



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE AQUICULTURA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA

Aeração em cultivos superintensivos de tilápias *Oreochromis niloticus*, em bioflocos e com troca mínima de água.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Aquicultura da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para obtenção do título de Doutor em Aquicultura

Orientador: Luis Alejandro Vinatea Arana

**Jesus Joselino Malpartida Pasco**

Florianópolis  
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Pasco, Jesus Joselino Malpartida

Aeração em cultivos superintensivos de tilápias  
*Oreochromis niloticus*, em bioflocos e com troca mínima de  
água. / Jesus Joselino Malpartida Pasco ; orientador, Luis  
Alejandro Vinatea Arana - Florianópolis, SC, 2015.

120 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-  
Graduação em Aquicultura.

Inclui referências

1. Aquicultura. 2. aeração mecânica. 3. bioflocos. 4.  
tilápia. 5. produtividade. I. Vinatea Arana, Luis  
Alejandro. II. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Programa de Pós-Graduação em Aquicultura. III. Título.

**Aeração em cultivos superintensivos de tilápias *Oreochromis niloticus*, em bioflocos e com troca mínima de água**

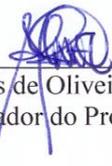
Por

JESUS JOSELINO MALPARTIDA PASCO

Esta tese foi julgada adequada para a obtenção do título de

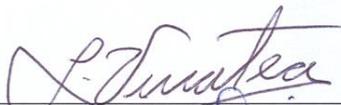
**DOCTOR EM AQUICULTURA**

e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Aqüicultura.

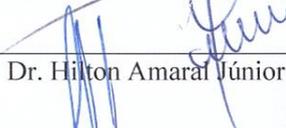


Prof. Alex Pires de Oliveira Nuñez, Dr.  
Coordenador do Programa

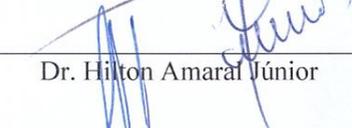
Banca Examinadora:



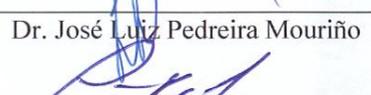
Dr. Luis Alejandro Vinatea Arana – *Orientador*



Dr. Hilton Amaral Júnior



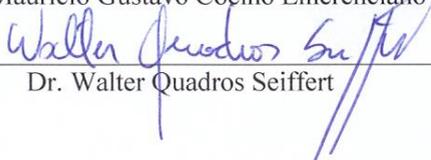
Dr. José Luiz Pedreira Mourão



Dr. Juan Ramon Esquivel Garcia



Dra. Maurício Gustavo Coelho Emerenciano



Dr. Walter Quadros Seiffert



À Marina,  
Minha filha, meu amor e  
minha força.



## AGRADECIMENTOS

A Deus...

A minha Mãe Laura Pasco Mieses por acreditar sempre em mim e por deixar ir um filho do seu lado trazer a conquista dos seus sonhos.

A minha esposa Adriana por dar-me a felicidade de uma filha maravilhosa e por tantas horas de ajuda, paciência, companheirismo e amor.

Ao Dr. Luis Vinatea, meu orientador e meu mentor, por todo o conhecimento compartilhado e pelas longas conversas sobre a vida profissional e pelos conselhos sobre a vida pessoal. Muito obrigado Doc do fundo do meu coração...

A minha prestigiosa banca de tese: Dr. Mauricio Emerenciano, Dr. José Luiz Pedreira Mouriño, Dr. Walter Seiffert, Dr. Juan Ramon Esquivel e Dr. Hilton Amaral Junior. Obrigado pelas críticas, sugestões e recomendações.

A toda minha família, em especial aos meus irmãos Javier e Gustavo que sempre levarei no meu coração e que sei que eles sempre estão comigo. Esta conquista é nossa.

Ao meu amigo Leocadio Mayring por todo seu apoio e ajuda no segundo experimento, obrigado Caio...

Ao Zé Carvalho e ao Carlos Manoel Espirito Santo, grandes colegas e amigos. Sem vocês esta tese não teria sido tão discutida e revisada.

Ao Rodrigo Schweitzer, Rafael Arantes, Dariano Krumennauer e Mano Wasielesky, pelo apoio e o conhecimento compartilhado.

Aos colegas peruanos Euler Dolores e Miguel Saldaña pelo apoio nos experimentos.

Aos bolsistas de graduação que colaboraram nos experimentos. Obrigado Rafael, Robert, Ewdmar, Ana Carolina, Vitor e Allison.

Ao bom amigo Carlito pela paciência e pelo apoio de sempre.

À Fundação Universidade Regional de Blumenau (FURB) por permitir utilizar as suas instalações e infraestrutura para redigir esta tese.

Ao Chico e Alfonso Schiochet, pela oportunidade de desenvolver a tecnologia de bioflocos em Piscicultura de água doce.

A toda a família Vinatea-Barberena por ter-me acolhido nestes mais de 10 anos que estou no Brasil, meu muito obrigado de coração Ceci, Luis Paulo, Lucía e Luis.

Ao meu Pai, Fortunato, porque sei que donde estejas sempre acreditaste em mim. Consegui pai!!!! ...Saudades eternas...

A Deus...



## RESUMO

Em sistemas que utilizam a tecnologia de bioflocos, os aeradores precisam fornecer oxigênio suficiente para a respiração dos organismos cultivados e da biota acompanhante. O sistema de aeração empregado deve ser capaz de manter o material particulado em suspensão evitando a formação de zonas mortas dentro dos tanques de cultivo. Devido a que os aeradores devem funcionar as 24 horas do dia, durante todo o ciclo de cultivo, o custo de energia elétrica é mais elevado do que quando são usados em sistemas convencionais. Consequentemente, escolhendo o modelo de aerador mais eficiente, conseguiu-se reduzir custos e incrementar os lucros. O objetivo desta pesquisa foi de determinar, dentre os modelos mais utilizados na piscicultura brasileira, aquele que seja o mais eficiente em termos de consumo de energia elétrica e que satisfaça os requerimentos do sistema de produção com bioflocos sem causar impactos no crescimento dos organismos cultivados nem na funcionalidade do floco formado. Inicialmente, as características físicas e mecânicas de quatro modelos de aeradores foram observadas. Os modelos utilizados foram o chafariz, o aerador de pás, o propulsor e o modelo soprador. A eficiência padrão dos aeradores (SAE) foi avaliada como fator comparativo. A metodologia de determinação de SAE foi inicialmente aplicada em água salgada sem sólidos em suspensão (clara) para obter o aerador mais eficiente. O modelo chafariz obteve o maior SAE ( $2,03 \text{ kg O}_2 \cdot \text{kWh}^{-1}$ ) e foi selecionado para testar seu SAE em baixas salinidades tanto em água clara como em bioflocos. Em baixa salinidade também foi testado o soprador considerando como controle. Ambos modelos de aeradores diminuíram o SAE em água com bioflocos em baixas salinidades ( $0,89 \text{ kg O}_2 \cdot \text{kWh}^{-1}$  para o chafariz e  $0,23 \text{ kg O}_2 \cdot \text{kWh}^{-1}$  para o soprador). Os resultados em baixas salinidades em ambos tipos de água confirmam a que as variações de salinidade influenciam no valor de SAE. Isto pode ser devido à dificuldade da transferência de oxigênio quando acontecem mudanças na densidade da água, na tensão superficial, no diâmetro da gotícula ou borbulha formada e na concentração de sólidos suspensos na coluna de água. Embora a salinidade influenciou negativamente no SAE, o modelo chafariz manteve a prevalência sobre o modelo soprador. Na última parte da pesquisa, foi realizado um cultivo de tilápia *Oreochromis niloticus* com altas densidades iniciais ( $7 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ) para testar a

