

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**FACULDADE DE VETERINÁRIA**  
**TRABALHO TÉCNICO-CIENTÍFICO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**A UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA DE BIOFLOCOS (TBF) NA PISCICULTURA:  
HISTÓRICO E PRINCIPAIS TÉCNICAS DE MANEJO DO SISTEMA**

Vitor Gomes Rossi

Porto Alegre  
2014/2

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**FACULDADE DE VETERINÁRIA**  
**TRABALHO TÉCNICO-CIENTÍFICO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**A UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA DE BIOFLOCOS (TBF) NA PISCICULTURA:  
HISTÓRICO E PRINCIPAIS TÉCNICAS DE MANEJO DO SISTEMA**

Autor: Vitor Gomes Rossi

Trabalho apresentado à Faculdade de Veterinária  
como requisito parcial para obtenção da  
Graduação em Medicina Veterinária

Orientador: Prof. Dr. Luciano Trevizan

Porto Alegre

2014/2

## RESUMO

O desenvolvimento econômico dos países em crescimento, associado às mudanças no hábito alimentar da população têm sido responsáveis pela crescente demanda por pescados no mundo. A aquacultura continua a crescer mais rapidamente que todos os outros setores da produção animal, porém ainda demonstra ser uma atividade pouco sustentável e com consideráveis impactos ambientais. Atualmente, a produção mundial de pescado está em torno de 140 milhões de toneladas e ainda existe uma demanda adicional de consumo de peixe. Concomitantemente a este crescimento, procura-se aprimorar as técnicas de cultivo a fim de tornar a piscicultura mais sustentável e ecoeficiente sem que haja prejuízo nos parâmetros zootécnicos. Dentro deste contexto insere-se a tecnologia de bioflocos (TBF), que é uma técnica que pauta o controle da qualidade da água de cultivo através do correto balanceamento entre as concentrações de carbono e nitrogênio, bem como a presença intensa de atividade microbiana, criando um ambiente rico em proteína proveniente dos microorganismos utilizando menor volume de água durante o ciclo produtivo. O presente trabalho fornece uma visão geral sobre a TBF aplicada à criação de peixes, incluindo as principais técnicas de manejo utilizadas e os demais aspectos que envolvem este modo de produção, além de diferenciar o mesmo dos principais sistemas de cultivo utilizados atualmente.

**Palavras-chaves:** Bioflocos, Aquacultura, Peixe, Piscicultura

## **ABSTRACT**

*The economic development of developing countries, associated with changes in the food habits of the population have been responsible for increasing demand for fish in the world . Aquaculture continues to grow faster than all other sectors of animal production , but also proves to be an unsustainable activity with considerable environmental impacts . Currently, the fish world production is around 140 million tonnes , but there is still an additional demand for fish consumption . Concurrently with this growth , we seek to improve the cultivation techniques in order to make the most sustainable and eco-efficient fish farming system without loss in performance parameters . Within this context , is part of the biofloc technology , which is a technique that guides the control of the cultivation water quality using the proper balance between carbon and nitrogen concentrations and the presence of intense microbial activity . Creating an environment rich in protein from the microorganisms and also using less water during the production cycle. This paper provides an overview on the bioflocs technology applied to fish farming , including key management techniques and other aspects involved in this production method , and the mainly differences between the majors farming systems currently used .*

**Keywords:** *Bioflocs. Aquaculture. Fish. Pisciculture*

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 -</b>	Exemplo de estruturas filtradoras presente em algumas espécies de peixe, denominadas rastros brânquias, onde depositam-se os bioflocos que serão posteriormente deglutidos.....	<b>11</b>
<b>Figura 2-</b>	Exemplo de um viveiro escavado utilizado na piscicultura.....	<b>12</b>
<b>Figura 3-</b>	Demonstração do declive no assoalho do viveiro escavado, aconselhável na construção do mesmo.....	<b>14</b>
<b>Figura 4-</b>	Exemplo de uma piscicultura utilizando sistema de tanques-rede.....	<b>15</b>
<b>Figura 5-</b>	Exemplo de instalações de uma piscicultura no sistema de fluxo contínuo, na Coreia do Sul.....	<b>17</b>
<b>Figura 6-</b>	Representação esquemática de um sistema de recirculação de água.....	<b>19</b>
<b>Figura 7 -</b>	A imagem 3-D de um floco bacteriano com 21 dias de idade, corado com 40-6-diamidino-2-fenilindole (DAPI), visualizado em microscópio confocal.....	<b>22</b>
<b>Figura 8-</b>	Evolução do aspecto da água durante a realização de um projeto de cultivo de tilápia em TBF (A) Água com 9 dias de idade, ainda transparente e levemente esverdeada. (B) No 17º dia a água começa a apresentar aspecto amarronzado. (C) No 29º dia, há formação de espuma na superfície e grande quantidade de limo aderido à parede da caixa. (D) Redução da quantidade de espuma e aparecimento dos bioflocos em suspensão, por volta do 38º dia.....	<b>23</b>
<b>Figura 9-</b>	Demonstração da utilização de um biorreator no sistema TBF.....	<b>25</b>
<b>Figura 10-</b>	Modelo de decantador proposto por GAONA <i>et al.</i> (2011).....	<b>25</b>
<b>Figura 11-</b>	Exemplo de um sistema de aeração sendo utilizado em uma piscicultura com bioflocos.....	<b>29</b>
<b>Figura 12-</b>	Figura demonstrando a utilização dos cones de Imhoff para mensurar a quantidade de bioflocos por litro de água, observando-se a deposição de sólidos no fundo das estruturas e calculando a proporção de tal porção em relação ao volume aquoso.....	<b>33</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1-</b>	Tabela contendo as diferentes fontes de carbono usadas em estudos com peixes criados em bioflocos.....	<b>32</b>
<b>Tabela 2-</b>	Tabela sobre o estudo conduzido por (PÓLEO <i>et al.</i> , 2011), demonstrando que os animais criados em TBF obtiveram desempenho zootécnico similar aos criados em sistema de recirculação.....	<b>35</b>
<b>Tabela 3 -</b>	Dados coletados dos estudos envolvendo a tecnologia de TBF aplicada a piscicultura.....	<b>36</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

C – carbono

CaCO<sub>3</sub> – carbonato de cálcio

Ca(OH)<sub>2</sub> – hidróxido de cálcio

CO<sub>2</sub> – dióxido de carbono (gás carbônico)

EUA – Estados Unidos da América

g/L – gramas por litro

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> – peróxido de hidrogênio

Ifremer-COP - Instituto Francês para a Exploração do Mar - Centro do Oceano Pacífico

kg/pessoa – quilos por pessoa

m – metro

m<sup>3</sup> – metro cúbico

mg/L – miligramas por litro

N – nitrogênio

Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> - bicarbonato de sódio

NaCl – cloreto de sódio

NaHCO<sub>3</sub> - carbonato de sódio

NH<sub>3</sub> – amônia não-ionizada

NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - íon amônio

NO<sub>2</sub> - nitrito

NO<sub>3</sub> – nitrato

O<sub>2</sub> - oxigênio

°C – grau Celsius

OD – oxigênio dissolvido

PB – proteína bruta

RAS – sistema de recirculação da água na aquacultura

SST – sólidos suspensos totais

TAN – nitrogênio amoniacal total

TBF – Tecnologia de bioflocos

µm - micrômetro

[H<sup>+</sup>] – concentração de íons de hidrogênio

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
<b>2.</b>	<b>PRINCIPAIS SISTEMAS DE CULTIVO EM PISCICULTURA.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Cultivo em Viveiros Escavados.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>Cultivo em Tanque-Rede.....</b>	<b>14</b>
<b>2.3</b>	<b>Sistema de Fluxo Contínuo (Raceway).....</b>	<b>16</b>
<b>2.4</b>	<b>Sistemas de Recirculação da Água.....</b>	<b>18</b>
<b>3.</b>	<b>O SISTEMA DE BIOFLOCOS (TBF).....</b>	<b>20</b>
<b>3.1</b>	<b>História.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2</b>	<b>Implementação e Aspectos Gerais sobre o Manejo do Sistema.....</b>	<b>21</b>
<b>3.3</b>	<b>Instalações físicas.....</b>	<b>24</b>
<b>3.4</b>	<b>Parâmetros físico-químicos da água.....</b>	<b>26</b>
3.4.1	Alcalinidade e pH.....	26
3.4.2	Salinidade.....	27
3.4.3	Oxigênio Dissolvido.....	28
3.4.4	Nitrito e Nitrato.....	29
3.4.5	Nitrogênio Amoniacal Total (TAN).....	30
3.4.6	Relação C/N.....	31
3.4.7	Temperatura.....	32
3.4.8	Sólidos Suspensos Totais.....	33
<b>3.5</b>	<b>Desempenho zootécnico.....</b>	<b>34</b>
<b>3.6</b>	<b>Tabela Comparativa.....</b>	<b>36</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>37</b>
<b>5</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>39</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A história da piscicultura no mundo remonta a 1000 anos antes de Cristo, na China, durante a dinastia Chou. Os primeiros sinais do cultivo de peixes foram encontrados em relatos gravados em ossos por líderes religiosos. Esses líderes escreviam mensagens com diversos intuitos, entre eles o de predizer o futuro e o de documentar as melhores épocas para a pesca (RABANAL, 1988). Os primeiros cultivos de peixes se iniciaram depois que os povos nômades que habitavam a China começaram a estabelecer acampamentos, criando a necessidade de racionalizar a obtenção do alimento a fim de manterem-se estoques de comida suficientes para a população. Ao longo das civilizações a piscicultura foi evoluindo, sendo muito popular na Era Romana e também durante a Idade Média (NASH, 2010).

Apesar de se tratar de uma atividade com mais de 3000 anos de existência, a piscicultura teve suas técnicas de manejo radicalmente aprimoradas somente após a primeira revolução industrial, iniciada em 1760. Esses aprimoramentos surgiram frente a uma série de transformações ocorridas a partir desta revolução. Dessas transformações, pontuam-se duas que foram responsáveis por influenciar a evolução da piscicultura: a automatização dos processos industriais e o vertiginoso aumento da população mundial (SMITH, 2012). Entretanto, a despeito das melhoras alcançadas, a criação de peixes sofreu um forte recuo no começo do século passado, ocasionado pela deflagração das duas grandes guerras mundiais e pela crise econômica mundial estabelecida após o crack da bolsa de Nova Iorque em 1929. A atividade somente voltou a se desenvolver a partir de 1950, formando os sistemas de cultivos aplicados na piscicultura moderna (SMITH, 2012).

De acordo com TIDWELL (2012), os principais sistemas de cultivo utilizados na produção de peixes são: criação em viveiros ou açudes escavados, criação em tanques-rede, cultivo em fluxo contínuo (*raceway*) e cultivo com recirculação de água (RAS). Estes sistemas possibilitaram o aumento substancial no volume da produção global de peixes criados para consumo. Dados da FAO (2010) revelam que a aquacultura de animais em todo o mundo produziu 0,5 milhões de toneladas em 1950, frente à produção de 52,9 milhões de toneladas vista em 2008. Apesar destes dados abordarem outras espécies além dos peixes, ressalta-se nesta mesma publicação, que a piscicultura é o setor com maior contribuição para este aumento observado nas últimas décadas.

