diariamente, proveniente da descarga de fundo dos tanques de criação e da limpeza do decantador e filtros.

Porém, não se pode destinar todo o material resultante das limpezas diretamente para o biodigestor, caso contrário resultaria em um biodigestor com uma câmara de digestão muito grande. É necessário, antes, fazer uma decantação desse material para separar a água residuária do material pesado (fezes e restos de ração). Apenas o material pesado deve ser destinado ao biodigestor. Assim, é necessário prever e projetar um tanque de decantação.

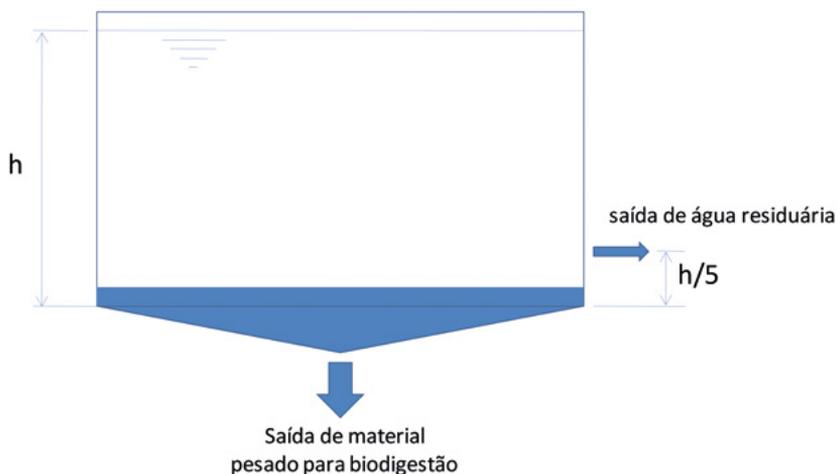
Com base em dados obtidos na condução dos sistemas de aquaponia na Área Experimental da UFGD, observou-se que a geração média diária de descarga foi 272 ml por peixe, cerca de 177 ml por grama de ração. O volume médio de dejetos pesado decantado para a biodigestão foi de pouco mais de 4,25% desse volume, cerca de 12,89 ml por peixe, 8,4 ml por grama de ração.

Com base nesses dados, é possível projetar o volume do tanque de decantação e do biodigestor. Vamos considerar o dimensionamento para o sistema de médio porte conforme foi desenvolvido para o dimensionamento do sistema associado.

Considerando a quantidade de 1.600 peixes, o volume diário proveniente das descargas será de aproximadamente 435 L. Então, poderá ser utilizado um reservatório de 500 L para coletar e decantar as descargas. Esse reservatório, de preferência, deve ter fundo cônico para permitir a remoção do dejetos pesado pela parte inferior.

A retirada da água residuária deverá ser feita pela lateral do tanque (Figura 98). Para que o material decantado possa fluir de forma satisfatória, evitando entupimentos, é necessário enviar um pouco mais de água para garantir a fluidez. Assim, o ponto de coleta pode ser posicionado a 1/5 da base, de forma que o biodigestor passará a receber 20% do material coletado diariamente

Figura 98 – Esquema de separação de água residuária e material concentrado para biodigestão.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Assim, a quantidade de material removido diariamente para o biodigestor passará a ser um pouco maior, 54 ml por peixe ou 36 ml por grama de ração.

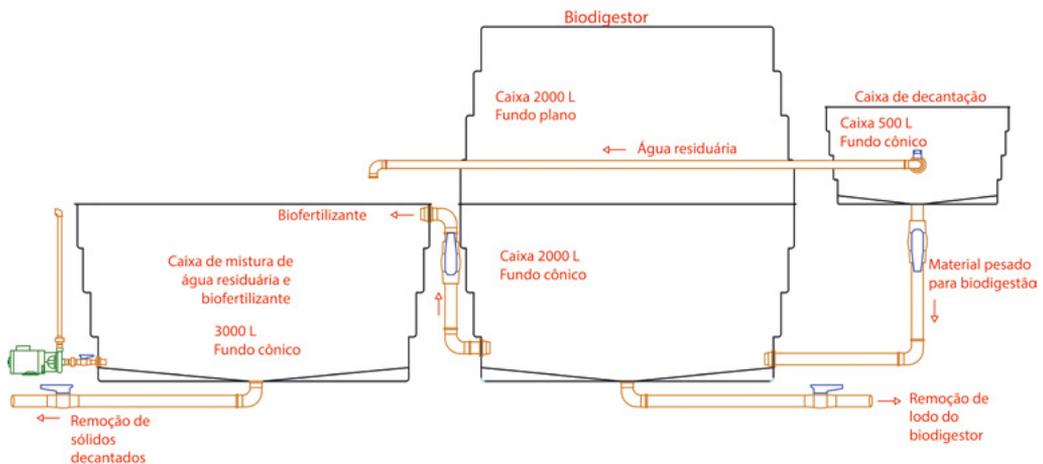
Para determinar o volume da câmara de digestão, é necessário considerar o tempo de retenção do material no biodigestor de modo que o processo de biodigestão ocorra satisfatoriamente. Nos biodigestores montados na Área Experimental, foi empregado um tempo de retenção de 20 dias. Assim, considerando esse tempo de retenção, 1.600 peixes, 54 ml de material por peixe/dia, tem-se um volume de 1.728 L para a câmara de digestão do biodigestor.

Biodigestores de grande volume são montados com lona vinílica especial para essa finalidade, conforme mostrado na Figura 42, referente ao biodigestor do sistema de grande porte. Já biodigestores de pequeno volume, como o que está sendo projetado, podem ser montados de forma muito simples, com reservatórios de fibra de vidro, conforme o biodigestor do sistema de aquaponia mostrado na Figura 9. Basta utilizar dois reservatórios de mesmo tamanho e fazer a união pela borda, colocando um de boca para o outro. A fixação é feita com parafusos e adesivo flexível de poliuretano para selar e evitar vazamentos. O reservatório superior (cúpula) vai constituir o gasômetro rígido, o inferior, a câmara de digestão. Tem-se, então, um biodigestor de cúpula rígida.