influência do modelo chafariz nos bioflocos formados. Parâmetros de qualidade de água e de desempenho dos peixes cultivados foram medidos. A maioria dos índices de desempenho foram melhores ( $p < 0,05$ ) para o modelo chafariz do que para o modelo soprador. A temperatura média da água, tanto de manhã como à tarde, foi maior utilizando o modelo soprador. Isto pode ter relação com a forma de incorporar oxigênio na água, já que o modelo chafariz aumenta a superfície de contato entre a água e o ar, provocando uma maior troca térmica o que aumenta o esfriamento da água. Embora a temperatura da água foi menor ( $p < 0,05$ ) nos tanques contendo o modelo chafariz, o ganho de peso diário não apresentou diferenças significativas ( $p > 0,05$ ), e além disso a produtividade atingida pelo modelo chafariz ( $14,1 \text{ kg.m}^{-2}$ ) foi maior ( $p < 0,05$ ) do que a obtida pelo modelo soprador ( $13,5 \text{ kg.m}^{-2}$ ). Finalmente, conclui-se que o modelo chafariz cumpre com os requisitos para ser utilizado em cultivos superintensivos de tilápias em bioflocos.

**Palavras-chave:** Aquicultura, aeração mecânica, bioflocos, tilápia, produtividade.

## ABSTRACT

In Biofloc Technology, aeration systems need to provide enough dissolved oxygen for fish and microbiota. Aerators must be capable to keep solids in suspension to avoid sedimentation and formation of dead zones too. Due to the aeration devices work 24 hours per day and for several months, the cost of energy is higher using biofloc systems than when those are used in conventional ponds culture. Consequently, choosing the most efficient aeration system might reduce production cost and increase profits. The aim of this research was to determine the best model of aerator between the most popular semi-intensive Brazilian models that fits in Biofloc Technology requirements without impacts in fish's growth and in flocs development. Initially, the physical and mechanical characteristics of four aerator models have been observed. Such models were vertical pump sprayer, paddle wheel, propeller aspirator pump and blower. Standard Aerator Efficiency (SAE) has been determined as comparative factor. SAE methodology has been applied firstly in clean seawater to choose the best aerator model. Vertical pump sprayer obtained the best SAE ( $2,03 \text{ kg O}_2 \cdot \text{kWh}^{-1}$ ) values in the conditions tested. This model has been chosen for testing their SAE in both clean and bioflocs low salinity waters. At this part of this research, blower model was tested as control treatment too. Both of aerator models decrease their SAE in low salinity bioflocs water ( $0.89 \text{ kg O}_2 \cdot \text{kWh}^{-1}$  vertical pump sprayer's SAE and  $0.23 \text{ kg O}_2 \cdot \text{kWh}^{-1}$  blower's SAE). Results obtained in lower salinities, in both type of water, confirm that SAE reduction impact because of the salinity. This may occur due to the difficulty of oxygen transfer when water density, surface tension and bubble or drop diameter change. High total suspended solid concentrations should affect SAE too. Independent of the salinity or type of water, better SAE results remain for vertical pump sprayer than blower aerator. In the last part of this research, a high initial density ( $7 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ) tilapia *Oreochromis niloticus* culture was performed to test the potential impacts of using vertical pump sprayer in biofloc technology comparing with blower's results. Water quality and production index were measured. Major results observed, indicated that vertical pump sprayer aerator was better ( $p < 0.05$ ) than control aerator system (blower). Temperature was higher in the blower's tanks than in the vertical pump sprayer tanks. That may be in relation with the form of diffusing oxygen into the water, because the vertical pump sprayer rises the superficial contact between air and water, performing the thermal exchange. Although temperature in vertical pump sprayer was

lower than blower's, the daily weight gain wasn't different within treatments ( $p < 0.05$ ) besides the vertical pump sprayer productivities was higher ( $14.1 \text{ kg.m}^{-2}$ ) than blower's ( $13.5 \text{ kg.m}^{-2}$ ). Finally, joining all the parts of this research, it concludes that vertical pump sprayer fits the Biofloc technology requirements for an aeration system in a tilapia production.

**Key-words:** Aquaculture, aerators, biofloc, tilapia, productivity

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo 1

Figura 1. Quatro sistemas de piscicultura com diferentes graus de intensificação, localização e produtividades finais. A) cultivo semi-intensivo de tilápias em Treze Tílias – SC - Brasil, 1,5 kg.m<sup>-2</sup>. Foto: J. Malpartida. B) cultivos intensivos em tanques de terra no oeste de Paraná - Brasil, 5 kg.m<sup>-2</sup>. Foto: C. Tessarolo. C) cultivo superintensivo indoor - Aquacultura Nilótica-Santa Catarina- Brasil, 10 kg.m<sup>-2</sup> Foto: J. Malpartida. D) cultivos superintensivos outdoor na Universidade das Ilhas Virgens - USA, 15 kg.m<sup>-2</sup>. (Foto: J. Rakocy). As setas vermelhas indicam os modelos de aeradores funcionando e posicionados nos tanques de produção..... 29

### Capítulo 2

Figura 1. Quatro modelos de aeradores mecânicos avaliados. (A) modelo chafariz, (B) modelo aerador de pás, (C) modelo propulsor, e (D) modelo soprador com mangueira difusora Aero-Tube™ (sinalizada pela seta em vermelho)..... 40

Figura 2. Modelos de aeradores mecânicos de 1/3 HP de potência, testados para obtenção da eficiência padrão (SAE) em dois tipos diferentes de água. (A) modelo chafariz em água clara, (B) modelo soprador em água clara, (C) modelo chafariz em água com bioflocos e (D) modelo soprador em água com bioflocos. (As setas pretas indicam o motor do soprador e as setas vermelhas indicam o tipo de mangueiras difusoras utilizadas e que encontram-se submersas). Os testes foram desenvolvidos em água com 4 g.L<sup>-1</sup> de salinidade e em tanques de 10m<sup>3</sup> de volume útil..... 43

Figura 3. Curvas de recuperação de saturação de oxigênio para quatro modelos de aeradores mecânicos: (A) modelo chafariz (1,5 HP), (B) modelo aerador de pás (2 HP), (C) modelo propulsor (2 HP), e (D) modelo soprador (3 HP). As curvas desenham a tendência da recuperação da saturação de oxigênio desde o 0% até o 70% de saturação final. Os testes foram desenvolvidos em tanques de 50 m<sup>3</sup> com água clara, a 20°C e a nível do mar. Os dados das curvas se descrevem uma equação polinomial de segundo grau. São apresentadas as equações matemáticas descritas pela curva e o coeficiente de correlação (R<sup>2</sup>) para cada modelo de aerador..... 47

Figura 4. Curvas de recuperação de saturação de oxigênio para dois modelos de aeradores mecânicos em dois tipos de água. (A) modelo chafariz (1/3 HP) em água clara, (B) modelo chafariz (1/3 HP) com