Não somente a elaboração e aprimoramento dos sistemas de cultivo foram responsáveis pela evolução no volume de peixes produzidos. Um dos fatores que mais

contribuiu para esta situação foi a mudança nos hábitos alimentares da população mundial, tanto no perfil de consumo quanto no volume consumido, sendo o pescado um dos alimentos que mais influenciou essas mudanças (MINTZ, 1999). Como exemplo temos um aumento do consumo mundial de peixes por ano de 40 milhões de toneladas, em 1970, para 115 milhões de toneladas em 2008. O consumo per capita de peixes por ano também aumentou, indo de 9 kg/pessoa em 1961 para 17,1 kg/pessoa em 2008 (FAO, 2010).

A pesca extrativista é outro fator relacionado ao aumento no consumo de pescado, fator importante na indução da evolução da piscicultura. A partir da década de 1980, com o aumento mais expressivo do consumo de pescado, a pesca extrativista intensificou suas atividades de forma inconsequente do ponto de vista da sustentabilidade e da biopreservação (JACKSON *et al.*, 2001). Muitas embarcações começaram a capturar animais cada vez menores, utilizando-se de técnicas que causam grande impacto ambiental, como a pesca de arrasto (JACKSON *et al.*, 2001). O resultado foi o comprometimento de muitos estoques naturais de peixes, como o atum, o bacalhau e a sardinha (PAULY e MACLEAN, 2003). Por consequência, a pesca extrativista tornou-se incapaz de abastecer o mercado de pescados mundial e ainda demonstrou ser uma atividade com grande impacto ambiental, características que estimularam a produção de peixes de forma racional (ROBERTS, 2007).

Apesar de se apresentar inicialmente como uma alternativa às injúrias ambientais promovidas pela pesca extrativista, a piscicultura não tem demonstrado ser uma atividade sustentável do ponto de vista ambiental (WHITE *et al.*, 2004). Os principais sistemas de cultivo utilizados atualmente produzem grandes volumes de água contendo elevado teor de matéria orgânica. Tal efluente, na maioria das propriedades, não sofre tratamento e é descartado diretamente no corpo de água mais próximo ao local de produção (DIANA, 2009). Este hábito dos produtores pode levar a eutrofização do ambiente onde houve o descarte, além de possibilitar a implantação de espécies exóticas na fauna nativa. Estas duas consequências podem levar ao comprometimento da fauna e flora locais, afetando o equilíbrio entre os diferentes níveis tróficos do ecossistema envolvido (BOYD, 2003).

Além da questão relacionada à destinação do efluente das unidades produtivas, temos a nutrição dos peixes como outro fator trivial para a insustentabilidade da piscicultura atual. Para que seja possível atingir bons índices de desempenho zootécnico na criação de peixes deve-se prover aos mesmos uma ração balanceada e em horários regulares. As rações balanceadas para peixes são fabricadas utilizando diferentes ingredientes entre eles a farinha de peixe. Este ingrediente apresenta um balanço nutricional importante para a alimentação dos peixes cultivados que necessitam de dietas com um perfil lipídico específico (SILVA e

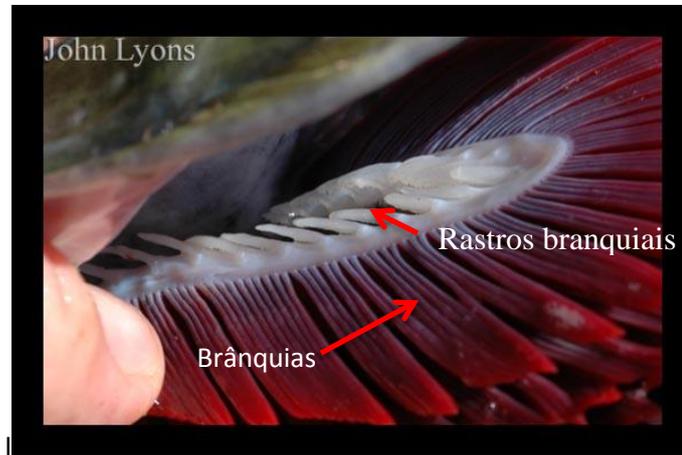
ANDERSON, 1995). Estas farinhas de peixes são produzidas mediante a captura de peixes águas marinhas que apresentam baixo valor comercial, mas que possuem excelente perfil lipídico necessários para as criações industriais. Portanto, afim de possibilitar a produção da farinha de peixe faz-se necessário recorrer à pesca extrativista. Assim sendo, apesar de desestimular no principio, a atual piscicultura contribui para a sobrepesca vista principalmente nos oceanos Atlântico e Pacífico (SIKORSKI, 1990).

Diante de todo este contexto sócio-ambiental envolvendo a criação de peixes, torna-se importante o estudo de sistemas de cultivo alternativos, que possibilitem tornar tal criação sustentável ou ao menos amenizar os impactos ambientais desta produção. Um destes cultivos alternativos é o sistema de bioflocos, ou tecnologia de bioflocos (TBF). O que diferencia este sistema dos demais é que neste sistema os peixes são criados em tanques sem que haja renovação da água ou a presença de filtros para tratamento (KUBITZA, 2011).

Dentro dos tanques há um estímulo à proliferação microbiana que irá metabolizar a matéria orgânica presente. Estes microorganismos, usando como fonte nutricional os excrementos dos animais e o excedente de ração administrada e não consumida, são capazes de assimilar o nitrogênio em excesso do ambiente e, juntamente com a suplementação de fontes concentradas de carbono produzem compostos proteicos (AVNIMELECH, 2007). Essas proteínas, em conjunto com os microorganismos, formam pequenos flocos no cultivo que se distribuem ao longo da coluna de água caso haja a presença de aeração e/ou movimentação do sistema (MONROY-DOSTA *et al.*, 2013).

Os flocos podem ser consumidos pelos peixes e se os mesmos forem animais filtradores (Figura 1). Os flocos podem alcançar níveis de proteína bruta de até 50% PB (AZIM e LITTLE, 2008) o que faz deste composto um alimento interessante para os peixes no sistema produtivo, com a possibilidade da redução das taxas de arraçamento e, conseqüentemente, dos custos com alimentação (AVNIMELECH, 1999).

**Figura 1** – Exemplo de estruturas filtradoras presente em algumas espécies de peixe, denominadas rastros brânquias, onde depositam-se os bioflocos que serão posteriormente deglutidos



Fonte: John Lyons - University of Wisconsin, Sea Grant Institute, EUA.

Além da diminuição do volume de ração ofertada, a TBF também reduz a quantidade de água utilizada e, conseqüentemente, o volume de efluentes gerado (KUMMENAUER *et al.*, 2011). Essa queda no volume de efluentes também se dá em decorrência das técnicas de manejo que envolve os bioflocos, visto que em muitos cultivos é possível reutilizar a água proveniente do ciclo produtivo anterior, aproveitando o equilíbrio já estabelecido entre os microorganismos ali presentes (GAONA *et al.*, 2009). Somado a este benefício observado, há também o fato de que os cultivos com bioflocos demonstraram possuir maior biossegurança, tendo em vista que a população microbiana desenvolvida é capaz de competir com alguns microorganismos patógenos que possam ser introduzidos (CRAB *et al.*, 2010).

Na carcinicultura a TBF já vem sendo amplamente utilizado, sendo um dos responsáveis pelo aumento da produtividade na última década. Dentro da piscicultura, alguns autores já provaram ser possível criar algumas espécies de peixes em sistema de bioflocos, como a tilápia (KUBITZA, 2011; AVNIMELECH, 2007; AZIM e LITTLE, 2008; RAKOCY, 1995), a tainha (ROCHA *et al.*, 2012) e o pacu (POLEO *et al.*, 2011), porém não se trata de uma tecnologia muito utilizada na piscicultura mundial.

Considerando todo este cenário que compõe a piscicultura atual, a presente revisão bibliográfica tem como objetivo fornecer uma visão geral sobre a TBF aplicada à criação de peixes, uma vez que a mesma demonstra ser a solução tanto para a sustentabilidade, quanto

para a rentabilidade dos processos produtivos. Serão abordadas as principais técnicas de manejo utilizadas, bem como os demais aspectos que envolvem esta modalidade de cultivo.

## **2. CARACTERÍSTICAS DOS PRINCIPAIS SISTEMAS DE CULTIVO DA PISCICULTURA ATUAL**

### **2.1 Cultivo em Viveiros Escavados**

Os viveiros, ou açudes, são áreas escavadas, sem qualquer revestimento interno, preenchidas com água. Trata-se do sistema de cultivo mais antigo da piscicultura. Em países onde o custo da terra é baixo, a mão-de-obra é barata e a temperatura ambiental é propícia, estes são os sistemas mais empregados, sendo necessárias grandes áreas alagadas para a produção comercial de peixes (Figura 2) (CREPALDI, 2006)

**Figura 2** – Exemplo de um viveiro escavado utilizado na piscicultura



Foto: Agência de Notícias – Embrapa – 2013.

As estruturas físicas envolvidas neste sistema dependerão do grau de intensificação da atividade, do manejo nutricional e do controle de qualidade da água. A dimensão e formato dos viveiros podem variar de acordo com a espécie de peixe que será cultivada, porém, se forem construídos retangularmente, propiciam um manejo mais simples na despesca (MELO, 1998).

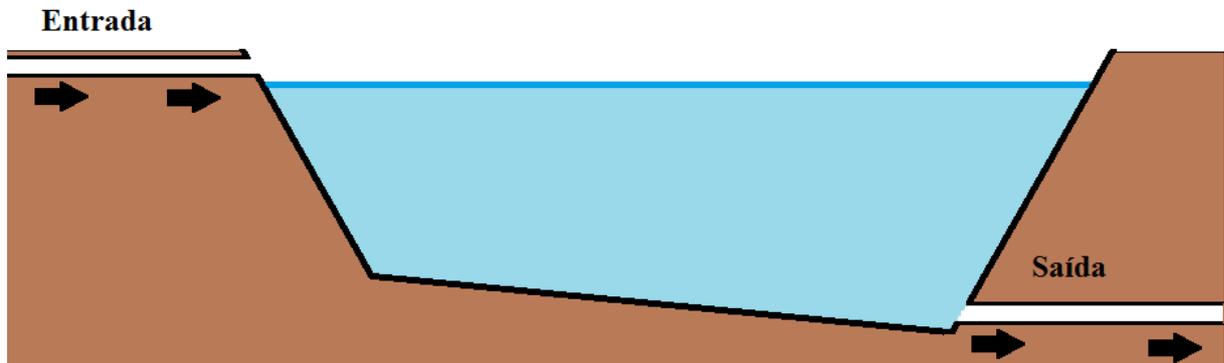
Em muitas propriedades, a piscicultura em viveiros é conduzida como uma criação extensiva. Nestas situações, os animais são cultivados sem que haja um controle intensivo sobre a alimentação, reprodução e desenvolvimento dos mesmos. Os peixes são introduzidos nos viveiros sem distinção entre machos e fêmeas, podendo ser até de espécies diferentes. Não há administração de ração nem qualquer tipo de adubagem, tendo os peixes que se alimentarem exclusivamente dos nutrientes naturais disponíveis no ambiente, apresentando baixos índices de desempenho zootécnico (VIEIRA, 1991).