Para exemplificar, podem ser utilizados dois reservatórios circulares de fibra de vidro de 2 mil litros. Assim, o tempo de retenção será um pouco maior, de aproximadamente 23 dias. O biodigestor será alimentado diretamente pela caixa de separação ou decantação. A água residuária será destinada a uma caixa de estocagem para posterior mistura com o biofertilizante, conforme descrito anteriormente. Essa caixa deverá ter o volume suficiente para estocar o volume total gerado durante uma semana (água residuária mais biofertilizante), que é o tempo de esgotamento da solução que circulará na bancada de produção vegetal do sistema dissociado. Assim, o volume desse reservatório deverá ser de 3 mil litros.

A Figura 99 ilustra como deve ser o sistema de separação, biodigestão, mistura de água residuária e biofertilizante. As caixas utilizadas para a separação, a mistura e a da base do biodigestor devem possuir fundo cônico para permitir a remoção de material sólido decantado. O lodo retirado do biodigestor é rico em nutrientes e pode ser utilizado como adubo para plantas cultivadas em solo.

Figura 99 – Esquema de montagem do sistema de separação, biodigestor e caixa de mistura.



Fonte: Elaborada pelo autor.

No gasômetro (cúpula), deverá ser instalado um registro para a remoção do biogás. Ao contrário do que já se pensou, a quantidade de biogás produzida é muito pequena, o que inviabiliza o seu uso no sistema, por exemplo, para o aquecimento da água da criação. Conforme apurado em experimentos realizados na Área Experimental de Aquaponia da UFGD, a produção média de biogás varia

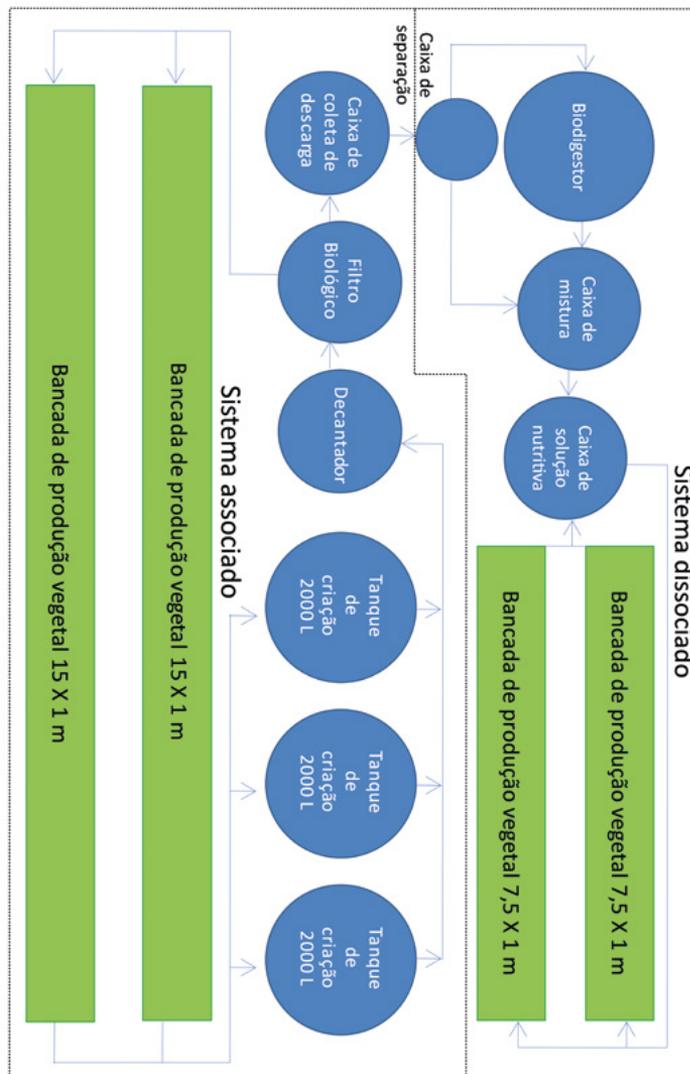
de 12 ml a 18 ml por litro de dejetos no biodigestor. Por essa razão, o biodigestor mostrado na Figura 99 vai produzir, no máximo, 36 L de biogás por dia, capacidade suficiente para aquecer apenas 9 L de água. Assim, o principal produto gerado é mesmo o biofertilizante para o sistema dissociado.

O dimensionamento da área de cultivo do sistema dissociado, tal como aplicado para o sistema associado, considerando a média de consumo diário para um ciclo de 6 meses (peixes em diferentes fases), resulta em uma relação de um metro quadrado de área de cultivo para cada 40 peixes, o que dá cerca de 120 g de ração diária para cada metro quadrado. Dessa forma, para 1.600 peixes em fases diferentes, a área de cultivo do sistema dissociado deverá ser de 40 m², aproximadamente metade da área utilizada no sistema associado para criação de peixes.

O reservatório da bancada de produção vegetal deverá possuir o mesmo volume da caixa de mistura de biofertilizante e água residuária. O tempo de esgotamento dos nutrientes varia de 5 a 7 dias, dependendo da fase de crescimento da cultura, o que pode ser acompanhado com um teste de amônia. Quando a leitura der zero de amônia total, significa que os nutrientes foram esgotados e está na hora de substituir o conteúdo do tanque. A água retirada, já tratada pelas plantas, livre de nutrientes, pode ser reaproveitada como água de reposição no sistema de criação de peixe da aquaponia associada.