água bioflocos, (C) modelo soprador (1/3 HP) em água clara, e (D) modelo soprador (1/3 HP) em água com bioflocos. As curvas desenham a tendência da recuperação de saturação desde o 0% até o 70% de saturação final. Os dados das curvas descrevem equações polinomiais de segundo grau. São apresentadas as equações matemáticas descritas pela curva e o coeficiente de correlação ( $R^2$ ) dos valores obtidos para cada modelo de aerador. .... 49

### Capítulo 3

Figura 1. Variação dos parâmetros de qualidade de água: Oxigênio dissolvido (A) manhã e (B) tarde; temperatura (C) manhã e (D) tarde; e saturação de oxigênio (E) manhã e (F) tarde, num cultivo superintensivo de tilápia nilótica *Oreochromis niloticus* em bioflocos utilizando aerador modelo chafariz e aerador modelo soprador. .... 80

Figura 2. Variação dos parâmetros de qualidade de água: (A) amônia; (B) nitrito, (C) nitrato, (D) alcalinidade num cultivo superintensivo de tilápia *Oreochromis niloticus* em bioflocos utilizando aerador modelo chafariz e aerador modelo soprador. .... 83

Figura 3. Variação dos parâmetros de qualidade de água: (A) sólidos sedimentáveis; (B) sólidos suspensos totais; (C) sólidos suspensos voláteis; e (D) índice volumétrico de sólidos (IVL) num cultivo superintensivo de tilápia *Oreochromis niloticus* em bioflocos utilizando aerador modelo chafariz e aerador modelo soprador. .... 84

## LISTA DE QUADROS

### Capítulo 2

Quadro 1. Equações necessárias para encontrar a eficiência padrão de aeradores (SAE). Consideram-se o tempo de recuperação de saturação de oxigênio após diminuição de oxigênio dissolvido a zero utilizando o metabissulfito de sódio (10 mg por mg O<sub>2</sub> por litro de água no tanque-teste) e o cloreto de cobalto (0,1 mg por litro de água no tanque-teste) como catalizador de reação química. .... 42

Quadro 2. Observação de características de quatro modelos de aeradores mecânicos: (A) modelo chafariz, (B) modelo aerador de pás, (C) modelo propulsor e, (D) modelo soprador. As características consideraram detalhes de fabricação e funcionamento junto com o princípio de incorporação de oxigênio dissolvido no qual cada modelo utiliza. .... 46

### Capítulo 3

Quadro 1. Equações utilizadas para cálculo da Produtividade Primária Bruta (PPB), da Produtividade Líquida do Ecossistema (PLE) e da Respiração (R) da água após a medição do oxigênio dissolvido (OD) segundo método das garrafas clara e escura num cultivo superintensivo de tilápias em bioflocos. .... 77

Quadro 2. Equações utilizadas para calcular os índices de produção de tilápia cultivada em bioflocos utilizando dois sistemas de aeração. . 78



## LISTA DE TABELAS

### Capítulo 2

Tabela 1. Eficiência padrão (SAE) de quatro modelos de aeradores mecânicos testados em tanques de 50m <sup>3</sup> em água clara com 32g.L <sup>-1</sup> de salinidade, 20°C de temperatura e a nível do mar. ....	48
Tabela 2. Eficiência padrão (SAE) de dois modelos de aeradores de 1/3 HP (0,245 kW) de potência testados em tanques de 10 m <sup>3</sup> em dois tipos diferentes de água com 4 g.L <sup>-1</sup> de salinidade a 20°C. ....	50
Tabela 3. Simulação do custo de energia elétrica em tanques de um cultivo hipotético de tilápia produzido em bioflocos utilizando dois modelos diferentes de aeradores mecânicos durante 8 meses em densidades de 20 peixes por m <sup>2</sup> baseado no valor de SAE de ambos modelos. ....	50

### Capítulo 3

Tabela 1. Oxigênio dissolvido (OD), saturação de oxigênio (SO) e temperatura (T) tanto no período de manhã e tarde, em tanques de cultivo de tilápia <i>Oreochromis niloticus</i> produzido em bioflocos utilizando dois modelos diferentes de aeradores mecânicos durante 56 dias em densidades de 70 peixes por m <sup>3</sup> . ....	79
Tabela 2. Parâmetros físicos e químicos da qualidade de água em tanques de cultivo de tilápia <i>Oreochromis niloticus</i> produzido em bioflocos utilizando dois modelos diferentes de aeradores mecânicos durante 56 dias em densidades de 70 peixes por m <sup>3</sup> . ....	81
Tabela 3. Taxas de respiração e produtividade bruta e líquida em tanques de cultivo superintensivo de tilápia <i>Oreochromis niloticus</i> em flocos microbianos com dois modelos diferentes de aeradores. ....	85
Tabela 4. Índices de desempenho de tilápia <i>Oreochromis niloticus</i> produzidos em bioflocos utilizando dois modelos diferentes de aeradores mecânicos durante 56 dias em densidades de 70 peixes por m <sup>3</sup> . ....	85



## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 .....	23
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	23
1.1 Cultivos em bioflocos .....	25
1.2 Potencial para a aplicação do cultivo de tilápia em bioflocos .....	27
1.3 Aeração em aquicultura .....	28
1.4 Necessidade de manejo da aeração em cultivos com bioflocos .....	31
2. JUSTIFICATIVA .....	33
3. OBJETIVOS .....	34
3.1 Objetivo geral .....	34
3.2 Objetivos Específicos: .....	34
4. FORMATAÇÃO DOS ARTIGOS .....	34
CAPITULO 2 .....	35
Avaliação de diferentes métodos de aeração para cultivos em sistemas em bioflocos .....	35
Resumo .....	36
1.Introdução.....	37
2.Materiais e métodos .....	39
2.1 Análise de características mecânicas, operacionais e de instalação .....	40
2.2 Determinação da eficiência padrão de aeradores em água salgada. ....	40
2.3 Determinação da eficiência padrão do aerador selecionado em condições de cultivo .....	42
2.4 Comparação do custo de energia elétrica numa produção aquícola em sistema superintensivo em bioflocos utilizando os dois modelos de aeração testados.....	44
2.5 Análises estatísticas .....	44
2.5.1 Escolha do aerador com maior SAE entre os quatro modelos testados.....	44
2.5.2 Comparação entre o SAE de dois modelos de aeradores em dois ambientes de cultivo .....	45
3. Resultados .....	45
3.1 Análise dos fatores de design, funcionamento e posicionamento dos aeradores testados. ....	45
3.2 Comparação do SAE dos modelos testados .....	47
3.3 Determinação da eficiência padrão do aerador selecionado em duas condições diferentes de cultivo .....	48
3.4 Simulação do custo de energia elétrica numa produção aquícola em sistemas superintensivos em bioflocos utilizando os dois sistemas de aeração testados. ....	50