Outra maneira de se criar peixes em viveiros escavados é de forma intensiva. No cultivo intensivo há rigoroso controle dos processos produtivos. Os animais são separados por sexo e faixas etárias. No cultivo da tilápia, por exemplo, os peixes criados são todos machos. A separação por faixas etárias é feita em 4 categorias: larva/pós-larva, alevino, juvenil e peixe adulto. Cada categoria habita um viveiro diferente e possuem um manejo alimentar específico. Além da sexagem e da alimentação, a exploração intensiva da piscicultura em viveiros também demanda atencioso cuidado com a qualidade da água. Para tanto, faz-se o uso de determinados componentes, orgânicos e/ou inorgânicos, sempre que algum parâmetro mensurado no cultivo não estiver dentro do recomendado para aquela espécie (CARNEIRO e URBINATI, 1999).

Um desses parâmetros é a concentração de oxigênio na água, conhecido como oxigênio dissolvido. A falta de níveis corretos de oxigênio dissolvido é um dos principais fatores responsáveis por frear o desenvolvimento dos peixes (TAVARES, 1995). Assim sendo, nas criações intensivas, além da ração e adubagem administradas, também é necessário o uso de aeradores.

Em ambas situações envolvendo distintas intensidades de produção, alguns aspectos devem ser levados em conta no planejamento de síntese dos viveiros. Primeiramente, os viveiros devem ser instalados próximos a locais com grande disponibilidade de água, pois esse sistema de cultivo requer grandes volumes, tornando a utilização da água encanada distribuída por órgão públicos completamente inviável. Fora isso, deve-se levar em conta a topografia do terreno que será utilizado dando-se preferência à áreas com pouca ou nenhuma inclinação. Apesar de não ser aconselhável a utilização de locais inclinados, recomenda-se que os viveiros sejam planejados com um leve declive no assoalho (Figura 3) para facilitar o escoamento da água de cultivo sempre que for necessária a drenagem completa ou parcial (CREPALDI *et al.*, 2006).

**Figura 3** – Demonstração do declive no assoalho do viveiro escavado, aconselhável ser projetado na construção.



Fonte: Vitor Gomes Rossi.

## 2.2 Cultivo em Tanques-Rede

O cultivo em tanques-rede consiste em criar os peixes em gaiolas numa grande coleção de água, o que possibilita uma eficiente troca de água e remoção dos dejetos (Figura 4). O total de peixes produzidos por este sistema representa cerca de 10% da produção proveniente da aquicultura mundial, se estabelecendo em águas marinhas, salobras ou doces. Os tanques são construídos em uma variedade de formas e materiais, tais como ferro, PVC, nylon e outros materiais sintéticos. As estruturas de suporte podem manter os tanques na superfície ou abaixo dela (BEVERIDGE, 2008). Eles variam em tamanho de um a centenas de metros cúbicos e podem ter qualquer formato, sendo as formas quadrada, retangular ou cilíndrica, as mais típicas (AUBURN, 1999).

**Figura 4** – Exemplo de uma piscicultura utilizando sistema de tanques-rede



Fonte: Jornal Comércio Hoje (categoria Geral), 24 abril 2012.

Em relação ao espaçamento entre as gaiolas, no caso de gaiolas ou tanques-redes que apresentam um volume útil entre 4 e 8 m<sup>3</sup>, o ideal é que a distância entre gaiolas seja de pelo menos 3 m de distância. A linha de tanques-redes ou gaiolas deve ser posicionada perpendicularmente ao sentido do vento predominante e do fluxo da água, de modo a garantir condição adequada de troca da água para todas as gaiolas. Quanto ao espaçamento entre uma linha de tanques e outra, esta deve ter uma distância mínima de 10 m. Em relação à profundidade, é recomendável que a distância entre o fundo da gaiola ou tanque-rede e o fundo da lagoa (ou outro corpo d'água) seja de pelo menos 2 m, de modo que, quanto menor a troca de água promovida por correntes ou vento, maior deve ser a profundidade (SEBRAE, 2008).

Os peixes são alimentados com ração contendo diferentes composições, variando de acordo com a espécie cultivada e a fase de crescimento em que ela se encontra. Trata-se de um sistema intensivo de cultivo, portanto, as densidades de estocagem são elevadas e também oscilam de acordo com a espécie e fase de crescimento dos animais (GARCIA *et al.*, 2013).

Na criação em tanques-rede, o controle de alguns parâmetros físico-químicos de qualidade da água se apresenta mais limitado, visto que as estruturas estão inseridas em grandes corpos de água, sendo inviável economicamente manter tais parâmetros sob rígido

controle e independente das mudanças climáticas do ambiente. A temperatura, alcalinidade, pH e turbidez são exemplos de parâmetros que não são possíveis de serem manejados na criação em tanques-rede. Entretanto, é possível modificar alguns aspectos de qualidade da água adotando técnicas de manejo. A concentração de oxigênio dissolvido é um desses aspectos, sendo possível aumentar o índice da mesma nos tanques através do uso de aeradores. Portanto, mesmo que não seja possível o controle de todos os parâmetros de qualidade deve-se manter constante vigilância sobre a água tanto dentro dos tanques quanto no ambiente em volta (ROTTA, 2003).

Muitos cultivos em tanques-rede são implantados em águas pertencentes aos governos dos países em que eles se encontram. Para tanto, é necessário que seja concedida uma autorização pelos órgãos públicos competentes. No caso de serem instaladas em águas públicas (grandes represas, rios, estuários, lagoas), podem produzir limitações as atividades realizadas no local como o lazer e o transporte fluvial. O que também é fator de preocupação é a possibilidade da criação em tanques-redes impactar negativamente no ambiente limnológico local, uma vez que o excesso de ração e as excretas produzidas pelos animais podem aumentar a carga de matéria orgânica e contribuir para o desequilíbrio do corpo de água presente (RAMOS, 2008).

### **2.3 Sistema de Fluxo Contínuo (*Raceway*)**

Os sistemas de fluxo contínuo, também chamados de *Raceway*, baseiam-se no abastecimento contínuo de água nos tanques de cultivo. As estruturas físicas deste sistema devem ser concebidas de uma forma em que nenhuma das partes dos tanques de cultivo possua água estagnada, caso contrário, detritos ou fezes se acumularão nesses locais levando a deterioração da qualidade da água e aumentando as chances de ocorrerem surtos de doenças nos peixes. O material mais comum utilizado na fabricação dos tanques deste sistema é o concreto, mas alguns são de outros materiais, como pedra, terra e fibra de vidro (Figura 5) (TIDWELL, 2012).

**Figura 5** – Exemplo de instalações de uma piscicultura no sistema de fluxo contínuo, na Coreia do Sul.



Fonte: The NOAA Central Library. Silver Spring, Maryland, EUA.

O principal fator que afeta a construção do sistema *Raceway* é a obrigatoriedade de existir uma fonte com grande volume de água disponível. Depois de localizada tal fonte, as estruturas são construídas de modo que a corrente da água atravessa todos os tanques de cultivo. A quantidade de entrada de água deve ser suficiente para promover a limpeza rápida dos tanques com máxima retirada de catabólitos, sem exigir dos peixes um esforço exagerado para a natação, o que seria desfavorável para seu pleno desenvolvimento, uma vez que a energia que é usada para o crescimento seria direcionada para o exercício (CREPALDI *et al.*, 2006).

O sistema pode ser aberto, quando a água que atravessa os tanques não é reutilizada, e fechado, quando a água percorre toda a criação e depois é rebombada para o começo do sistema, sendo tratada por filtros mecânicos e biológicos para controle dos seus parâmetros físico-químicos. Entretanto, os sistemas fechados podem se tornar inviáveis devido aos altos custos com energia (AVAULT, 1996). O fluxo ótimo de água nos tanques varia de acordo com a espécie e o estágio de vida sendo recomendáveis 4 a 6 trocas de toda água dos tanques de cultivo em cada hora. Salmonídeos, por exemplo, são menos tolerantes a baixa qualidade de água, necessitando mais trocas que a tilápia e o catfish. Já as larvas e alevinos exigem

menores velocidades, uma vez que ainda não apresentam força suficiente para o exercício de natação (STICKNEY *et al.*, 1994).

Como este sistema utiliza grandes volumes de água podem ser formadas baterias de até quatro tanques sucessivamente, onde a água passa do primeiro até o último, com cascadeamento entre eles para que haja reincorporação do oxigênio à água. Para tal, é desejável que o terreno apresente diferenças de nível maiores do que 6%, o que facilita a locação dos tanques de cultivo, assim como a maior eficiência na captação e drenagem da água. A densidade de estocagem deve diminuir progressivamente do primeiro para o último tanque, pois à medida que a água passa pelos tanques, o oxigênio dissolvido diminui e a concentração de amônia aumenta devido a atividade metabólica dos peixes (LANDAU, 1992).

#### **2.4 Sistemas de Recirculação da Água (RAS)**

Os sistemas de recirculação da água, também denominada RAS (*Recirculating Aquaculture System*), são formas de cultivo em que a água, após passar pelos tanques de produção, segue para o tratamento através de decantadores, filtros mecânicos e biológicos, retornando ao sistema por bombeamento (Figura 6). A natureza dos materiais aplicados na composição das estruturas do sistema é variável, sendo possível até a utilização de hidroponia para o tratamento da água de cultivo (ZHANG *et al.*, 2011). A fim de evitar a introdução de patógenos ao sistema, a água de abastecimento (água nova) deve ser filtrada, para retenção de partículas e depois esterilizada. Com o mesmo objetivo, é imprescindível que se faça quarentena e tratamentos profiláticos em todo peixe a ser introduzido na recirculação. A única água nova que entra é aquela para repor a que se perde durante os processos de tratamento e por evaporação. Essas perdas devem ser em torno de 5% do volume total do sistema por dia, variando de 2 a 10% (TIDWELL, 2012).

**Figura 6** - Representação esquemática de um sistema de recirculação de água



Fonte: Revista Panorama da Aquicultura. Nº59. 2000

As estruturas que compõem o RAS são: os filtros mecânicos, responsáveis pela retirada de partículas maiores (geralmente  $> 30\mu\text{m}$ ); os filtros biológicos, que realizarão a retirada dos compostos nitrogenados pela ação de bactérias autotróficas; os decantadores, que atuam separando os resíduos sólidos da água de cultivo que naturalmente decantam; aeradores, difusores ou injetores de oxigênio, responsáveis pela manutenção da concentração de oxigênio dissolvido; bombas que servirão para retornar a água para os tanques de cultivo; ozonificadores e filtros ultravioletas, utilizados principalmente nos setores de incubação e larvicultura com o intuito de esterilizar a água (CREPALDI *et al.*, 2006).

A temperatura da água, os níveis de oxigênio dissolvido, a amônia e o nitrito são controlados através desta combinação de troca de água, aeração e biofiltração. Dessa forma, é possível manter sempre um alto fluxo de água passando no sistema, aumentando a densidade de estocagem sem que seja necessário gasto de água nova e sem que os elementos poluidores sejam lançados em demasia no ambiente (KLINGER e NAYLOR, 2012). Entretanto, os gastos com energia e manutenção das instalações pode diminuir a rentabilidade destes sistemas de cultivo. Um aspecto importante sobre os sistemas de recirculação, além da economia significativa de água, é que eles permitem total controle do seu ambiente interno, o que determina a produção e reprodução constantes, facilitando o abastecimento contínuo exigido pelos melhores mercados consumidores (CASH, 1994). A possibilidade de isolamento da criação permite que seja possível manter um controle sobre a introdução de parasitas, predadores e competidores indesejáveis no sistema. A necessidade de pequenas áreas é outra característica interessante da recirculação, tendo em vista que já existem países

em que não se admite a implantação de novos sistemas de aquicultura que não utilizem a recirculação hídrica (LIAO, 1992).