A Figura 100 mostra um esquema simplificado de aquaponia associada e dissociada para uma criação intensiva de 600 peixes em três caixas de 2 mil litros, com 200 peixes por caixa.

Figura 100 – Esquema simplificado de aquaponia associada e dissociada em um sistema de criação intensiva com 600 peixes.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Num sistema como esse, considerando o alojamento de juvenis com 30 g, o alojamento de peixes em cada tanque pode ser feito com uma diferença de 2 meses. No primeiro mês, são alojados 200 juvenis no primeiro tanque, no início do terceiro mês, são alojados 200 juvenis no segundo tanque e, no início do quinto mês, são alojados 200 juvenis no último tanque. A partir do sexto mês, a cada

dois meses poderá ser feita uma despesca de 200 peixes e uma nova introdução de juvenis. A partir daí, o sistema operará de forma estável com peixes em fases diferentes e no máximo da capacidade de plantas.

Até que o sistema seja estabilizado em termos de capacidade de alojamento, a quantidade de plantas nele introduzidas será regulada pela quantidade de ração ministrada diariamente, seguindo a relação de 60 g para cada metro de área de cultivo.

O sistema dissociado também só poderá operar na totalidade de sua capacidade de plantas quando todos os tanques estiverem com peixes, o que vai acontecer, de acordo com o planejamento adotado, a partir do sexto mês. Até que isso ocorra, a quantidade de plantas poderá ser regulada também pela quantidade de ração ofertada diariamente, podendo ser considerada a relação de um metro quadrado de área de cultivo para cada 120 g de ração.

Para o sistema de médio porte com seis tanques de 2 mil litros, o alojamento pode ocorrer mensalmente. Do primeiro ao sexto mês, a cada mês se faz o alojamento de 200 juvenis em cada tanque. A partir do sexto mês, todo mês ocorrerá a despesca e a introdução de novos juvenis em um dos tanques, pois se trata do período quando o sistema estará com sua capacidade estabilizada e as bancadas de produção vegetal poderão ser ocupadas na sua totalidade.

Após a montagem e a colocação de água no sistema, deverá ser respeitado um tempo mínimo de, pelo menos, um mês para a introdução da primeira leva de peixes. Esse tempo que o sistema vai funcionar vazio é para que ocorra a fixação e a proliferação de bactérias, naturalmente presentes no ambiente, que vão atuar nos filtros e no tratamento da água. Por isso também a importância do alojamento escalonado, com a carga orgânica sendo colocada de forma gradativa, para que o sistema possa ir se adequando naturalmente.

A capacidade de produção vegetal, tomando como base a alface, pode chegar a até 12 pés por quilo de peixe vivo produzido no sistema de aquaponia associada, uma relação de 1 pé de alface para cada 90 g ou 100 g de ração. No sistema dissociado, a relação é de 5 a 6 pés por quilo de peixe produzido ou de 1 pé de alface para cada 180 g ou 200 g de ração. Assim, num sistema composto por aquaponia associada e dissociada, o potencial de produção pode chegar a até 18 pés de alface por quilo de peixe vivo produzido. Ressaltamos que estamos falando aqui de dados verificados na Área Experimental de Aquaponia da UFGD.

CAPÍTULO

≈ 5 ≈

CULTIVO DE VEGETAIS NO SISTEMA



Existe uma gama de vegetais, a maioria já cultivada em sistema hidropônico, que podem ser cultivados em sistema aquapônico. Vão desde temperos, ervas, folhosas para saladas, passando por plantas que produzem frutos, como tomate e berinjela, e até flores. Algumas dessas espécies foram testadas na Área Experimental de Aquaponia da UFGD e serão mostradas nas figuras a seguir.

Figura 101 – Tomates coloridos (rajado, amarelo, preto, roxo, vermelho).



Fonte: Acervo pessoal do autor.

O tomate, por ser uma espécie de inverno, se desenvolveu muito bem nos meses com temperaturas mais amenas, que na região do projeto vão de março a setembro. Das variedades cultivadas, o tomate-perinha amarelo se destacou muito em termos de adaptação e rusticidade. A primeira parreira plantada, num sistema em vasos com brita sob uma calha de fibrocimento (Figura 104), produziu de dezembro de 2016 a agosto de 2017. Por ser um tomate com sabor adocicado e menos ácido, agradou muito aos paladares.

Uma outra opção entre variedades comuns e de menor valor de mercado é o cultivo de variedades de tomate coloridas e doces, de formatos diferentes, que podem ser comercializadas por um valor maior em alguns nichos, sendo uma forma de agregar valor à produção aquapônica.

Figura 102 – Variedade de tomate-rajado, em vários estágios, cultivada em *floating*.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 103 – Tomates roxo e preto, cultivo em *floating*.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 104 – Tomate-perinha amarelo cultivado em vasos com brita.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

O cultivo em brita se mostrou interessante principalmente para as plantas maiores, como o tomate (Figura 104) e a berinjela (Figura 105).

Figura 105 – Berinjela cultivada em *floating* e vasos com brita.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Em comparação com as plantas cultivadas apenas em *floating*, as plantas cultivadas utilizando brita como substrato apresentaram melhor desenvolvimento mesmo em períodos com temperaturas mais elevadas e em condições com menor teor de nutrientes na água. Isso foi verificado quando o cultivo de tomate-perinha amarelo em vaso foi substituído pelo cultivo em sistema *floating*. Nesse sistema, os tomateiros apresentaram deficiência nítida, o que não aconteceu quando o cultivo foi feito na brita, pois, no sistema de flutuação, a quantidade de peixes era menor do que o necessário para manter a área de cultivo. Portanto, não havia disponibilidade suficiente de nutrientes, como verificado pela medição de condutividade elétrica, a qual resultou em 0,20 mS quando deveria ser de 0,30 mS pelo menos.