4. Discussão .....	51
4.1 Particularidades dos quatro aeradores mecânicos testados .....	51
4.2 Análise da eficiência padrão dos quatro modelos de aeradores testados .....	53
4.3 Avaliação da eficiência padrão do aerador selecionado em duas condições diferentes de cultivo. ....	58
5. Conclusões .....	59
Agradecimentos .....	59
Referencias bibliográficas .....	60
CAPITULO 3.....	67
Sistemas de aeração na produção de tilápia nilótica <i>Oreochromis niloticus</i> cultivadas em sistema de bioflocos. ....	67
Resumo .....	68
1. Introdução .....	69
2. Materiais e Métodos .....	72
2.1 Obtenção de material biológico .....	72
2.2 Unidades experimentais e delineamento experimental .....	73
2.2.1 Unidade experimental .....	73
2.2.2. Delineamento experimental .....	73
2.2.3. Preparação da água de povoamento .....	73
2.2.4. Povoamento das unidades experimentais: .....	74
2.3. Parâmetros físicos e químicos de qualidade da água .....	74
2.4. Manejo do experimento.....	75
2.4.1. Biometria e Alimentação.....	75
2.4.2. Correção de Amônia e Alcalinidade .....	75
2.4.3. Manejo dos sólidos em excesso .....	76
2.4.4. Gasto de água do cultivo .....	76
2.5. Atividade microbiana .....	76
2.6. Índices de produção .....	77
2.7. Análises estatísticas.....	77
3. Resultados .....	79
3.1. Oxigênio dissolvido, saturação de oxigênio e temperatura .....	79
3.2. pH, Alcalinidade, Compostos nitrogenados e teor de sólidos. ....	81
3.3. Atividade Microbiana .....	85
3.4. Índices de Produção .....	85
3.5. Consumo de água .....	86
4. Discussão .....	86
4.1. Aeração e qualidade de água .....	86
4.2. Aeração e atividade microbiana .....	93
4.3. Aeração e produtividade .....	94
4.4. Aeradores e Consumo de água .....	97

5.Conclusões: .....	98
Agradecimentos.....	98
Referências Bibliográficas .....	98
5.CONCLUSÕES GERAIS .....	110
6.CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	111
7.REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS DA INTRODUÇÃO .....	112



## CAPÍTULO 1

### 1. INTRODUÇÃO GERAL

Segundo recomendação da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2003), o consumo de pelo menos 12 kg de pescado per capita por ano, melhora a expectativa de vida e a saúde das pessoas. Devido a isto, nos últimos anos, incrementou-se o interesse pelos produtos aquícolas, aumentando a demanda tanto pela quantidade como pela qualidade do pescado consumido. A atual tendência do mercado exige um constante fornecimento de produto. Devido a que a pesca extrativa é afetada por vários fatores (clima, estoques, época do ano, etc), a aquicultura se projeta em converter-se na principal atividade fornecedora do pescado mundial (FAO, 2014, MUIR; YOUNG, 1998). Este panorama motivou investimentos em pesquisas e tecnologias que sejam mais eficientes para atender as exigências do mercado aquícola mundial (NAYLOR et al., 2000). Para produzir pescado de maneira controlada via aquicultura, foram desenvolvidos vários sistemas de cultivo que podem ser classificados segundo o grau de intensificação. O extensivo, que utiliza baixas densidades e dispensa o uso de ração comercial; o semi-intensivo que já utiliza ração comercial e aeradores mecânicos que evitam quedas de oxigênio dissolvido na água de cultivo (AVNIMELECH; RITVO, 2003; CHANG; OUYANG, 1988; DAMBO; RANA, 1992); o intensivo, com maior uso de equipamentos, rações aprimoradas, organismos melhorados geneticamente (EL SAYED, 2002); e o superintensivo, que além das outras características mencionadas, utiliza o manejo da ecologia bacteriana para suportar densidades de cultivos mais elevadas e obter maiores produtividade nas unidades de cultivo (AVNIMELECH, 1999; AVNIMELECH, 2015; EKASARI et al., 2015, EBELING; TIMMONS, 2010).

Nas estatísticas mundiais (FAO, 2014), a produção da aquicultura ultrapassa os 65 milhões de toneladas de pescado, deste total, a aquicultura continental contribui com o 66%, sendo que os países asiáticos respondem por 80% desta porcentagem. No ano de 2014, a FAO registrou que as espécies mais produzidas foram carpas e tilápias, porém a tilápia foi o peixe que apresenta maior número de consumidores nos últimos anos, devido à ausência de espinhos intramusculares, pouco teor de gordura, a coloração da carne e sabor agradável (HANSON et al., 2011). Unido ao potencial de mercado, esta espécie possui elevada rusticidade o que lhe permite adaptar-se à intensificação sem impactos

negativos nos índices de produção (FITZSIMMONS, 2000; WATANABE et al., 2002). O cultivo de tilápia (LOVSHIN, 2000; WINCKLER-SOSINSKI et al., 2000) mantém-se como a principal atividade aquícola no Brasil (MPA, 2013).

Do ponto de vista ambiental, a aquicultura em tanques de grandes dimensões aumenta a dificuldade do controle da produção aumentando assim a probabilidade de fuga dos peixes cultivados. Ainda mais, por tratar-se de uma espécie exótica, de reprodução precoce e hábitos alimentares onívoros, pode-se considerar como uma ameaça potencial para o equilíbrio dos corpos de água adjacentes aos empreendimentos de produção (CANONICO et al., 2005). Os efluentes do cultivo podem disseminar doenças que afetem aos organismos nativos, devido às elevadas cargas orgânicas presentes nas águas descartadas, devido a que a maiores densidades se necessitam altas quantidades diárias de de arraçamento (LIGHTNER; REDMAN, 1998). Um cultivo de menor extensão, porém, de elevada produtividade, torna mais fácil o controle destes problemas (PIEDRAHITA, 2003).

Outro problema comum é a escassez de água. Em aquicultura, quando se atravessam períodos de falta de água, a piscicultura continental resulta ser a mais atingida. Este problema afeta, sem exceção, qualquer seja o grau de intensificação utilizado. Com as restrições do uso da água, a quantidade de água destinada a piscicultura, compete com os volumes que podem ser usados pelos seres humanos para suprir suas necessidades básicas e garantir sua qualidade de vida (SPERLING, 2005). A tendência mundial aponta, que nos próximos anos os cultivos em aquicultura busquem reduzir a utilização de água. Cumprindo este requisito, as tecnologias do cultivo em bioflocos (AVNIMELECH, 1999) e o cultivo em recirculação com o uso de filtros mecânicos e biológicos (TIMMONS; EBELING, 2010) são os mais promissores. Considerando todos estes arranjos para contar com uma aquicultura mais sustentável, não se pode deixar de lado o aspecto econômico, crucial à continuidade do setor (BOSMA; VERDEJEM, 2011). Produzindo com mínima troca de água, economiza-se energia gasta para o bombeamento de água para renovação. Porém, o custo da energia para o funcionamento da aeração mecânica aumenta, o que faz com que seja imprescindível que as novas tecnologias de aeração sejam altamente eficientes, evitando desta maneira o prejuízo econômico (EDWARDS, 2015). Desta maneira, os altos custos de produção e de investimento destes dois sistemas mencionados, seguem sendo os seus principais limitantes (SCHRYVER et al., 2008).