### 3. SISTEMA DE BIOFLOCOS (TBF)

#### 3.1 História

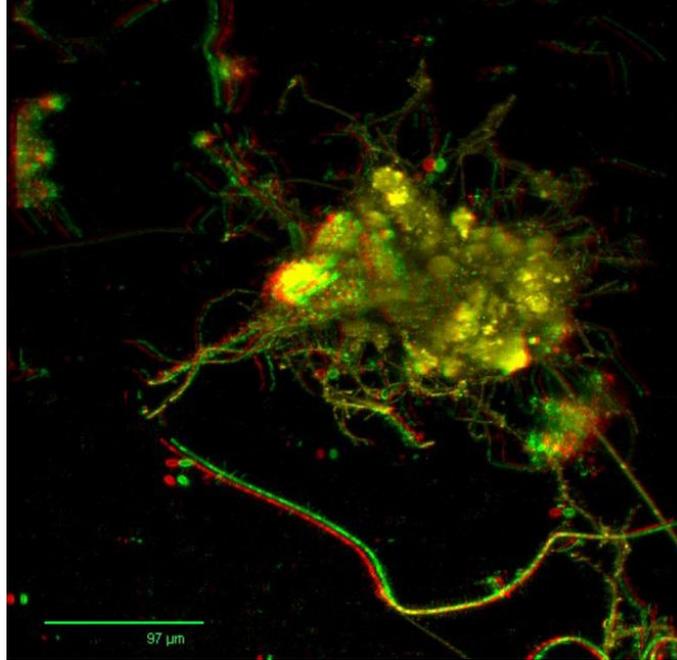
A TBF foi desenvolvida pela primeira vez no início dos anos 1970 pelo Ifremer - COP (Instituto Francês para a Exploração do Mar, Centro do Oceano Pacífico), com diferentes espécies de peneídeos incluindo *Penaeus monodon*, *Fenneropenaeus merguensis*, *Litopenaeus vannamei* e *L. stylirostris* (EMERENCIANO *et al.*, 2012). Tal sistema de cultura foi comparado com um "rúmen externo", mas agora aplicado para o cultivo de camarão. Ao mesmo tempo, Ralston Purina desenvolveu um sistema baseado em bactérias nitrificantes, mantendo camarões na escuridão total. Em conexão com o Ifremer - COP, tal sistema foi aplicado à criação de *L. stylirostris* e *L. vannamei* tanto em Crystal River (EUA) quanto no Tahiti, demonstrando os primeiros benefícios da TBF para a aquicultura. Em 1980, um programa científico francês chamado "Ecotron" foi iniciado pelo Ifremer para entender melhor esse sistema. Também na década de 1980 e início da década de 1990, Israel e EUA (Waddell Mariculture Center) começaram a desenvolver projetos em aquicultura que utilizavam a TBF, com tilápia e camarão branco *L. vannamei*, respectivamente. O interesse de ambas as nações com esta nova tecnologia abrangia a possibilidade de economizar água e reduzir os impactos ambientais aparentemente demonstradas na criação em TBF (EMERENCIANO *et al.*, 2012).

No que diz respeito ao histórico de aplicação comercial da TBF, ela se iniciou em 1988 em uma fazenda chamada Spoomer, no Tahiti. Mais tarde, em 1997, um empresário natural de Belize, implantou neste mesmo país uma fazenda de camarões em TBF que se tornou o empreendimento mais bem sucedido dentro desta modalidade de cultivo. Grande parte dos conhecimentos sobre a produção em escala comercial no mundo de viveiros de camarão com TBF é derivado desta experiência. Hoje em dia, a TBF no cultivo de camarão já está difundido com sucesso em larga escala na Ásia, América Latina e América Central, bem como em estufas de pequena escala nos EUA, Coreia do Sul, Brasil, Itália, China e outros (EMERENCIANO *et al.*, 2013).

### 3.2 Implementação e Aspectos Gerais sobre o Manejo do Sistema

A TBF se baseia em estimular o desenvolvimento de uma densa comunidade microbiana por meio da manipulação da relação C:N na água de cultivo, com o mínimo de reposição da mesma, onde bactérias e outros microrganismos invertebrados, na presença de restos de fezes e ração, formam os agregados ou bioflocos (Figura, 7) (KUBITZA, 2011). Esses bioflocos ficam em suspensão na coluna de água, estando disponíveis para serem assimilados pelos organismos cultivados (AVNIMELECH, 2007), contando que os mesmos possuam hábitos alimentares condizentes com a dieta, ou seja, devem necessariamente ser animais filtradores. O perfil microbiano que povoa os agregados é diverso, sendo composto por leveduras, bactérias, protozoários e microalgas (MONROY-DOSTA *et al.*, 2013) que, com a presença de O<sub>2</sub> em concentrações adequadas, desempenham papel trivial na assimilação do nitrogênio do sistema impedindo que o mesmo se acumule em formas tóxicas como amônia e nitrito (CRAB *et al.*, 2007) e provendo fontes de nitrogênio para a síntese de proteína para o sistema de cultivo (AVNIMELECH, 2007).

**Figura 7** - A imagem 3-D de um floco bacteriano com 21 dias de idade, corado com 40-6-diamidino-2-fenilindole (DAPI), visualizado em microscópio confocal.....



Fonte: AZIM *et al.* (2008)

Na piscicultura a implementação dos bioflocos pode acontecer, basicamente, por dois métodos. Um dos métodos é utilizar a água proveniente de outras culturas em bioflocos, utilizando esta água diretamente nos tanques de cultivo ou armazenando-a em biorreatores (LUO *et al.*, 2014). O outro método consiste em criar os peixes em tanques sem recirculação da água ou reposição da mesma, excetuando-se o volume perdido por evaporação, propiciando a acumulação das excretas e dejetos dos animais, bem como toda a ração administrada que não é consumida pelos peixes (Figura 8). Com essas condições, sob constante oxigenação, movimentação da água e com suplementação de fontes concentradas de carbono, possibilita-se o desenvolvimento dos microorganismos que irão formar os bioflocos (AZIM e LITTLE, 2008).

**Figura 8** - Evolução do aspecto da água durante a realização de um projeto de cultivo de tilápia em TBF. (A) Água com 9 dias de idade, ainda transparente e levemente esverdeada. (B) No 17º dia a água começa a apresentar aspecto amarronzado. (C) No 29º dia, há formação de espuma na superfície e grande quantidade de limo aderido à parede da caixa. (D) Redução da quantidade de espuma e aparecimento dos bioflocos em suspensão, por volta do 38º dia.



Fonte: Protótipo de criação de tilápia envolvendo TBF (DA SILVA e DA COSTA, 2013)

Para que seja possível a formação e manutenção da população microbiana de forma a somente beneficiar a aquacultura, deve-se manter constante vigilância sobre os diversos processos que envolvem o manejo do sistema. Um dos fatores importantes que devem ser monitorados é a aeração. Segundo RAY *et al.* (2010) a concentração de oxigênio na água é um dos aspectos mais essenciais para que se estabeleça um equilíbrio na microbiota, evitando a proliferação de organismos indesejáveis. A fim de manter o oxigênio dissolvido na água em níveis adequados, é necessário manter aparelhos que promovam a aeração nos tanques envolvidos no sistema, ou suplementar o mesmo com uma fonte de oxigênio concentrado (AVNIMELECH, 2009).

Outro fator de igual importância é a movimentação da água das culturas. Para que os peixes sejam capazes de assimilar os nutrientes contidos nos bioflocos, deve manter-se constante inquietude na água, pois se a mesma se mantém estagnada os flocos microbianos podem decantar e não estarão disponíveis na coluna de água em concentrações e tamanhos que favoreçam a nutrição dos animais (EKASARI *et al.*, 2014; BEVERIDGE *et al.*, 1989). Esta inquietude pode ser ocasionada pela própria aeração e oxigenação ou feita separadamente por equipamentos específicos para a atividade.

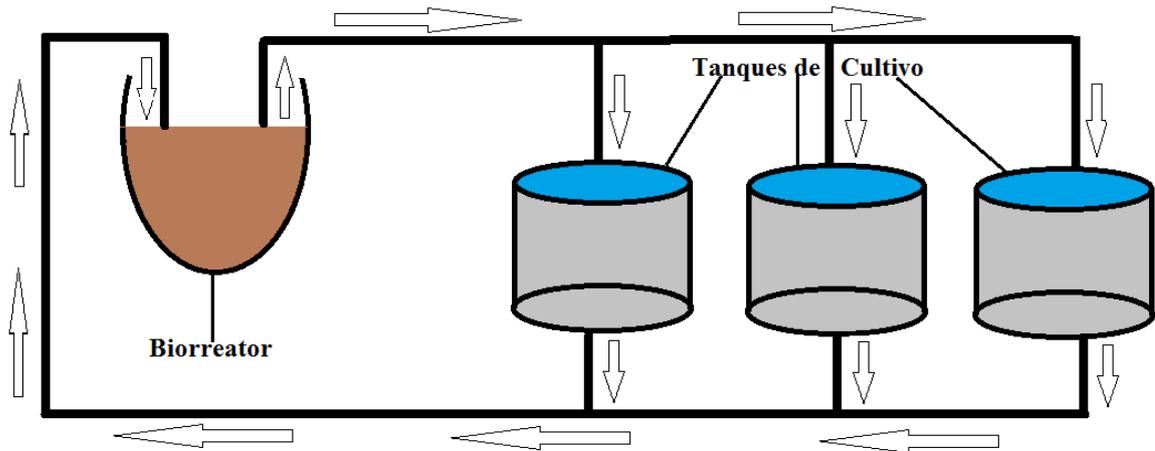
Para promover o equilíbrio da comunidade microbiana e também contribuir para a formação dos bioflocos, deve-se adotar um regime de ao menos 12 horas de luminosidade. Caso não haja fonte de luz natural é necessária a instalação de fontes luminosas (ROCHA *et al.*, 2012).

O manejo alimentar dos animais dependerá da espécie cultivada, da idade dos peixes e dos parâmetros físico-químicos de qualidade da água, tendo tanto a sua composição quanto o horário de administração alterados de acordo com o que se observa ao longo do ciclo produtivo. Por esta razão é necessário manter um monitoramento constante desses parâmetros, sendo muitos deles aferidos diariamente (AVNIMELECH, 2009).