Em outro experimento, comparando o cultivo de alface em brita e o cultivo em espuma fenólica em telha de fibrocimento (Figura 106), o cultivo em brita apresentou melhor resultado, com peso médio das folhas 90% maior (GEISENHOFF *et al.*, 2016).

Figura 106 – Cultivo de alface em telha de fibrocimento, com brita e espuma fenólica.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

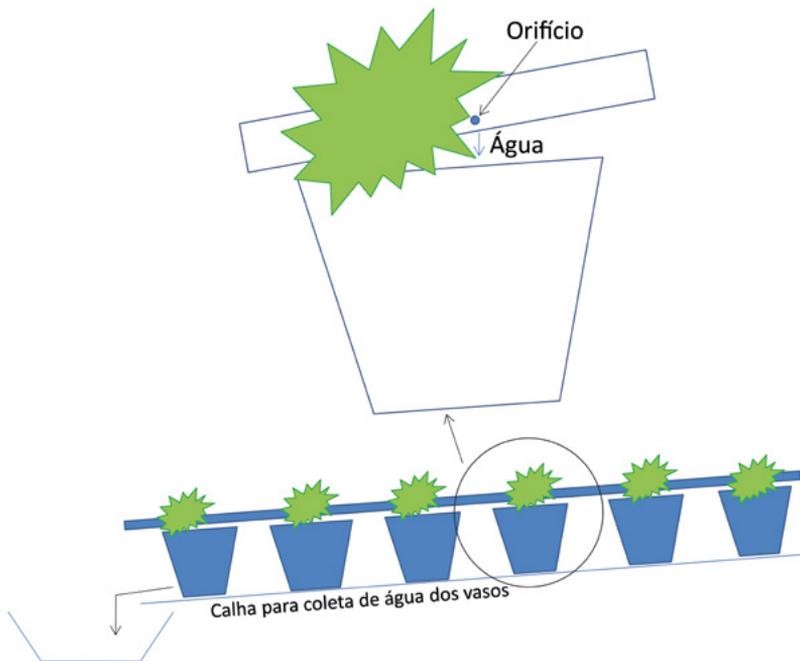
O melhor desempenho das plantas pode estar associado ao fato de a pedra brita oferecer maior área para fixação de bactérias que melhoram a conversão dos nutrientes para as raízes das plantas. Outra hipótese é a assimilação de ferro e outros minerais presentes na pedra. Porém, para essas comprovações, são necessários mais estudos. O fato é que a brita demonstrou bons resultados como substrato.

Uma desvantagem da brita é o seu peso, tanto pela estrutura de suporte quanto pela necessidade de remoção para limpeza, retirada de material decantado e raízes de plantas já colhidas e que ficam presas a ela. Caso isso não seja feito ao final de cada ciclo produtivo, essas raízes vão apodrecer e devolver carga de matéria orgânica para a água, inclusive amônia.

Nas formas de utilização da brita nos experimentos relatados, tanto com o tomate em vasos suportados por calha de fibrocimento quanto para as alfaces em telha de fibrocimento, o risco é a falta de água devido a algum problema na bomba d'água ou à interrupção de energia. No entanto, essa ainda é uma situação melhor do que se o cultivo da planta fosse feito apenas em canal com espuma fenólica, por exemplo, pois a brita tem a vantagem de reter umidade junto à planta, permitindo suportar um período maior sem circulação de água.

Já com os vasos, devido ao sistema de distribuição de água através de orifícios abertos na linha de distribuição que passa sobre eles (Figura 107), a ocorrência de problemas com falta de água foi maior por causa do entupimento dos orifícios, uma vez que a água é muito carregada de material solúvel, gerando um trabalho adicional de verificação e de desentupimento que precisou ser feito com muita frequência. Ainda assim, houve mortandade de algumas plantas por interrupção do fornecimento de água. Então, não se recomenda a distribuição de água por orifício nesse tipo de sistema.

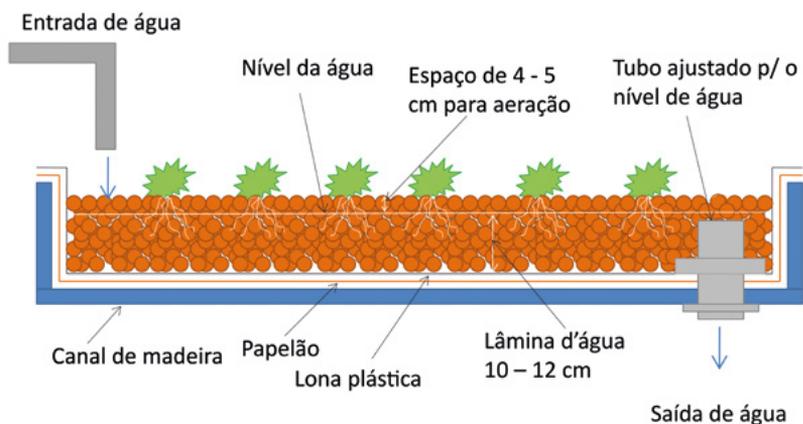
Figura 107 – Detalhe do sistema utilizado para o cultivo de berinjela e tomate em vaso com brita.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para evitar esse tipo de problema, o recomendado é que o uso de brita, cascalho ou argila expandida seja feito em canal do mesmo tipo utilizado para o *floating* (Figura 108), pois, mesmo que a bomba de circulação pare por algum motivo, sempre haverá uma lâmina de água no canal. E o ideal é que a alimentação do canal seja feita por tubulação com diâmetro não muito pequeno, de pelo menos 25 mm.