## 1.1 Cultivos em bioflocos

A busca pelo aumento da produtividade aliado às necessidades de diminuição de impacto ambiental e de economia no consumo de água, determinaram o aparecimento de novas tecnologias na aquicultura. A intensificação da produção e a diminuição da renovação de água geram maiores consumos de oxigênio, assim como acúmulos de restos de ração e dos sólidos presentes na água. Este material particulado acumulado, unido a fontes de carbono externo, servem de substrato que promove a desenvolvimento de microrganismos tais como microalgas, zooplâncton, protozoários e bactérias formando um agregado microbiano denominado “biofoco” (AVNIMELECH, 1999; CHAMBERLAIN, 2001). No entanto a diminuição das taxas de renovação origina o acúmulo de substâncias tóxicas para os animais cultivados, mas com um correto manejo microbiano, consegue-se degradar os metabolitos de excreção dentro do tanque de produção (ESCHCHAR et al., 2006; McNEIL, 2000).

A acumulação de material orgânico que acontece na aquicultura, acontece também nos efluentes domésticos e industriais. As engenharias, sanitária e ambiental, tratam estes efluentes empregando lodos ativados (SPERLING, 1997). Estes lodos estão compostos de bactérias, que são mantidas em tanques reatores que recebem constantemente um aporte de material orgânico (efluentes) para promover o seu crescimento. Desta maneira o metabolismo bacteriano decompõe o efluente tratado diminuindo sua demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e causando menor impacto ao corpo de água receptor (SPERLING, 1997).

Este princípio de utilizar o metabolismo bacteriano no tanque de cultivo foi adaptado para a aquicultura permitindo assim, produzir em grandes densidades e com mínima troca de água, agregando que esta tecnologia de bioflocos baseia-se no manejo das relações de carbono e nitrogênio (C:N) (AVNIMELECH, 1999; AVNIMELECH, 2015; CRAB, 2012). A excreção e a decomposição da ração oferecida aos animais cultivados produzem amônia, metabolito que é tóxico para os peixes (TIMMONS; EBELING, 2010; VINATEA, 2004). Para induzir o sequestro da amônia por bactérias heterotróficas, aplica-se fontes de carbono orgânico na forma de carboidratos (exemplos: melão, dextrose ou açúcares) na água do cultivo para promover o crescimento bacteriano. Promovendo o metabolismo bacteriano, se aproveita a amônia como fonte de nitrogênio necessário para a formação de proteína bacteriana (EBELING; TIMMONS; BISOGNI, 2006; SAMOCHA et al., 2007).

As equações químicas propostas inicialmente determinaram que para cada grama de amônia total produzida no tanque de cultivo era necessário adicionar vinte gramas de carboidrato (açúcares redutores) à água para se manter a relação de C:N igual a 20 e com isso garantir elevadas populações de bactérias heterotróficas. A adição de açúcares redutores na água dos tanques de cultivo aumentava a demanda de oxigênio dissolvido para as reações químicas das bactérias heterotróficas (SCHVEITZER et al., 2013). Com o decorrer da pesquisa científica, Avnimelech (2006) e Ebeling, Timmons e Bisogni (2006), obtiveram resultados que demonstraram que as bactérias quimioautotróficas nitrificantes, também presentes no biofoco, produziam reações de nitrificação contínua, e que transformavam mais eficientemente os compostos nitrogenados de excreção menos tóxicos para os organismos cultivados (nitrato e nitrogênio gasoso). Por ter como estratégia a transformação da amônia como fonte nutricional do seu metabolismo, este tipo de bactérias não precisam de elevadas proporções C:N, por tanto o ingresso de carboidratos pode ser diminuído, com a conseguinte diminuição da demanda de oxigênio. Assim, a recomendação da proporção de C:N diminuiu para 10-15:1 (AVNIMELECH, 2012). Devido a que as bactérias quimioautotróficas nitrificantes precisam em torno de 30 dias para seu estabelecimento no tanque de cultivo (TIMMONS; EBELING, 2010), a presença de bactérias heterotróficas é necessária sobretudo nos primeiros dias de cultivo para garantir o sequestro e a diminuição da amônia produzida.

O conhecimento do manejo bacteriano permitiu também incrementar consideravelmente as produtividades obtidas nos cultivos convencionais de carcinicultura e piscicultura de água doce. A evolução do cultivo em biofocos permitiu incrementar produtividades conforme se consolidavam as pesquisas e avanços tecnológicos neste sistema. No caso do cultivo de camarão, inicialmente eram obtidos valores de 1,0 a 1,6 kg.m<sup>2</sup> de camarão *Litopenaeus vannamei* (BOYD; CLAY, 2002; BROWDY et al., 2001; BURFORD et al., 2004; BURFORD et al., 2003b; McABEE et al., 2003; McINTOSH, 2000) que se incrementaram a 3,5 a 6 kg.m<sup>2</sup> (KRUMMENAUER et al., 2011; RAY et al., 2010; SAMOCHA et al., 2007; SCHVEITZER et al., 2013; TAW, 2010; WASIELESKY et al., 2006).

Em piscicultura, Azim e Little (2008) trabalhando com juvenis de tilápia (100 gramas) conseguiram produtividades de 12 kg.m<sup>-3</sup>, e sobrevivências de 100% numa média de temperatura de 28°C. Crab et al. (2009), conseguiram produzir tilápias atravessando o inverno, e atingiram produtividades de 20kg.m<sup>-3</sup>, porém, com conversões

alimentares maiores de 2. Assim também, Avnimelech (2007) e Hargreaves (2013) relatam que utilizando a tecnologia de bioflocos em piscicultura atingiram produtividades médias de  $20 \text{ kg.m}^{-3}$ . Mas com o aumento das pesquisas nesta tecnologia, o sistema superintensivo de tilápia em bioflocos pode atingir produtividades de  $30 \text{ kg.m}^{-2}$  (AVNIMELECH, 2012).

Os principais fatores limitantes nos sistemas de produção com mínima renovação de água se encontram na aeração mecânica e no manejo dos sólidos suspensos totais (VAN WYK, 2006). Devido às maiores cargas orgânicas utilizadas nestes cultivos, as mais baixas concentrações de oxigênio dissolvido conseguem atingir patamares críticos quando os cultivos suportam elevadas cargas orgânicas, principalmente ao final dos cultivos. Em alguns casos não é escolhido o sistema mais adequado de aeração e se faz necessário, como medida emergencial, a difusão de oxigênio puro na água (COHEN et al., 2005, MATHUR; RAFIUDDIN, 2005), embora isto incremente o custo de produção.

## **1.2 Potencial para a aplicação do cultivo de tilápia em bioflocos**

O cultivo de tilápias em bioflocos pode ter múltiplas aplicações, além da engorda direta para venda final. No sul do Brasil, o cultivo de tilapia para fins de engorda final inicia-se desde 0,4 g até o tamanho comercial de 600 a 800 g (KUBITZA, 2011a).

A produção de reprodutores, também é uma alternativa. A cadeia produtiva da tilápia inicia-se com a obtenção das matrizes que fazem parte do plantel de reprodutores tanto na unidade produtora de alevinos como na unidade de melhoramento genético (BOMBARDELLI et al., 2009; EL SAYED; MANSOUR; EZZAT, 2005; FULBER et al., 2009; MATAVELI et al., 2010; MOURA et al., 2011; TSADIK; BART, 2007). Utilizando o sistema de bioflocos, alevinos selecionados para estes fins podem ser cultivados em pequenos volumes em elevadas densidades. Estes ingressam ao setor de reprodução em tamanhos que variam entre 50 a 300 gramas. Comparando com o cultivo semi-intensivo, para se obter peixes destes tamanhos é necessário  $1 \text{ m}^2$  para 2 a 3 peixes como máximo. Sendo que  $1 \text{ m}^2$ , cultivado em sistema de bioflocos, poderia suportar 10 a 20 peixes fazendo-o 10 vezes mais aproveitável. Rakocy (2002) demonstra que quando os parâmetros de qualidade de água são mantidos dentro dos níveis aceitáveis, o crescimento de tilápia não é afetado pela densidade.