### **3.3 Instalações físicas**

Comparado aos sistemas intensivos tradicionais de recirculação da água na piscicultura, a TBF não difere muito no que tange a estrutura física (KUBITZA, 2011). Atualmente, o sistema possui duas modalidades de estruturação. Uma dessas modalidades é constituída pelos tanques de cultivo, onde estarão os peixes, e por um biorreator (Figura 9). O biorreator é um reservatório onde a produção de bioflocos é estimulada com o intuito de abastecer os tanques de cultivo com essas partículas. A água do biorreator é bombeada para os tanques de cultivo e a água dos tanques de cultivo é bombeada para o biorreator, mantendo um fluxo de circulação constante e as ideais concentrações dos flocos microbianos nos tanques de cultivo (RAY *et al.*, 2010)

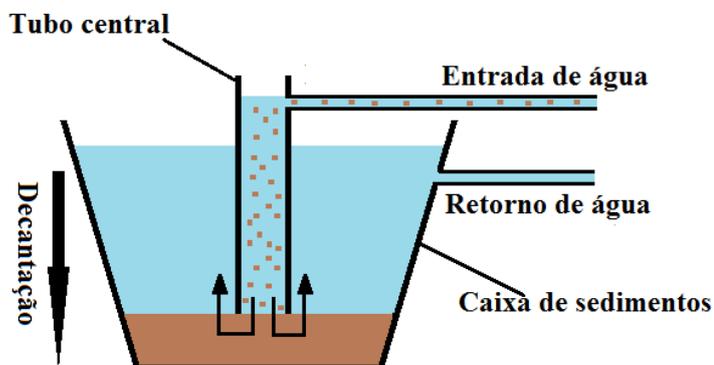
**Figura 9** – Demonstração da utilização de um biorreator no sistema de TBF.



Fonte: Vitor Gomes Rossi.

A outra modalidade consiste em manter a produção de bioflocos nos mesmos tanques em que é feito o cultivo, sem a necessidade de um biorreator. Desta forma, apenas com a movimentação da água e eventuais retiradas do excesso de flocos que se acumula nos tanques é possível manter o sistema em equilíbrio e a concentração dos bioflocos adequada (CRAB *et al.*, 2009). Em ambas modalidades pode ser utilizado um decantado (clarificador), que por sua vez fará o papel de reduzir o total de sólidos presentes na água, (Figura 10). O uso de tal equipamento se mostrou eficiente para o manejo dos bioflocos e controle de alguns parâmetros físico-químicos do sistema, como oxigênio total dissolvido, pH e concentrações de amônia, nitrito e nitrato (WASIELESKY *et al.*, 2006).

**Figura 10** – Modelo de decantador proposto por GOANA *et al.* (2011).



Fonte: Vitor Gomes Rossi.

Além das estruturas físicas envolvidas diretamente no cultivo é necessário que se tenha alguns equipamentos como fontes luminosas, aquecedores, aeradores e geradores, pois o sistema deve obrigatoriamente possuir uma fonte de energia por 24 horas. O que também deve estar presente é uma correta estrutura laboratorial, equipada com todos os aparatos e reagentes necessários para monitorar os parâmetros de qualidade da água (AVNIMELECH, 2009).

### 3.4 Parâmetros físico-químicos da água

#### 3.4.1 Alcalinidade e pH

A alcalinidade é a medida total das substâncias presentes na água e capazes de neutralizarem ácidos. Em suma, é a quantidade de substâncias presentes na água e que atuam como tampão. Apesar da definição de alcalinidade abranger mais de uma substância, ela é expressa pela concentração em mg/L de  $\text{CaCO}_3$  (carbonato de cálcio). O pH, por sua vez, é um indicador da concentração de íons de hidrogênio ( $[\text{H}^+]$ ) na água, sendo expressa em uma escala de 0 a 14, onde zero é o mais ácido possível e 14 o mais básico possível. A  $[\text{H}^+]$  afeta a maioria dos processos químicos e biológicos, portanto, o pH é uma variável importante para o controle e manutenção da qualidade da água. Em sistemas TBF, as taxas de pH tendem a se manter estáveis e próximas a 7, como observado na tabela 3. A alcalinidade deve ser mensurada duas vezes por semana, enquanto o pH deve ser observado diariamente (BOYD *et al.*, 2011).

As diferentes espécies de peixes podem suportar distintas faixas de acidez na água. Porém, para fins práticos, aconselha-se manter a água de cultivo próxima à neutralidade (pH = 7) (BALDISSEROTO, 2002). Quanto à alcalinidade, para o correto equilíbrio da população microbiana dos bioflocos, as concentrações de  $\text{CaCO}_3$  não devem ser inferiores a 100mg/L (FURTADO *et al.*, 2014). A alcalinidade e o pH podem sofrer alterações devido ao consumo de carbono inorgânico por bactérias heterotróficas e nitrificantes que formam os bioflocos (EBELING *et al.*, 2006).

De acordo com CHEN *et al.* (2006), para cada grama de nitrogênio amoniacal total de (TAN) oxidados a nitrato ( $\text{NO}_3$ ), cerca de 4,18 g de oxigênio e 7,07 g de alcalinidade são consumidos e 0,17 g de biomassa bacteriana é produzida. (EBELING *et al.*, 2006). No entanto, observou que para cada grama de nitrogênio amoniacal convertido em biomassa

microbiana, 4,71 g de oxigênio dissolvido, 3,57 g de alcalinidade e 15,2 g de hidratos de carbono são consumidos, enquanto que 8,07 g de biomassa microbiana e 9,65 g de dióxido de carbono são produzidos.

As condições iniciais do cultivo são predominantemente fotoautotróficas, e os níveis de pH podem oscilar entre 6,6 - 10,2 em um dia como resultado de fotossíntese do fitoplâncton, que remove o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e eleva o pH. Durante a noite, o  $\text{CO}_2$  é mais liberado do que consumido pelos animais e pelos microorganismos, reduzindo o pH da água. Os níveis de sólidos suspensos totais aumentam, e a comunidade de bactérias heterotróficas começa a tornar-se dominante com o passar do tempo. Esta mudança ajuda a atenuar oscilações diárias do pH e os processos de fotossíntese são reduzidos por causa da alta turbidez e consequente redução da luminosidade na coluna de água (BOYD, 1979; VINATEA *et al.*, 2010).

Manter alcalinidade adequada no ambiente de cultivo também ajuda a reduzir as oscilações de pH devido a processos respiratórios e fotossintéticos (VAN WYK *et al.*, 1999). A aplicação de substâncias alcalinizantes é uma prática eficiente para o controle da alcalinidade na piscicultura (VAN WYK, 1999). Cultivando camarões em TBF, (QUEIROZ *et al.*, 2004) verificaram que o uso de hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) resultou em uma melhor relação custo-benefício quando comparado com bicarbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) e com o carbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ), uma vez que forneceu condições físicas e químicas adequadas para o desenvolvimento dos bioflocos e dos animais do cultivo. Portanto, sempre que a alcalinidade estiver menor que 100mg/L é essencial que se faça a correção com um dos componentes citados. Porém, observou-se ser possível a criação de peixes em TBF com níveis de alcalinidade inferiores a 100m/L, até 61,75mg/L (KUBITZA, 2011), como observado nos dados coletados da tabela 3.

#### 3.4.2 – Salinidade

A concentração total de íons dissolvidos na água, ou a salinidade, é de grande relevância para a aquacultura, afetando a solubilidade do oxigênio na água e a escolha de espécies para o cultivo. Na piscicultura pode-se criar animais adaptados à água do mar (> 30 g/L de sais), à água doce (0,5 g/L de sais) ou a ambientes de água salobra ou polihalina (0,5-30 g/L de sais) (ESTEVEZ, 1998).

A maioria dos peixes criados para consumo atualmente são teleósteos, logo, são osmorreguladores (BALDISSEROTO, 2002), podendo ter diferentes tolerâncias à variação na salinidade. Caso os peixes criados sejam espécies marinhas ou salobras, deve-se manter uma fonte de água marinha disponível para os casos em que for necessário corrigir este parâmetro. Segundo ROCHA *et al.* (2012), para a criação de peixes marinhos em TBF é preciso mensurar a salinidade diariamente podendo ser executada com um simples refratômetro.

### 3.4.3 – Oxigênio Dissolvido

A presença de oxigênio dissolvido na água (OD) é essencial para a sobrevivência de uma ampla gama de animais aquáticos que respiram por meio de brânquias, como peixes, crustáceos e moluscos. O OD é utilizado na oxidação do alimento que libera energia para todas as atividades vitais destes organismos pela reação da oxidação da glicose (NELSON e COX, 2009). Também se beneficiam desta forma de oxigênio inúmeros microorganismos de metabolismo aeróbio e facultativo que desempenham papéis importantes na transformação e na ciclagem de nutrientes (MADIGAN e MARTINKO, 2006).

Como a criação de peixes em TBF possui alta carga de matéria orgânica em metabolização, o consumo de oxigênio demandado pelo sistema é alto sendo necessária a aeração ininterrupta das instalações contendo os animais (Figura 10). Caso essa aeração seja interrompida a população microbiana aeróbica rapidamente consumirá o oxigênio disponível, levando a acidificação do sistema, ao crescimento em excesso dos microorganismos anaeróbicos e a possível asfixia dos peixes. Outra alternativa para manter os níveis de OD satisfatórios é adicionando peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) à água de cultivo (LIMA *et al.*, 2012). Porém, o  $H_2O_2$  pode ser tóxico se estiver em altas concentrações (ARNDT e WAGNER, 1997).

**Figura 11** – Exemplo de um sistema de aeração sendo utilizado em uma piscicultura com TBF.



Fonte: University of The Virgins Islands, EUA.

Embora os peixes possam sobreviver dentro de certo limite a baixas concentrações de OD, a exposição prolongada a esta situação é prejudicial (BOYD, 1979). Durante o cultivo de peixes tropicais, por exemplo, as concentrações de oxigênio dissolvido devem ser mantidas, preferencialmente, acima de 4 mg/L, e valores abaixo de 2 mg/L podem ocasionar estresse, risco de mortalidade, atraso no crescimento e redução na eficiência alimentar (KUBITZA, 2003a). Em TBF, recomenda-se manter os níveis de  $O_2$  acima de  $5,00\text{mg/L}^{-1}$ , porém, estudos conduzidos neste sistema provaram que é possível manter níveis inferiores a estes, como o observado por WAMBACH (2013) de  $3,97\text{mg/L}^{-1}$  (tabela 3).

#### 3.4.4 – Nitrito e Nitrato

O nitrito ( $\text{NO}_2$ ) encontrado no meio aquático é o produto da oxidação realizada pelas bactérias nitrificantes (Nitrosomonas) de parte da amônia presente no meio. Em pHs normais de cultivo ( $>6,0$ ), o nitrito presente na água pode ser transportado ativamente pelas membranas dos animais, pelo mecanismo que normalmente transporta cloreto para dentro das células. A adição de íons de cloreto (sob a forma de NaCl) é utilizada como uma forma de proteger os peixes da toxicidade do nitrito, pois atua competindo pelo transportador de

membrana. Porém, se há uma queda acentuada no pH, a toxicidade da concentração de nitrito pode ser um problema relevante, mesmo com a incorporação de cloreto (COLT, 2006).

O efeito mais importante do nitrito dentro do organismo dos peixes é a sua capacidade de oxidar a hemoglobina sanguínea, convertendo-a em uma molécula incapaz de transportar oxigênio. De forma geral, o nitrito pode ser tóxico aos peixes em baixas concentrações, em alguns casos mesmo abaixo de 1 mg/L de  $\text{NO}_2$  (ARANA, 2004).