Figura 108 – Sistema com substrato em canal com lâmina d'água de nível constante.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Num sistema com substrato, como o representado na Figura 108, o filtro biológico pode ser dispensado, pois o substrato do leito de cultivo faz a filtração, fornecendo área suficiente para a fixação de bactérias nitrificantes, com ou sem planta.

Com o sistema equilibrado, sendo a quantidade de peixes correspondente à área de cultivo, o sistema com *floating* apresentou bons resultados sem a necessidade de uso de substrato. Nesse sistema, assim como no sistema NFT (Nutrient Film Technique), foram utilizados copos plásticos perfurados com substrato (Figura 109).

Existem cestos plásticos próprios para esse tipo de cultivo, os quais também foram utilizados. Porém, na falta desses cestos, os quais são mais difíceis de encontrar, foram utilizados copos descartáveis de café, de 80 ml, perfurados com ferro de soldar aquecido, com furos de 5 mm a 6 mm. As mudas são feitas diretamente nesses copos e depois são passadas para a bancada de cultivo.

Figura 109 – a) Cesto de cultivo comercial; b) Copo de café de 80 ml perfurado.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Em experimento com cultivo de alface em sistema NFT, foram testadas espuma fenólica e vermiculita e fibra de coco em copos perfurados. Os melhores resultados de produção foram obtidos com o uso de substrato de fibra de coco em copo perfurado, quando o peso médio da parte aérea (folhas e talo) das alfaces atingiu quase 50% a mais do que o verificado nas alfaces cultivadas em espuma fenólica.

Ao contrário da hidroponia, na aquaponia, trabalhamos com o fornecimento de água constante no sistema NFT. A desvantagem desse sistema é também o risco de interrupção no fornecimento de água para as plantas por parada da bomba d'água ou entupimento do orifício de irrigação do canal. Como o canal é inclinado, toda a água escorre. O uso de copo perfurado com substrato ajuda a manter a umidade por certo tempo, mas, se o tempo de interrupção passar de meia hora, as plantas já sofrerão danos.

As figuras a seguir mostram mais algumas variedades de plantas cultivadas em sistema *floating* e NFT.

Figura 110 – Cultivo em copo perfurado com substrato: alface em *floating*; almeirão, agrião e rúcula em sistema NFT.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 111 – Salsinha, hortelã e cebolinha cultivadas em sistema *floating*.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 112 – Morango, salsa e couve cultivados em sistema *floating*.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 113 – Capuchinho, rosa-do-deserto e crisântemo cultivados em *floating*.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 114 – Cultivo de pepino em *floating*.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Figura 115 – Cultivo de pimenta-biquinho-de-mel em *floating*.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Mesmo para outras culturas, a área de cultivo tem sido mantida em função da quantidade de ração ministrada diariamente, o que varia é o número de plantas por metro quadrado. No caso de alface e agrião, a razão é de 20 plantas por metro quadro; para tomate, berinjela e pepino (em parreira), a razão é de 6 plantas por metro quadrado; para salsinha e cebolinha, a razão é entre 40 e 50 moitas por metro quadrado.

Os nutrientes que chegam para as plantas são aqueles disponibilizados pelos peixes por meio da ração consumida. Assim, dependendo da composição da ração, poderá haver certa variação de nutrientes ou até a deficiência de alguns. Neste caso, conforme já abordado, é possível fazer a adição de alguns elementos sem efeitos negativos aos peixes, no caso da tilápia.

Essa complementação é muito pequena se comparada à quantidade utilizada numa hidroponia, por isso, o impacto econômico é baixo. Por exemplo, a quantidade de ferro utilizada na hidroponia é de 25 g por 1.000 L; na aquaponia, é de 2 g por 1.000 L. Na hidroponia, a quantidade de nitrato de cálcio utilizada é de 500 g por 1.000 L; na aquaponia, a adição de 25 g por 1.000 L já produz bons resultados. Estamos falando de situações de deficiência devido à quantidade de peixes ou à alimentação insuficientes. Foi tomado como exemplo o cálcio e o ferro por serem elementos que tendem a ser deficientes na aquaponia.

As quantidades especificadas aqui podem ser adicionadas a cada duas ou três semanas, dependendo do esgotamento desses elementos, o que pode ser verificado pela medição de condutividade elétrica. Então, sempre que a condutividade elétrica baixar de 0,4 mS, pode ser feita uma nova adição de ferro e cálcio. A condutividade elétrica deve manter-se em torno de 0,4 mS a 0,6 mS, nunca abaixo de 0,3 mS, pois as plantas vão começar a apresentar deficiências.

Controle de pragas e doenças

As plantas e os peixes do sistema aquapônico estão sujeitos às mesmas pragas e doenças dos sistemas convencionais. Melhor do que tentar controlar, é impedir a entrada de pragas e doenças. Por isso, deve-se evitar a instalação do sistema de aquaponia próximo de áreas de cultivo convencionais, pois, com a aplicação de defensivos nessas áreas, as pragas e insetos vão migrar para um local livre de ameaças, no caso, o sistema de aquaponia. Deve-se buscar uma área isolada ou com um cordão de isolamento formado por vegetação.

Nesse ponto, o cultivo urbano leva vantagem, uma vez que a área urbana constitui-se como um cordão de isolamento, assim como num deserto. Um sistema de aquaponia montado em um terraço estará mais protegido de pragas do que um sistema montado em área rural por causa de sua distância de plantações de monoculturas.

A estufa deve ser bem fechada, com tela própria, para evitar a entrada de insetos. As portas da estufa devem permanecer sempre fechadas. O ideal é uma estufa com antecâmara. Somente devem circular na estufa as pessoas que trabalham com o sistema. Deve ser evitada, a todo custo, a entrada de pessoas que não trabalhem no sistema, pois estas podem ter andado em plantações ou hortas convencionais e as pragas e insetos podem vir em suas roupas.