A produção de alevinos de tilápia cultivados em sistema de bioflocos também aparece como uma alternativa econômica e

ambientalmente amigável. O alevino I de tilápia no mercado da piscicultura brasileira é comercializado na faixa de 0,4 a 0,6 gramas de peso médio individual (EMATER, 2004; KUBITZA, 2011b). Considerando este dado, pode-se inferir que para atingir a produtividade de 10 kg.m<sup>-2</sup> se precisaria cultivar 20.000 alevinos.m<sup>-2</sup> desde a fase de larva até o alevino I final. Normalmente, para áreas de alevinagem, utilizam-se constantes trocas de água e densidades de 1000 alevinos.m<sup>-2</sup>. Deve-se considerar também que os tanques de alevinagem possuem uma média de profundidade de 0,80 metros, o que faz com que tanques de 100 m<sup>2</sup> descartem volumes de 80 m<sup>3</sup> (80.000 litros) de água a cada 30 dias. No sul do Brasil, devido às condições climáticas, o período de produção de alevinos dura em torno a 7 a 8 meses por ano, o que significa em torno de 600.000 litros de água descartados para produzir os alevinos da forma convencional. Isto quer dizer que utilizando bioflocos com reuso de água, poderiam ser economizados em torno de 500.000 litros de água por safra para produzir menos de 1 milhão de alevinos.

Outra aplicação do sistema de bioflocos é o de servir como preberçários de viveiros de cultivos semi-intensivos (KUBITZA, 2011b) ou de tanques-rede (ONO; KUBITZA, 2003). Desta maneira, encurtam-se períodos de tempo e libera-se espaço que poderia ser utilizado para outro fim, além de poder produzir durante o inverno (CRAB et al., 2009) já que produzindo em pequenas áreas é mais viável economicamente utilizar estufas agrícolas, que promovem a retenção de calor tanto por refração dos raios solares como quando usado aquecimento automático (BURIOL, 2001; QUISPE; BERGER, 2004).

### **1.3 Aeração em aquicultura**

Para aumentar a produtividade de um investimento deve-se garantir que os parâmetros de qualidade de água estejam dentro dos valores exigidos pela espécie escolhida. Segundo Boyd (1998) e Vinatea (2004) a concentração de oxigênio dissolvido na água dos tanques de produção é o principal limitante para o bom desempenho zootécnico dos organismos cultivados. Todavia, existem diferentes formas de controlar a concentração de oxigênio dissolvido, desde a renovação e troca de água, até aparelhos que incorporam mecanicamente o oxigênio atmosférico na água dos tanques de cultivo (KEPENYES; VARADI, 1984). Assim, para aumentar a intensificação, foi recomendado pela FAO a necessidade destes equipamentos chamados “aeradores”.

Na Figura 1 mostram-se quatro sistemas de produção de tilápia que utilizam aeradores mas que se diferenciam pelo grau de

intensificação. Os cultivos semi-intensivos (Fig.1A) não precisam manter ligados os aeradores as 24 horas do dia como acontece em cultivos superintensivos em bioflocos (Fig.1 C e D). Pode-se observar que as elevadas potências de aeração empregadas em tanques de cultivos intensivos (Fig. 1 B), onde não se utilizam revestimento, aumentam significativamente a turbidez, ressuspensando argila na coluna de água que podem danificar as lamelas branquiais dos peixes cultivados impedindo a troca gasosa e a captação de oxigênio dissolvido na água (VINATEA, 2004)

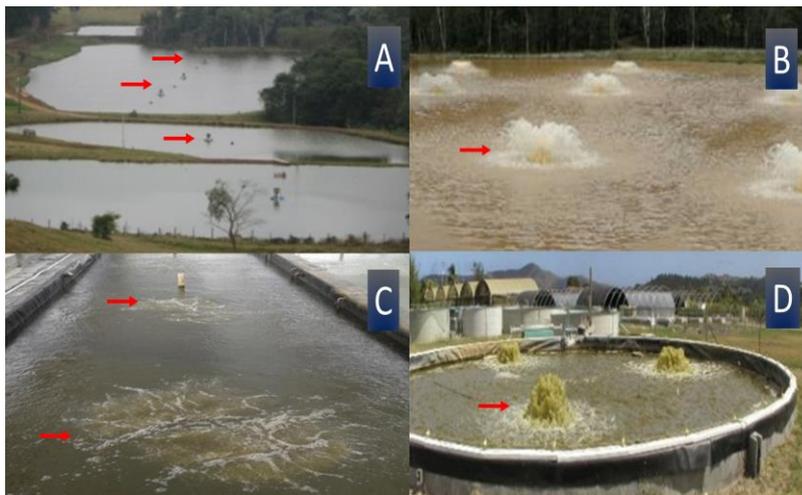


Figura 1. Quatro sistemas de piscicultura com diferentes graus de intensificação, localização e produtividades finais. A) cultivo semi-intensivo de tilapias em Treze Tilias – SC - Brasil,  $1,5 \text{ kg.m}^{-2}$ . Foto: J. Malpartida. B) cultivos intensivos em tanques de terra no oeste de Paraná - Brasil,  $5 \text{ kg.m}^{-2}$ . Foto: C. Tessarolo. C) cultivo superintensivo indoor - Aquacultura Nilótica-Santa Catarina- Brasil,  $10 \text{ kg.m}^{-2}$  Foto: J. Malpartida. D) cultivos superintensivos outdoor na Universidade das Ilhas Virgens - USA,  $15 \text{ kg.m}^{-2}$ . (Foto: J. Rakocy). As setas vermelhas indicam os modelos de aeradores colocados nos tanques de produção.

Existem aeradores de diferentes formas, tamanhos e potências que dependem de cada fabricante, das condições dos tanques de cultivo e dos princípios de oxigenação que utilizam. Pode-se mencionar que aeradores de maiores tamanhos, servem para grandes áreas de cultivo (BOYD, 1989). Já para tanques com maiores profundidades, o modelo escolhido deve ser capaz de alcançar o fundo do tanque para uma maior homogeneização do corpo de água. Para tanques mais rasos os aeradores

que geram maior correnteza horizontal são os mais recomendáveis (BOYD; WATTEN, 1989).

Os princípios físicos de incorporação de oxigênio dos aeradores podem-se classificar em dois grupos: a) incorporação via ar na água: onde o oxigênio é difundido na água ao colocar o ar atmosférico em forma de micro borbulhas a grande pressão; e b) incorporação de água no ar, que são aqueles que impulsionam água para contato com o ar atmosférico, para captar as moléculas de oxigênio na superfície das gotículas geradas (BOYD, 1998; ROGERS, 2009; VINATEA, 2004). Como exemplos de ar na água estão os compressores de turbina ou sopradores que injetam ar forçado e os modelos propulsores que utilizam o princípio de Venturi de diferença de pressões para incorporar o ar na água (ROGERS, 2009). No caso do grupo que incorpora oxigênio via água no ar, temos os aeradores de fluxo horizontal, como os aeradores de pás, e os de fluxo vertical como os modelos chafariz (TUCKER, 2005).