O nitrato ( $\text{NO}_3$ ), por sua vez, é oriundo do nitrito oxidado pelas bactérias nitrificantes (Nitrobacter). Para peixes de água doce, a toxicidade do nitrato é muito rara podendo estar relacionada a problemas osmorregulatórios. No caso de organismos marinhos as concentrações de nitrato normalmente devem permanecer abaixo de 500mg/L (COLT, 2006). Na criação de peixes em TBF é aconselhável o monitoramento dos níveis de nitrito e nitrato duas vezes por semana (KUBITZA, 2011) e os níveis de tais substâncias foram comparadas na tabela 3.

### 3.4.5 – Nitrogênio Amoniacal Total (TAN)

O nitrogênio amoniacal total é a concentração de N proveniente dos compostos amoníacos do sistema. O principal produto de excreção dos peixes é a amônia (animais amoniotélicos) resultante do catabolismo das proteínas (FRENCH *et al.*, 2000).

A amonificação também pode ocorrer a partir da degradação das proteínas presentes nas fezes e nos restos de ração resultantes da atividade microbiana. A amônia na água pode ser encontrada na forma do íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) ou na forma de amônia não ionizada ( $\text{NH}_3$ ), em uma reação de equilíbrio dependente principalmente do pH, além de ser afetada pela temperatura e salinidade (KUBITZA, 2003b).

A amônia não-ionizada ( $\text{NH}_3$ ) é de natureza lipofílica, ou seja, possui afinidade por gorduras e, por isso difunde-se facilmente através das membranas respiratórias sendo a forma mais tóxica para os organismos aquáticos (ARANA, 2004).

Na TBF é aconselhável monitorar o TAN ao menos duas vezes por semana (KUBITZA, 2011). Para a forma da amônia não-ionizada, concentrações da ordem de 0,01mg/L de  $\text{NH}_3$  já podem ser prejudiciais para espécies mais sensíveis, como o caso da truta-arco-íris (KUBITZA, 2003b).

Para a maior parte das espécies, aconselha-se a manutenção da amônia não-ionizada em concentrações abaixo de 0,05mg/L de  $\text{NH}_3$  (TIMMONS *et al.*, 2002). As variações de TAN observadas nos estudos estão documentadas na tabela 3.

#### 3.4.6 – Relação carbono / nitrogênio (C/N)

Para que a comunidade microbiana presente nos bioflocos seja capaz de metabolizar os compostos nitrogenados acumulados no sistema é necessária uma alta relação entre carbono e nitrogênio. Desta forma, as bactérias são capazes de assimilar o excesso de N da água em proteínas. Segundo AVNIMELECH (2009), a relação ideal de C/N nos sistemas com TBF é de 20/1, mas relações na ordem de 14/1 já são suficientes para estabelecer e manter a população de microrganismo benéfica dos bioflocos.

Para calcular esta relação deve-se estabelecer a concentração de carbono orgânico total do sistema. O carbono orgânico total é a concentração de carbono orgânico na água, oxidado a  $\text{CO}_2$  em um forno a alta temperatura e quantificado por meio de analisador infravermelho. Após calcular o carbono orgânico total, o próximo passo é determinar o N total, que é a soma do N proveniente da amônia, do nitrito e do nitrato do sistema. Posteriormente, basta dividir o total de carbono orgânico com o total de nitrogênio e estabelecer a relação C/N da água de cultivo (MARTINS *et al.*, 2014).

Se a relação C/N se encontrar baixa é necessário suplementar o cultivo com uma fonte concentrada de carbono. Esta estratégia também é utilizada para evitar que os compostos nitrogenados tóxicos do sistema acumulem em concentrações acima das aceitáveis. Com o acréscimo de C ao cultivo, a população microbiana é capaz de utilizar fixar o N às proteínas que ela produz, ação esta que caracteriza a TBF (KUBITZA, 2011; AVNIMELECH, 2009). As fontes utilizadas para tal suplementação podem ser diversas, como observado na tabela 1.

**Tabela 1** – Tabela contendo as diferentes fontes de carbono usadas em estudos com peixes criados em TBF.

Estudo	Espécie	Fonte de carbono
ROCHA <i>et al.</i> , 2012	Tainha	Melaço e farelo de trigo
AVNIMELECH E KOCHBA, 2009	Tilápia	Amido
CRAB <i>et al.</i> , 2009	Tilápia	Amido
GREEN <i>et al.</i> , 2012	<i>Catfish</i>	Melaço
WAMBACH, 2013	Tilápia	Melaço
GREEN, 2010	<i>Catfish</i>	Celulose
DA SILVA E DA COSTA, 2013	Tilápia	Farinha de trigo e resíduo de padaria
LUO <i>et al.</i> , 2013	Tilápia	Sacarose
MARTINS <i>et al.</i> , 2014	Tilápia	Melaço
KUBITZA, 2011	Tilápia	Resíduo de macarrão

### 3.4.7 – Temperatura

O metabolismo dos peixes é afetado fortemente pela temperatura ambiental pois são seres que não conseguem regulá-la internamente. No caso destes animais, chamados ectotermos, a troca de calor com o ambiente é muito mais importante que a produção metabólica para se determinar a temperatura corporal (FRENCH *et al.*, 2000).

Portanto, a temperatura da água influi no crescimento, no comportamento e na reprodução. Além disso, a temperatura da água está diretamente relacionada com a cinética de reações e solubilidade de gases afetando, por exemplo, o valor de concentração de oxigênio dissolvido (HUET e TIMMERMANS, 1983).

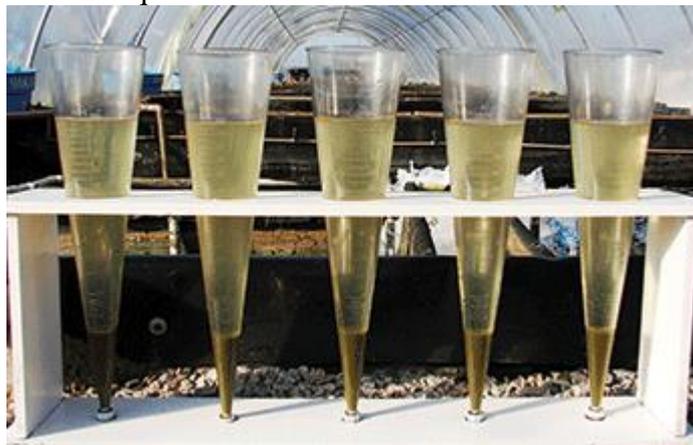
Os peixes apresentam uma zona restrita de tolerância térmica, variando conforme a espécie, que pode sofrer alterações por meio de aclimações experimentais ou pela adaptação em longo prazo a ambientes com diferentes limites térmicos (ARANA, 2004). Como algumas espécies estão adaptadas a variações de temperatura na natureza, como do verão para o inverno, a mudança lenta e gradual da temperatura do meio é consideravelmente melhor suportada que uma mudança drástica, que seria incomum em meio natural (ALABASTER e LLOYD, 1982).

Pautando-se nestas condições, deve-se manter rigoroso controle da temperatura durante o ciclo produtivo. É aconselhável manter um termômetro em cada tanque da produção verificando as marcações dos mesmos diariamente. Associado a isto, também é preciso um mecanismo de aquecimento a disposição, caso seja necessário manter a temperatura da água superior à temperatura ambiente (AVNIMELECH, 2009).

### 3.4.8 – Sólidos Suspensos Totais (SST)

A definição usual de sólidos refere-se à matéria que permanece como resíduo após evaporação e secagem a 103-105°C. Os sólidos totais em uma amostra líquida são classificados como sólidos totais dissolvidos e sólidos totais suspensos. Os sólidos totais dissolvidos são materiais que passam por um filtro com poro igual ou menor que 1,2 µm. O material retido pelo filtro é chamado de sólidos suspensos (SAWYER *et al.*, 2003). Outra alternativa para mensurar os sólidos presentes na água de cultivo é o uso de cones de Imhoff, que consegue determinar o volume de bioflocos por litro de água (Figura 12).

**Figura 12** – Figura demonstrando a utilização dos cones de Imhoff para mensurar a quantidade de bioflocos por litro de água, observando-se a deposição de sólidos no fundo das estruturas e calculando a proporção de tal porção em relação ao volume aquoso.



Fonte: Revista Panorama da Aquicultura, nº136, Março de 2013.

Na piscicultura em TBF, o recomendado é que os SST não ultrapassem 500mg/L e a frequência de monitoramento é a cada dois dias. Se os níveis de SST estiverem acima dos 500mg/L é necessário retirar o excesso de flocos do sistema (AVNIMELECH, 2009). O excesso de SST aumenta a turbidez da água, podendo levar ao desequilíbrio da população microbiana, uma vez que dificulta o acesso dos microorganismos autotróficos à luz. Além disto, o aumento na concentração de sólidos suspensos pode prejudicar o desenvolvimento dos animais, pois se deposita em demasia nas guelras, dificultando a assimilação de nutrientes da água por parte dos peixes (BEVERIDGE *et al.*, 1989).

Para a retirada do excesso de SST pode-se utilizar uma série de manobras. Uma delas é a sifonagem, que consiste em aspirar o fundo dos tanques de cultivo retirando os sólidos que decantaram. Outra alternativa, é limpar as paredes dos tanques, retirando o excesso de sólidos que se deposita nesses locais. A utilização de decantadores externos também pode ser feita para controlar a concentração de SST. Estudos desenvolvidos nas Ilhas Virgens dos Estados Unidos sugeriram que o cultivo com bioflocos associado à hidroponia, pode ajudar no controle de SST do sistema (RAKOCY *et al.*, 2008).

### 3.5 Desempenho zootécnico

A piscicultura em bioflocos é considerada uma atividade intensiva. Portanto, tem como uma das principais características a alta densidade de estocagem, associada ao rígido controle dos parâmetros físico-químicos da água de cultivo. Este cenário produtivo demanda do produtor consideráveis investimentos, tanto na parte estrutural, quanto na correta execução de todos os processos que envolvem a TBF. Do ponto de vista zootécnico, os estudos que abordaram a criação de peixes dentro deste sistema provaram que o mesmo é capaz de manter parâmetros de produção condizentes com outros sistemas intensivos, como *raceway*, RAS ou tanques-rede (KUBITZA, 2011).

Na criação de alevinos de tilápia, por exemplo, RAKOCY *et al.* (2008) foi capaz de manter 99,7% de sobrevivência dos animais com uma densidade de estocagem final de 18,4kg/m<sup>3</sup> e ganho médio diário de peso em torno de 3,2 g. O mesmo autor, criando a mesma espécie (Tilápia), porém utilizando o sistema de tanques-rede observou uma densidade de estocagem final de 182kg/m<sup>3</sup>, porém com 90% de sobrevivência e ganho médio diário de peso em torno de 3,0g ( RAKOCY, 1993).

PÓLEO *et al.* (2011) cultivando pacu com TBF, obteve padrões de desempenho zootécnicos muito similares ao observado no cultivo da mesma espécie em TBF (Tabela 8).