As mudas utilizadas devem ser produzidas no próprio sistema. Deve-se prever uma bancada para a produção de mudas. Mudas compradas podem ser vetores de doenças e pragas. Caixas plásticas que tiveram contato com hortaliças de fora não devem ser colocadas dentro da estufa de aquaponia, a não ser que sejam lavadas com solução de hipoclorito de sódio. As bandejas de mudas devem ser próprias e não vindas de outros locais e, após o transplantio, elas devem ficar de molho em água com solução de hipoclorito de sódio; o mesmo vale para os cestos e copos plásticos reaproveitados.

Plantas velhas e restos vegetais devem ser removidos do sistema e da estufa, pois servem de hospedeiros para doenças e pragas. O estado nutricional das plantas é muito importante. Plantas com deficiência nutricional estão mais suscetíveis ao ataque de doenças.

A monocultura também deve ser evitada nesse sistema. A rotação de cultura é importante por quebrar o ciclo de doenças e pragas. É necessário ter um planejamento de forma a alternar o cultivo com espécies diferentes.

Ainda assim, se com todo o cuidado, alguma praga entrar no sistema, existem métodos de controle biológico e bioinseticidas que podem ser empregados. Alguns fungos já comercializados por empresas especializadas podem ser usados para o controle de pragas. Porém, como as hortaliças são de ciclo curto e alguns produtos têm ação lenta, a utilização deve ser preventiva, ou seja, aplicada antes do aparecimento da praga, pois já conhecemos a probabilidade de sua manifestação.

O fungo *Beauveria bassiana*, que ocorre na natureza, pode ser utilizado para o controle de insetos na aquaponia. No Brasil, algumas empresas já comercializam esse fungo como inseticida microbiológico com alguns nomes fantasia. Esse fungo, por meio do contato, infecta o inseto e o leva à morte num período de

4 a 10 dias. Para tanto, a condição de umidade relativa deve ser elevada, pois sua eficácia diminui em condições de baixa umidade relativa. Ele pode ser utilizado para vários insetos, incluindo a mosca branca, o pulgão e ácaros. Sobre o inseto morto, aparece um mofo branco e, por essa razão, ele também é conhecido como fungo branco.

Existem ainda outros bioinseticidas naturais, oriundos de extrato de plantas, como o óleo de neem, os quais possuem ação repelente e devem ser aplicados com uma determinada frequência. Porém, deve-se tomar cuidado com a toxicidade de algumas plantas. O óleo de neem, por exemplo, é um produto que deve ser evitado ou aplicado com muita cautela, e o seu escorrimento para a água deve ser evitado devido à sua elevada toxicidade para os peixes. Já houve mortalidade de peixes na Área Experimental de Aquaponia da UFGD devido a uma aplicação muito forte desse produto.

O oxiclureto de cobre, já aceito na agricultura orgânica, pode ser usado preventivamente para o controle de viroses e algumas doenças. Na alface, pode ser utilizado para o controle do míldio e da queima da saia. No tomate, pode ser usado de forma preventiva contra viroses. Todos esses produtos citados não possuem carência, pois são de baixa toxicidade para o ser humano.

Com relação aos peixes, deve-se prever uma caixa de quarentena onde eles devem permanecer por algumas semanas antes de serem colocados no sistema. A água dessa caixa não deve ser a mesma do sistema para evitar a proliferação de doenças e, se necessário, fazer o controle.

Durante o transporte, as mudanças bruscas das condições ambientais contribuem para a queda da imunidade dos peixes que, além de sofrerem lesões causadas pelo transporte, podem apresentar doenças devido à ação de bactérias. Por isso, o transporte deve ser realizado com cuidado, evitando dias e horários com temperaturas muito elevadas ou muito baixas.

Na soltura, para evitar choque térmico, não se deve abrir os pacotes e virar de uma vez no tanque. Eles devem ser colocados sob a água do tanque por um tempo suficiente para que ocorra uma homogeneização gradativa da temperatura da água. Após a abertura do pacote, deve-se ir adicionando água do tanque devagar para que ela se misture com a água do pacote e, só então, com muito cuidado, virar a boca do pacote para que os alevinos possam sair lentamente. Os peixes não devem ser alimentados nas primeiras 24 horas.

Em se tratando de alevinos muitos pequenos, com peso de 1 g, é comum, nessa fase, devido à mudança de ambiente, certa mortalidade nos primeiros dias, porém, ela, não deve ser muito elevada, o que significa em torno de 20 ou 30

peixes num universo de 1.000. Em grupos de alevinos maiores, entre 3 g a 5 g ou juvenis, essa mortalidade é menor pelo fato de os peixes estarem mais fortes. Porém, o preço do alevino de 1 g é bem menor e o seu transporte por longas distâncias pode ser realizado em sacos plásticos com oxigênio.

O *Streptococcus* é um gênero de bactérias que costumam atacar os peixes em sistema intensivo na fase de soltura devido à queda de imunidade, causando infecções e mortes. Por algumas vezes, já se manifestou em alevinos recém-aloados na Área Experimental de Aquaponia da UFGD. Os sintomas são natação errática com rodopios, olhos opacos e estufados, lesões na pele e nadadeira, além de pontos avermelhados no corpo.

Torna-se, portanto, importante o sistema de quarentena, até para o tratamento dos peixes, pois o uso de qualquer bactericida na água do sistema de aquaponia vai prejudicar ou até eliminar as bactérias nitrificantes, responsáveis pela conversão da amônia em nitrato, levando o sistema à falência. Por essa razão também, a água do sistema de quarentena não pode se misturar com a água da aquaponia.