Os aeradores funcionam, na sua grande maioria, com energia elétrica. Todos os modelos de aeradores mecânicos estão disponíveis no mercado aquícola mundial e existem alguns parâmetros técnicos para sua escolha. Em termos de comparação na incorporação de oxigênio entre diferentes modelos de aeradores, os conceitos mais utilizados são a taxa padrão de transferência de oxigênio ou SOTR (das siglas em inglês Standard Oxygen Transfer Rate), e a eficiência padrão do aerador ou SAE (das siglas em inglês Standard Aerator Efficiency) (BOYD, 1989)

O SOTR mede a quantidade de quilogramas de oxigênio incorporada na água por hora de funcionamento do modelo de aerador utilizado ( $\text{kg O}_2\cdot\text{h}^{-1}$ ). O SAE é o principal indicador de eficiência dos aeradores já que relaciona o SOTR com a potência do motor empregado, o que possibilita o conhecimento do consumo de energia elétrica gerado pelo modelo de aerador escolhido (BOYD, 1989; BOYD; AHMAD, 1987; BOYD; WATTEN, 1989; VINATEA, 2004) independente da potência empregada.

Além da comparação entre os índices de desempenho, pode-se citar que para escolher um sistema de aeração para ser instalado num empreendimento aquícola, são necessários alguns outros requisitos. Deve ser considerado o efeito que causa o funcionamento do aerador na circulação da água do tanque, necessária para promover a mistura de águas impedindo a separação da coluna de água em diversas camadas com diferentes características nos parâmetros físicos e químicos (e.g temperatura, oxigênio salinidade, viscosidade, acúmulo de sólidos) (FAST; BOYD, 1992).

O conhecimento das necessidades de oxigênio das espécies cultivadas e da biota acompanhante própria de cada sistema de produção também devem ser considerados na hora da escolha do modelo de aeração, como determinado para cultivos semi-intensivos de camarões peneidos (BETT; VINATEA 2009), tilápias (VALBUENA-VILLARREAL; CRUZ-CASALLAS, 2006) e bagres (BERTHELSON; CATCHART; POTE, 1996).

A influência das diferentes condições físicas e químicas da água também foram estudadas. No caso da salinidade foi comprovada a sua relação entre diferentes modelos de aerador e as mudanças de SOTR em distintos níveis de salinidade (VINATEA; CARVALHO, 2007). A concentração de matéria orgânica do solo e os valores de respiração da coluna foram avaliados para dimensionar a necessidade de aeradores (DALLA-SANTA; VINATEA, 2007) e incluso a mudança diária da concentração de oxigênio dissolvido produto da biota presente na água dos tanques (MADENJIAN; ROGERS; FAST, 1987).

Vários trabalhos científicos foram desenvolvidos para orientar na escolha de aeradores mecânicos, já que baseados nos valores de SOTR e do SAE foram feitas tabelas comparativas entre diferentes modelos e potências (BOYD, 1989; BOYD; WATTEN, 1989). Alterando o design e as dimensões das peças específicas para cada modelo, se conseguem modificações que melhoram o rendimento dos aparelhos. Estes trabalhos foram desenvolvidos em laboratórios ou utilizando programas computacionais como simuladores do desempenho de aeradores de pás (PETERSON; WALKER, 2002), aeradores modelo chafariz (CANCINO, 2004) e modelo propulsor (BOYD; MARTINSON, 1984; KUMAR; MOULICK; MAL, 2010). Por outro lado também foi estudada a influência do número e a forma de distribuição destes aeradores dentro dos viveiros de cultivo em relação à circulação e homogeneização da coluna de água (HOPKINS, 1992; NETTO; VINATEA, 2005; PETERSON; WADHWA; HARRIS, 2001;).

#### **1.4. Necessidade de manejo da aeração em cultivos com bioflocos**

Diversas pesquisas em viveiros de cultivo convencionais tem sido desenvolvidas com aeradores mecânicos, porém como a tecnologia de bioflocos é recente, não existem suficientes estudos que indiquem qual modelo de aerador é o mais eficiente para suprir os requerimentos básicos deste tipo de sistemas que são: fornecimento de oxigênio dissolvido, ressuspensão do material particulado e homogeneização da coluna de água.

As pesquisas existentes em cultivos superintensivos com bioflocos que abrangem a temática do oxigênio dissolvido, visam conhecer estratégias para manejar a concentração de OD na coluna d'água. Vinatea et al. (2010) e Wasielesky et al. (2006) comprovaram a dinâmica de oxigênio num cultivo em bioflocos relacionando-o com a produtividade primária (fitoplâncton). Vinatea et al. (2009) observaram a diferença de consumo de oxigênio dissolvido gerado pelos organismos cultivados neste tipo de sistemas.

Por outro lado, Moriarty (1997) e Martinez et al. (1997) indicam a necessidade do uso de uma aeração suficiente para que junto com o manejo bacteriano, possa se diminuir a renovação de água e reutilizar a mesma água para próximos cultivos. Também Burford et al. (2003a), ressaltam o fato de que os melhores resultados obtidos nos sistemas de bioflocos devem-se à utilização de grande potência de aeração, aliado ao fato de que se trabalha com tanques forrados com polietileno de alta densidade (PEAD) diminuindo assim a influência do solo nas reações de respiração e consumo de oxigênio.

Avnimelech (2012) e Crab et al. (2012) propõem que além do fornecimento de oxigênio para os animais cultivados e a ressuspensão das partículas, a aeração mecânica poderia ser utilizada quando os sólidos suspensos totais atingem elevadas concentrações. A necessidade de retirar os sólidos excedentes do cultivo pode ser feita por meio de separadores de espuma de coluna e de “airlifts”, utilizando o aerador para gerar um fluxo ascendente e desta maneira distribuir a água do tanque em sedimentadores (RAY et al., 2010; SAMOCHA et al., 2012). A não utilização dos sedimentadores, pode gerar elevada demanda de oxigênio dissolvido levando a necessidade do emprego de oxigênio líquido (MATHUR; RAFFIUDIN, 2005) para equilibrar as reações de respiração por parte da biomassa bacteriana.

Delgado et al. (2003) combinando dois modelos de aeradores em sistema superintensivo com bioflocos, indicavam que estudos posteriores deviam ser realizados para identificar melhores modelos de aeradores mecânicos e sua influência nos depósitos de matéria orgânica e de lodos no fundo dos tanques de cultivo. Crab et al. (2012), reafirmaram a necessidade de estudar os melhores modelos e os melhores posicionamentos de aeradores mecânicos para aprimorar o pacote tecnológico da produção em bioflocos.

Desta maneira pode-se verificar que existe grande quantidade de bibliografia relativa ao tema da aeração em aquicultura. Muitos dos aeradores utilizados em cultivos semi-intensivos e intensivos podem ter o potencial para ser empregados em cultivos superintensivos em

bioflocos. Porém ainda não foram desenvolvidas pesquisas específicas que comprovem a adaptabilidade destes aparelhos nesta nova tecnologia e que incluam resultados que possam projetar diferenças quanto ao custo de produção e a produtividade obtida com outro sistema de aeração empregado principalmente na piscicultura.