**Tabela 2** – Dados de desempenho zootécnico comparativo entre o sistema de criação TBF e RAS

Parâmetro	Sistema TBF	Sistema de recirculação
Nº peixes	450,00	450,00
Peso inicial(g)	47,92 ± 28,00	40,65 ± 24,00
Peso final(g)	449,50 ± 99,00	446,50 ± 10,00
Taxa de crescimento(g/dia)	2,34 ± 0,05	2,33 ± 0,03
Densidade final(kg/m <sup>3</sup> )	12,96 ± 0,53	12,13 ± 1,12
Biomassa final(kg)	187,97	176,02
Fator de conversão alimentar (%)	1,50 ± 0,06	1,60 ± 0,07
Sobrevivência (%)	92,00 ± 7,00	87,00 ± 6,00

Adaptado de PÓLEO *et al.* (2011).

### 3.6 Tabela Comparativa

**Tabela 3** – Dados coletados dos estudos envolvendo a tecnologia TBF aplicada a piscicultura.

Estudo	Espécie	FD <sup>1</sup>	Biomassa (final) kg/m <sup>3</sup>	Sobrevivência (média) %	TC <sup>2</sup> (média) g/dia	pH (média)	Alcnd <sup>3</sup> (média) mg/L <sup>-1</sup>	OD <sup>4</sup> (média) mg/L <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>5</sup> (média) mg/L <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>6</sup> (média) mg/L <sup>-1</sup>	TAN <sup>7</sup> (média)
(POLEO <i>et al.</i> , 2011)	Pacu	Juv./Adulto	12,96	92,00	2,34	7,80	127,90	5,00	0,69	16,70	0,10
(RAKOCY, 1995)	Tilápia	Adulto	14,40	78,90	4,00	7,80	224,00	5,50	0,58	289,00	1,15
(RAKOCY, 1995)	Tilápia	Adulto	13,70	81,00	3,00	7,80	204,00	7,90	2,68	397,00	1,85
(RAKOCY, 1995)	Tilápia	Adulto	15,30	86,00	3,50	7,70	247,00	5,30	1,93	158,00	2,00
(RAKOCY, 1995)	Tilápia	Adulto	18,60	99,70	3,20	7,50	211,00	5,30	5,60	165,00	2,30
(WAMBACH, 2013)	Tilápia	Alevino	8,70	82,60	1,10	7,77	72,14	4,52	96,84	-	3,32
(WAMBACH, 2013)	Tilápia	Juvenil	4,80	100,00	2,16	7,87	105,33	4,96	0,78	-	0,48
(WAMBACH, 2013)	Tilápia	Juvenil	10,12	98,96	2,36	7,79	82,68	4,20	1,66	-	1,71
(WAMBACH, 2013)	Tilápia	Juvenil	13,26	90,97	2,20	7,80	68,63	3,97	3,26	-	2,56
(LUO <i>et al.</i> , 2014)	Tilápia	Adulto	44,95	100,00	1,66	7,25	- <sup>8</sup>	> 6,00	<10,00	-	-
(AZIM e LITTLE, 2008)	Tilapia	Adulto	4,80	100,00	0,48	6,70	129,00	6,00	< 0,50	< 50,00	< 4,00
(KUBITZA, 2011)	Tilápia	Alevino	10,41	99,00	0,42	7,50	61,75	7,13	1,25	-	0,6-12,0

<sup>1</sup>Fase de desenvolvimento.

<sup>2</sup>Taxa de crescimento.

<sup>3</sup>Alcalinidade ([CaCO<sub>3</sub>]).

<sup>4</sup>Oxigênio Dissolvido.

<sup>5</sup>Nitrito.

<sup>6</sup>Nitrato.

<sup>7</sup>Nitrogênio Amoniacal Total.

<sup>8</sup>Dados não disponibilizados.

#### 4. CONCLUSÃO

Analisando a literatura existente acerca da tecnologia de produção em TBF aplicado à piscicultura, nota-se que do ponto de vista zootécnico trata-se de uma atividade produtiva viável. Alguns estudos conduzidos com distintas espécies de peixes demonstraram que os parâmetros de desempenho zootécnico dos animais criados nesta condição eram iguais ou até superiores aos observados em outros sistemas de cultivos intensivos. Contribuindo para isso está o fato de que a piscicultura em TBF demonstra ser mais segura sob o olhar da sanidade, levando a melhores índices de sobrevivência que os vistos em outras modalidades de criação, como as de recirculação de água (RAS).

Somando-se às benesses pontuadas acima, temos outras características que tornam a TBF promissora para o cultivo de peixes. A economia no volume total de água utilizada é uma delas. Excetuando-se pela reposição da quantidade perdida por evaporação e/ou por necessidade de manejar os sólidos suspensos totais, não há adição de água ao sistema. Com isso, a piscicultura pode ser implementada mesmo em regiões onde o suprimento de água não é abundante. Além disso, diminui-se também o volume de efluente produzido tornando o TBF um sistema de produção menos danoso no âmbito ambiental que os outros existentes na aquicultura atual.

Outra característica que se mostra vantajosa é o fato de que os flocos microbianos do sistema podem servir como alimento para espécies filtradoras. Desta forma é possível diminuir a quantidade de ração ofertada e, conseqüentemente, os custos com a alimentação dos animais. Considerando que esse tópico é um dos que mais contribui para os gastos na criação de peixes, o TBF aparenta ser também atrativo do ponto de vista da lucratividade.

Entretanto é correto dizer que o TBF na piscicultura atual somente aparenta ser lucrativo pois há outros aspectos relacionados a ele que podem contribuir para aumentar os custos de produção. Um deles é a obrigatoriedade de se manter uma fonte de energia por 24 horas durante o ciclo produtivo, sendo necessário que se tenha ao menos um gerador. Outro aspecto é que o controle de qualidade da água deve ser feito diariamente levando a um gasto maior com equipamentos e reagentes além de requerer mão de obra qualificada. Somando-se a estes fatores temos também uma necessidade de se implementar uma planta de produção mais automatizada possível. Isso ocorre pois deve-se existir uma resposta rápida aos eventuais desequilíbrios que podem se expressar no sistema, necessitando portanto de uma automação dos processos de controle de qualidade da água e possíveis suplementações da mesma.

Aliado a essas aparentes desvantagens do sistema há o fato do TBF ainda ter sido pouco estudado em sua aplicação a piscicultura. Muitos temas que envolvem essa modalidade de criação não foram devidamente esclarecidos. A quantidade de ração que pode ser economizada, a melhor localização e formato dos sistemas de aeração, a intensidade luminosa ideal para o cultivo e a importância específica dos diferentes microorganismos que compõem o sistema são exemplos de temas que ainda não estão claramente elucidados.

Portanto, conclui-se que a TBF necessita ser mais conhecido por estudos diversos para que seja possível dimensionar corretamente as potencialidades e limites que envolvem a técnica de cultivo, afim de que se possa estabelecer definitivamente como um importante sistema de cultivo dentro da aquicultura mundial.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALABASTER, J.S.; LLOYD, R. **Water Quality Criteria for Freshwater Fish**. 2<sup>a</sup> ed. London: Butterworths, 1982.
- ARANA, L.V. **Princípios Químicos de Qualidade da Água em Aquicultura: uma Revisão para Peixes e Camarões**. 2<sup>a</sup> ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2004.
- ARNDT, R.E.; WAGNER, E.J. The toxicity of hydrogen peroxide to rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* and cutthroat trout *Oncorhynchus clarki* fry and fingerlings. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 28, n. 2, p. 150-157, 1997.
- AUBURN, University. **Introduction to intensive cage culture of warmwater fish**, 1999. Disponível em: <[http://www.ag.auburn.edu/fish/documents/International\\_Pubs/Water%20Harvesting/English/Introduction%20to%20intensive.pdf](http://www.ag.auburn.edu/fish/documents/International_Pubs/Water%20Harvesting/English/Introduction%20to%20intensive.pdf)> Acesso em: 16 dez. 2014
- AVAVULT, J.W. **Fundamentals of aquaculture: A Step by Step Guide to Commercial Aquaculture**. Baton Rouge: AVA Publ., 1996.
- AVNIMELECH, Y. **Biofloc Technology - A Practical Guide Book**. Baton Rouge: The World Aquaculture Society, 2009, 181p.
- AVNIMELECH, Y. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. **Aquaculture**, v. 176, n. 3, p. 227-235, 1999.
- AVNIMELECH, Y. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds. **Aquaculture**, v. 264, n. 1, p. 140-147, 2007.
- AVNIMELECH, Y; KOCHBA, M. Evaluation of nitrogen uptake and excretion by tilapia in bio floc tanks, using <sup>15</sup>N tracing. **Aquaculture**, v. 287, n. 1, p. 163-168, 2009.
- AYER, N. *et al.* Sustainability of seafood production and consumption: an introduction to the special issue. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 3, p. 321-324, 2009.
- AZIM, M.E.; LITTLE, D.C. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v. 283, n. 1, p. 29-35, 2008.
- AZIM, M.E.; LITTLE, D.C.; BRON, J. E. Microbial protein production in activated suspension tanks manipulating C: N ratio in feed and the implications for fish culture. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 9, p. 3590-3599, 2008.
- BALDISSEROTO, B. **Fisiologia de Peixes Aplicada à Piscicultura**. Santa Maria: Editora UFSM, 2002.
- BEVERIDGE, M. C. M. *et al.* The ingestion of bacteria in suspension by the tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v. 81, n. 3, p. 373-378, 1989.

BEVERIDGE, M. **Cage aquaculture**. John Wiley & Sons, 2008.

BOYD, C. E. Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level. **Aquaculture**, v. 226, n. 1, p. 101-112, 2003.

BOYD, C. E. **Water Quality in Warmwater Fish Ponds**. Auburn: Auburn University, 1979.

BOYD, C.E.; TUCKER, C.S.; VIRIYATUM, R. Interpretation of pH, acidity, and alkalinity in aquaculture and fisheries. **North American Journal of Aquaculture**, v. 73, n. 4, p. 403-408, 2011.

DA SILVA, B.K.R.; DA COSTA, D.C.P.B. **Formação de Bioflocos: protótipo com criação de tilápias**. Curitiba: UFPR. 2013.

CARNEIRO, P. C. F.; URBINATI, E. C. Stress” e crescimento de peixes em piscicultura intensiva. **Simpósio Sobre Manejo e Nutrição de Peixes**, v. 3, p. 25-40, 1999.

CASH, G. Understanding recirculation theory. **Austasia Aquaculture**, v.8, p.92-112, 1994.

CHEN, S.; LING, J.; BLANCHETON, J. Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. **Aquacultural Engineering**, v. 34, n. 3, p. 179-197, 2006.

COLT, J. Water quality requirements for reuse systems. **Aquacultural Engineering**, v. 34, n. 3, p. 143-156, 2006.

CRAB, R. *et al.* Bio-flocs technology application in over-wintering of tilapia. **Aquacultural Engineering**, v. 40, n. 3, p. 105-112, 2009.

CRAB, R. *et al.* Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. **Aquaculture**, v. 270, n. 1, p. 1-14, 2007.

CRAB, R. *et al.* The application of bioflocs technology to protect brine shrimp (*Artemia franciscana*) from pathogenic *Vibrio harveyi*. **Journal of applied microbiology**, v. 109, n. 5, p. 1643-1649, 2010.

CREPALDI, D. V. *et al.* Sistemas de produção na piscicultura. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v. 30, n. 3-4, p. 86-99, 2006.