Para o tratamento da *Streptococcus* em alevinos, o procedimento utilizado com sucesso na Área Experimental de Aquaponia da UFGD foi o uso da oxite-traciclina, encontrada comercialmente como Terramicina, na forma de pó a ser misturado na proporção de 100 g para cada 3,5 kg de ração em pó. Esse preparado deve ser ministrado aos alevinos por um período de, pelo menos, 12 dias, sem interrupção, a fim de evitar que a bactéria torne-se resistente. Após esse período, recomenda-se voltar a tratar os alevinos com ração sem a adição do produto por, pelo menos, mais 7 dias antes de serem soltos no sistema de aquaponia.

O sal também pode ser usado como um bactericida durante o transporte, no tanque de quarentena ou até em banhos quando os peixes apresentam lesões no corpo. As tilápias aceitam bem o ambiente salino, por isso o sal ajuda reduzir o estresse causado durante o transporte. O sal também reduz a toxicidade da amônia e do nitrito, no entanto, por ser um bactericida, não deve ser adicionado na água do sistema de aquaponia, pois pode causar toxidez para as plantas em concentrações elevadas. Para o transporte, a recomendação de utilização do sal é de 5 kg a 8 kg por 1.000 L (6 g a 8 g por litro). Para o tratamento de doenças, parasitas e columnariose (doença causada por bactérias que também atacam os peixes durante o transporte), pode ser usado até 50 g de sal por litro em banhos com duração de até 2 minutos. Na água do sistema de quarentena, o sal pode ser utilizado na proporção de 3 g por litro. Como o sal é extremamente corrosivo, deve-se ter atenção com relação aos equipamentos presentes, como bombas

d'água e sistemas de aquecimento. Caso o material desses equipamentos não seja compatível, sofrerá corrosão e danos.



CONSIDERAÇÕES FINAIS



De 2012 a 2018, fomos procurados por centenas de pessoas em busca de informações sobre aquaponia, interessadas em montar um sistema desse tipo. No entanto, as primeiras perguntas feitas para elas eram: “Quem vai ser o mercado consumidor? Onde o produto vai ser vendido?”

Por que perguntar isso? Alguém mistura um produto orgânico com um produto convencional e vende pelo mesmo preço? Não. Trata-se de um produto diferenciado, de melhor qualidade e ambientalmente adequado. Então, é necessário um preço melhor e um mercado diferenciado.

Falando em orgânico, uma pergunta que as pessoas que entravam em contato conosco faziam era se o produto aquapônico poderia ser vendido como orgânico. Parecia haver uma preocupação muito grande em relação a isso. O produto aquapônico não é considerado orgânico pelo simples fato de a ração dos peixes não ser orgânica. Mas, por que essa preocupação em querer reclassificar um produto que já tem classificação, ou seja, a de produto aquapônico? Não será por causa dessa pequena diferença que o consumidor vai se desinteressar pelo produto aquapônico.

O que precisa acontecer é um trabalho de conscientização do consumidor a respeito do produto aquapônico, sobre sua produção de forma sustentável e ecológica, o mesmo trabalho feito em relação aos produtos orgânicos. Então, deixemos o produto orgânico com a sua classificação e levantemos a bandeira do produto aquapônico, organizando e fortalecendo, primeiramente, os grupos e as associações de produtores aquapônicos já existentes e incentivando o surgimento de outros.

REFERÊNCIAS

ALCON. **LabconTest**: escala colorimétrica de leitura de amônia total e tabela de amônia tóxica (NH₃) em função da temperatura e do pH. Camburiú: Alcon, 2018. Teste instantâneo por reagentes adicionados que produzem coloração na água.

ALKHALIDI, A.; KHAWAJA, M. K.; ABUSUBAIH, D. Energy efficient cooling and heating of aquaponics facilities based on regional climate. **International Journal of Low-Carbon Technologies**, Oxford, v. 15, p. 287-98, maio 2020. Disponível em: <https://academic.oup.com/ijlct/article/15/2/287/5586873>. Acesso em: 30 maio 2020.

CHAI, L.; MA, C.; NI, J. Performance evaluation of ground source heat pump system for greenhouse heating in northern China. **Biosystems Engineering**, v. 111, n. 1, p. 107-117, jan. 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1537511011001978>. Acesso em: 10 mar. 2020.

DEDIU, L.; CRISTEA, V.; XIAOSHUAN, Z. Waste production and valorization in an integrated aquaponic system with bester and lettuce. **African Journal of Biotechnology**, Nairobi, v. 11, n. 9, p. 2349-2358, jan. 2012. Disponível em: <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/100608>. Acesso em: 20 jun. 2020.

GEISENHOF, L. O.; JORDAN, R. A.; SANTOS, R. C.; OLIVEIRA, F. C.; GOMES, E. P. Efeito de diferentes substratos na produção de alface aquapônica associada à criação intensiva de tilápia com recirculação de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, n. 2, p. 291-299, mar./abr., 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/V7hdNK6RrXtGYcZnLqyfNss/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 10 mar. 2020.

GRABER, A.; JUNGE, R. Aquaponic systems: nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. **Desalination**, Amsterdam, v. 246, n. 1-3, p. 147-156, set. 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916409004299>. Acesso em: 10 mar. 2020.

JORDAN, R. A.; CAVICHILO, F.; GEISENHOFF, L. O.; SANTOS, R. C.; SILVEIRA JR., V.; NEVES FILHO, L. Aquicultura em sistema fechado e controlado – integração biodigestor/aquaponia – produção sustentável de peixes, hortaliças e bioenergia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO, 13., 2013, São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo: Conbrava, 2013. Disponível em: <https://docplayer.com.br/2814159-Aquicultura-em-sistema-fechado-e-controlado-integracao-biodigestor-aquaponia-producao-sustentavel-de-peixes-hortalicas-e-bioenegia.html>. Acesso em: 15 jun. 2020.

JORDAN, R.; CORTEZ, L. A. B.; R, BALDASSIN JR.; A.SCORVO FILHO, J.; FRASCÁ-SCORVO, C.; RIGOLINO, M.; TABATA, Y. Sistema intensivo de criação de peixe com recirculação de água e controle de temperatura via bomba de calor de duplo efeito térmico. **Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas**, Tupã, v. 5, n. 1, p. 12-22, jan./abr. 2011. Disponível em: <https://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/view/119/0>. Acesso em: 5 mar. 2020.

JORDAN, R. A.; GEISENHOFF, L. O.; OLIVEIRA, F. C. de; SANTOS, R. C.; MARTINS, E. A. S. Yield of lettuce grown in aquaponic system using different substrates. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n. 1, p. 27-31, 2018a. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/ySwB57CrTzCTsPgQnFpy9WC/?lang=en&format=pdf>. Acesso em: 10 abr. 2020.

JORDAN, R. A.; RIBEIRO, E. F.; OLIVEIRA, F. C. de; GEISENHOFF, L. O.; MARTINS, E. A. S. Yield of lettuce grown in hydroponic and aquaponic systems using different substrates. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n. 8, p. 525-529, 2018b. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/RBT7RqMs95xZZggZbpgw7tg/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 5 ago. 2020.

JORDAN, R. A.; MARTINS, V. P.; ALMEIDA, A. C. S.; OLIVEIRA, F. C. de; QUEQUETO, W. D.; SIQUEIRA, V. C.; MARTINS, E. A. S.; SANTOS, R. C. Potencial de produção de biogás de resíduos provenientes da criação de tilápia em sistema aquapônico. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 9, n. 9, p. e155997131, 2020a. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/7131>. Acesso em: 20 ago. 2020.

JORDAN, R. A.; GIORDANO, E. B.; OLIVEIRA, F. C. de; QUEQUETO, W. D.; DREHMER, K. K. B.; SILVA, L. P. P. da; MARTINS, E. A. S.; SANTOS, R. C.; SIQUEIRA, V. C. Produtividade de híbridos de tomate cultivados em aquaponia associada em sistema tipo floating. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 9, n. 9, p. e1000998198, 2020b. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/8198>. Acesso em: 20 set. 2020.

LIM, T.; BAIK, Y.; KIM, D. D. Heating performance analysis of an air-to-water heat pump using underground air for greenhouse farming. **Energies**, Basel, v. 13, n. 15, 3863, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/15/3863>. Acesso em: 15 ago. 2020.

LOSORDO, T. M.; MASSER, M. P.; RAKOCY, E. Recirculating aquaculture tank production systems: an overview of critical considerations. **SRAC Publication**, Stoneville, n. 451, p. 1-6, set. 1998. Disponível em: <https://srac.tamu.edu/categories/view/24>. Acesso em: 10 mar. 2020.

MEDINA, M.; JAYACHANDRAN, K.; BHAT, M. G.; DEORAJ, A. Assessing plant growth, water quality and economic effects from application of a plant-based aquafeed in a recirculating aquaponic system. **Aquaculture International**, Oostende, v. 24, p. 415-427, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10499-015-9934-3>. Acesso em: 20 maio 2020.

MASSER, M. P.; RAKOCY, J.; LOSORDO, T. M. Recirculating aquaculture tank production systems: management of recirculating systems. **SRAC Publication**, Stoneville, n. 452, p. 1-12, mar. 1999. Disponível em: <https://srac.tamu.edu/categories/view/24>. Acesso em: 10 set. 2020.

PALM, W H.; KNAUS, U.; APPELBAUM, S.; GODDEK, S.; STRAUCH, S. M.; VERMEULEN, T; JIJAKLI, M. H.; KOTZEN, B. Towards commercial aquaponics: a review of systems, designs, scales and nomenclature. **Aquaculture International**, Oostende, v. 26, p. 813-842, 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10499-018-0249-z>. Acesso em: 30 maio 2020.

RAKOCY, E. J.; MASSER, M. P.; LOSORDO, T. M. Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics integrating fish and plant culture. **SRAC Publication**, Stoneville, n. 454, p. 1-16, 2006. Disponível em: <https://srac.tamu.edu/categories/view/24>. Acesso em: 20 maio 2020.

SOLOANÁLISE. **Análise de nutrientes (mg/L) da água de reposição e da água fertilizada pelos peixes para o sistema de aquaponia dissociada da UFGD**. Cascavel: Laboratório Soloanálise, 2012.

UNITHAL. **Análise de concentração de nutrientes (mg/L) presentes na água de reposição e na água fertilizada pelos peixes do sistema de pequeno porte de aquaponia da UFGD**. Campinas: Laboratório Unithal, 2014.

A experiência adquirida nos trabalhos relatados nesta obra, desenvolvidos durante os seis anos de duração do Projeto de Aquaponia da UFGD, mostra que a aquaponia é uma técnica promissora para a produção de alimentos saudáveis de forma sustentável e que pode ser aplicada em diferentes escalas, desde sistemas pequenos para a produção própria de alimentos, até sistemas comerciais de grande escala. Os benefícios ambientais e econômicos dessa técnica de produção de peixes e hortaliças de forma integrada são inúmeros, o que desperta grande interesse. Porém, com tanta tecnologia existente, é necessário um mínimo de conhecimento para a implantação e manutenção de um sistema aquapônico, e seu sucesso depende de um perfeito equilíbrio entre a parte animal, os peixes, e a parte vegetal, as hortaliças, o que está condicionado a um projeto bem desenvolvido e a uma boa condução de parâmetros operacionais.

São essas as informações trazidas neste manual.