DA SILVA B.K.R; DA COSTA, D.C.P.B. **Formação de Bioflocos: protótipo com criação de tilápias**. Curitiba: UFPR. 2013

DIANA, J.S. Aquaculture production and biodiversity conservation. **Bioscience**, v. 59, n. 1, p. 27-38, 2009.

EBELING, J.M.; TIMMONS, M.B.; BISOGNI, J.J. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. **Aquaculture**, v. 257, n. 1, p. 346-358, 2006.

EKASARI, J. *et al.* The size of biofloc determines the nutritional composition and the nitrogen recovery by aquaculture animals. **Aquaculture**, v. 426, p. 105-111, 2014.

EMERENCIANO, M. *et al.* Floc contribution on spawning performance of blue shrimp *Litopenaeus stylirostris*. **Aquaculture Research**, v. 44, n. 1, p. 75-85, 2012.

EMERENCIANO, M.; GAXIOLA, G.; CUZON, G. Biofloc technology (BFT): a review for aquaculture application and animal food industry. **Biomass Now-Cultivation and Utilization**, p. 301-328, 2013.

ESTEVEZ, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. FishStat fishery statistical collections: aquaculture production (1950–2008). **Base de dados. 2010**. Disponível em: <<http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstat/en>> Acesso em: 16 dez. 2014.

FRENCH, K.; RANDALL, D.; BURGGREN, W. **Eckert: Fisiologia Animal: Mecanismos e Adaptações**. Rio de Janeiro: Guanabara Kogan, 2000.

FURTADO, P. S. *et al.* Application of different doses of calcium hydroxide in the farming shrimp *Litopenaeus vannamei* with the biofloc technology (BFT). **Aquaculture International**, v. 22, n. 3, p. 1009-1023, 2014

FURTADO, P. S.; POERSCH, L. H.; WASIELESKY JR, W. Effect of calcium hydroxide, carbonate and sodium bicarbonate on water quality and zootechnical performance of shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared in bio-flocs technology (BFT) systems. **Aquaculture**, v. 321, n. 1, p. 130-135, 2011.

GAONA, C. *et al.* The effect of solids removal on water quality, growth and survival of *Litopenaeus vannamei* in a biofloc technology culture system. **International Journal of Recirculating Aquaculture**, v. 12, p. 54-57, 2011

GARCIA, F. *et al.* Stocking density of Nile tilapia in cages placed in a hydroelectric reservoir. **Aquaculture**, v. 410, p. 51-56, 2013.

GREEN, B.W. Effect of channel catfish stocking rate on yield and water quality in an intensive, mixed suspended-growth production system. **North American journal of aquaculture**, v. 72, n. 2, p. 97-106, 2010.

GREEN, B.W.; SCHRADER, K.K.; PERSCHBACHER, P.W. Effect of stocking biomass on solids, phytoplankton communities, common off-flavors, and production parameters in a channel catfish biofloc technology production system. **Aquaculture Research**, 2012.

GUNNOE, B.J. The Fish Farming Evolution. **URJ-UCCS: Undergraduate Research Journal at UCCS**, v. 6, n. 1, p. 25-30, 2013.

HUET, M.; TIMMERMANS, J. A. **Tratado de piscicultura**. Mundi-Prensa, 1983.

JACKSON, J.B.C *et al.* Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. **Science**, v. 293, n. 5530, p. 629-637, 2001.

KLINGER, D.; NAYLOR, R. Searching for solutions in aquaculture: charting a sustainable course. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 37, p. 247-276, 2012.

KRUMMENAUER, D. *et al.* Superintensive culture of white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in a biofloc technology system in southern Brazil at different stocking densities. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 42, n. 5, p. 726-733, 2011.

KUBITZA, F. Criação de tilápias em sistema de bioflocos sem renovação de água. **Panorama da Aqüicultura**, v. 21, n. 125, 2011.

KUBITZA, F. Larvicultura de peixes nativos. **Panorama da Aqüicultura**, v. 13, n. 77, maio-junho, 2003a.

KUBITZA, F. **Qualidade da Água no Cultivo de Peixes e Camarões**. Jundiaí: F. Kubitza, 2003b.

LANDAU, M. **Introduction to aquaculture**. Canada: JhonWiley & Sons, 1992.

LIAO, I. C. Aquaculture in Asia: status, constraints, strategies, and prospects. **1990 APO Symposium in Aquaculture**. Taiwan Fisheries Research Institute, Keelung. 1992. p. 13-27

LIMA, J.P.V. *et al.* The use of hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) to increasing dissolved oxygen in *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) culture. **Pesq. Agropec.** Per 17:73-77. 2012.

LUO, G. *et al.* Growth, digestive activity, welfare, and partial cost-effectiveness of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in a recirculating aquaculture system and an indoor biofloc system. **Aquaculture**, v. 422, p. 1-7, 2014.

MADIGAN M.T.; MARTINKO, J.M. **Brock Biology of Microorganisms**. 11<sup>a</sup> ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2006.

MARTINS, R.B. *et al.* Imbalanced C/N-controlled, periphyton-based system has hampered tilapia growth in stagnant experimental tanks. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 36, n. 2, p. 229-235, 2014.

MELO, J. S. C. Água e construção de viveiros na piscicultura. **Lavras: UFLA**, 1998.

MINTZ, S. **Comida e antropologia: uma breve revisão**. Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ciências Sociais, 2006.

MONROY-DOSTA, M.C. *et al.* Composición y abundancia de comunidades microbianas asociadas al biofloc en un cultivo de tilapia. **Revista de biología marina y oceanografía**, v. 48, n. 3, p. 511-520, 2013.

NASH, C. **The history of aquaculture**. John Wiley & Sons, 2010.

NELSON, D.L.; COX, M.M. **Lehninger princípios de bioquímica**. Omega, 2009.

PAULY, D.; MACLEAN, J. **In a perfect ocean: the state of fisheries and ecosystems in the North Atlantic Ocean**. Island Press, 2003.

POLEO, G. *et al.* Cultivo de cachama blanca en altas densidades y en dos sistemas cerrados. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 46, n. 4, p. 429-437, 2011.

QUEIROZ, J. F. de *et al.* Lime application methods, water and bottom soil acidity in fresh water fish ponds. **Scientia Agricola**, v. 61, n. 5, p. 469-475, 2004.

RABANAL, H.R. **History of aquaculture**. 1988.

RAKOCY, J. **Tank culture of tilapia**. College Station, Texas: Southern Regional Aquaculture Center, 1995.

RAKOCY, J.E., J.A. HARGREAVES; D.S. BAILEY. Comparison of tilapia species for cage culture in the Virgin Islands. University of the Virgin Islands, **Agricultural Experiment Station**, UVI Research 5:13-17, 1993.

RAKOCY, J.E. *et al.* Development of a Biofloc System for the Production of Tilapia. **Aquaculture**, v. 277, p. 138-145, 2008.

RAMOS, I.P. *et al.* Impactos ambientais de pisciculturas em tanques-rede sobre águas continentais brasileiras: revisão e opinião. **CYRINO, JEP; FURUYA, WM; RIBEIRO, RP; SCORVO FILHO, JD Tópicos especiais em biologia aquática e aquicultura III. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática**, p. 87-98, 2008.

RAY, A.J. *et al.* Characterization of microbial communities in minimal-exchange, intensive aquaculture systems and the effects of suspended solids management. **Aquaculture**, v. 310, n. 1, p. 130-138, 2010.

RAY, A.J. *et al.* Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based feed in minimal-exchange, superintensive culture systems. **Aquaculture**, v. 299, n. 1, p. 89-98, 2010.

ROBERTS, C. **The unnatural history of the sea**. Island Press, 2007.

ROCHA, A.F. *et al.* Avaliação da formação de bioflocos na criação de juvenis de tainha Mugil cf. hospes sem renovação de água. **Atlântica (Rio Grande)**, v. 34, n. 1, p. 63-74, 2012.

ROTTA, M. A. **Boas práticas de manejo (BPMs) para a produção de peixes em tanques-redes**. Embrapa Pantanal, 2003.

SAWYER, C.N.; MCCARTY, P.L.; PARKIN, G.F. **Chemistry for environmental engineering and science**. New York: McGraw-Hill, 2003.

SEBRAE, Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas . Manual do piscicultor- Produção de tilápia em tanque-rede. **Agência de Apoio ao Empreendedor e Pequeno Empresário**. Brasília, 2008. Disponível em: <[http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/bds.nsf/A89FDECF37ED7E1B832579FF0047D76D/\\$File/NT0004762A.pdf](http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/bds.nsf/A89FDECF37ED7E1B832579FF0047D76D/$File/NT0004762A.pdf)> Acesso em: 16 dez 2014.

SIKORSKI, Z.E. **Seafood: resources, nutritional composition, and preservation**. CRC press, 1990.

SILVA, S.S.; ANDERSON, T.A. **Fish nutrition in aquaculture**. Springer, 1995.

SMITH, T. Greening the Blue Revolution: How History Can Inform a Sustainable Aquaculture Movement.. Electronic publishing at: Digital Access to Scholarship. **Harvard**, Cambridge, Abr. 2012. Disponível em: < <http://dash.harvard.edu/handle/1/11938741html>>. Acesso em: 16 de dez. 2014.

STICKNEY, R.R. *et al.* **Principles of aquaculture**. John Wiley and Sons, Inc., 1994.

TAVARES, L.H.S. Limnologia aplicada à aqüicultura. **Jaboticabal: Funep**, 1995.

TIDWELL, J. **Aquaculture production systems**. John Wiley & Sons, 2012.

TIMMONS, M.B. *et al.* **Recirculating Aquaculture Systems**. 2 ed. New York: Cayuga Aqua Ventures, 2002

VAN WYK, P. *et al.* **Farming marine shrimp in recirculating freshwater systems**. Florida: Department of Agriculture & Consumer Services, 1999.

VIEIRA, J.S. *et al.* Aspectos gerais da piscicultura. **Universidade Federal de Lavras. Minas Gerais**, 1991.

VINATEA, L. *et al.* Photosynthesis, water respiration and growth performance of (*Litopenaeus vannamei*) in a super-intensive raceway culture with zero water exchange: Interaction of water quality variables. **Aquacultural Engineering**, v. 42, n. 1, p. 17-24, 2010.

WAMBACH, X.F. **Influência de diferentes densidades de estocagem no desempenho produtivo de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*) (Linnaeus, 1758) cultivada com tecnologia de bioflocos**. 2013. 78f. Dissertação (Mestrado em Recursos Pesqueiros e Aquicultura) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Pesca e Aquicultura, Recife, 2013.

WASIELESKY JR, W. *et al.* Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). **Aquaculture**, v. 258, n. 1, p. 396-403, 2006.

WHITE, K.; O'NEILL, B.; TZANKOVA, Z. At a crossroads: will aquaculture fulfill the promise of the blue revolution. **Silver Spring Meriland SeaWeb**, Europa, 2004. Disponível em: < [http://www.seaweb.eu/resources/documents/reports\\_crossroads.pdf](http://www.seaweb.eu/resources/documents/reports_crossroads.pdf)> Acesso em: 16 dez. 2014.

ZHANG, S. *et al.* An integrated recirculating aquaculture system (RAS) for land-based fish farming: the effects on water quality and fish production. **Aquacultural Engineering**, v. 45, n. 3, p. 93-102, 2011.