## **2. JUSTIFICATIVA**

O cultivo superintensivo em bioflocos apresenta todas as características sustentáveis e econômicas que são requeridas na conjuntura meio-ambiental e de mercado na atualidade. Sendo uma tecnologia relativamente nova, possui potencial para desenvolver maiores inovações que visem diminuir os custos de produção e aumentar as produtividades. Ainda dois importantes fatores que limitam a aquicultura intensiva são a qualidade da água e o custo de produção. Em bioflocos, o manejo da ecologia bacteriana permite manter os níveis de qualidade de água aceitáveis para as espécies produzidas. Porém, o custo de produção precisa ser avaliado constantemente.

São necessárias pesquisas que visem determinar se os aparelhos num empreendimento aquícola são os idôneos para produzir a espécie escolhida e que geram o melhor custo-benefício possível. Justamente, é no custo de produção onde este tipo de cultivos encontram suas maiores ressalvas, fruto do desconhecimento exato do valor necessário para produzir 1 kg de pescado empregando a tecnologia de bioflocos, em comparação com outros graus de intensificação de cultivo já relatados. Uma das principais causas do impacto no custo de produção é o aumento do consumo de energia elétrica, pois, devido às exigências de oxigenação e ressuspensão necessários para o bom funcionamento do sistema, torna-se imprescindível que os aeradores utilizados trabalhem as 24 horas do dia durante todo o ciclo de cultivo, o que justifica a procura do aerador mais eficiente para este tipo de sistema.

Por outro lado, não basta trocar o modelo utilizado, é necessário melhorar a tecnologia. Assim os modelos escolhidos devem ser mais eficientes do que os utilizados comumente. Vários pesquisadores em campo notaram que fatores tais como a temperatura, a pressão, o fitoplâncton e a degradação da matéria orgânica próprios dos cultivos influenciam no funcionamento dos aeradores mecânicos utilizados. Estes fatores comumente pioram os parâmetros de eficiência e transferência de oxigênio dos aeradores obtidos quando testados em águas claras. Desta maneira deve-se avaliar o desempenho dos aeradores selecionados em águas de características iguais às de um cultivo em

condições de maior demanda de oxigênio. Assim, esta pesquisa tenta obter resultados de desempenho em água de testes para determinar se existem ou não grandes perdas com respeito ao funcionamento do aerador na presença de fatores que interferem no perfil de oxigênio (ração, matéria orgânica, bactérias, turbidez, altas densidades, etc). O potencial impacto causado pelo uso de um modelo alternativo de aerador no sistema superintensivo em bioflocos pode ser verificado analisando os índices de desempenho dos animais cultivados assim como também na funcionalidade do biofoco. Finalmente esta pesquisa inclui o desenvolvimento da tecnologia de bioflocos aplicada a uma tendência mundial, o cultivo de tilápia.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo geral**

Contribuir com o desenvolvimento da tecnologia de aeração mecânica aplicada aos cultivos superintensivos de *Oreochromis niloticus* em sistema de bioflocos.

#### **3.2 Objetivos Específicos:**

a) Identificar o modelo de aerador mais eficiente energeticamente em termos de transferência de oxigênio, para ser usado em cultivos superintensivos com bioflocos.

b) Verificar se o aerador selecionado, suporta um cultivo superintensivo de tilápia nilótica em bioflocos sem produzir impactos negativos nos índices de produção e na funcionalidade do biofoco.

### **4. FORMATAÇÃO DOS ARTIGOS**

A tese está dividida em três capítulos. O primeiro é referente à introdução geral e os dois seguintes correspondem a dois artigos científicos. Os dois artigos estão formatados segundo as normas da revista “Aquacultural Engineering”.

## CAPITULO 2.

### **Avaliação de diferentes métodos de aeração para cultivos em sistemas em bioflocos**

**Jesus M. PASCO<sup>1</sup>; José W. D. CARVALHO FILHO; Luis VINATEA<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Laboratório de Camarões Marinhos (LCM) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Rua dos Coroas, Barra da Lagoa, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. Contato: [jesus\\_pasco@ufsc.br](mailto:jesus_pasco@ufsc.br).

## Resumo

Na aquicultura intensiva, o uso da aeração mecânica é a principal estratégia para conseguir manter as concentrações de oxigênio em níveis aceitáveis. Consequentemente, a escolha do aerador deve ser feita tomando em consideração as características mecânicas, operacionais, de design e de melhor custo-benefício. Neste sentido, o objetivo do presente trabalho foi de encontrar o modelos de aerador comumente usados em cultivos convencionais que apresente o melhor desempenho para adequá-lo a cultivos superintensivos em bioflocos. Foram testados quatro modelos diferentes: o modelo chafariz, o aerador de pás, o propulsor e o modelo soprador. Inicialmente foram observadas as características de design e operação de todos estes modelos para comprovar se geram correnteza e turbulência necessária para ressuspensão do material particulado, que se forma em cultivos com pouca taxa de renovação de água. A segunda parte avaliou a eficiência padrão (SAE) dos 4 modelos de aeradores testados primeiramente em água salgada ( $32 \text{ g.L}^{-1}$ ). Os resultados estatísticos em água salgada determinaram que o modelo chafariz foi o que obteve o maior SAE ( $2,03 \text{ kg O}_2.\text{kWh}^{-1}$ ), sendo selecionado para testar os valores do SAE em água com menores salinidades ( $4 \text{ g.L}^{-1}$ ) e em sistema de bioflocos. Nesta etapa, o aerador soprador, típico de cultivos superintensivos em pequena escala, também foi avaliado a título comparativo. O SAE resultante para água clara em baixa salinidade, foi de  $1,10 \text{ kg O}_2.\text{kWh}^{-1}$  para o chafariz e de  $0,25 \text{ kg O}_2.\text{kWh}^{-1}$  para o soprador. Para água com bioflocos o SAE resultante foi de  $0,89 \text{ kg O}_2.\text{kWh}^{-1}$  para o chafariz e de  $0,23 \text{ kg O}_2.\text{kWh}^{-1}$  para o soprador. Os resultados obtidos em salinidades mais baixas, tanto em água clara como em bioflocos, demonstraram que ambos modelos apresentaram menores SAE, o que pode ser atribuído à dificuldade de transferência de oxigênio pela diferença de densidade da água, a variação da tensão superficial e a formação de borbulhas maiores, além da maior concentração de sólidos suspensos totais. Conclui-se que o modelo chafariz é o aerador de melhor desempenho e que preenche os requisitos funcionais para ser usado em cultivos superintensivos em bioflocos

**Palavras chave:** Aeradores, oxigênio dissolvido, eficiência padrão de aeradores, bioflocos.

## 1. Introdução

Existem diversas formas, modelos e potências de aeradores mecânicos para aquicultura (Tucker, 2005), dependendo do propósito, a forma dos tanques e o grau de intensificação dos cultivos (Fast et al., 1999). A difusão de oxigênio na água, pode ser explicado fisicamente pelo princípio de transferência de massas do meio gasoso para o líquido (Salla e Shull, 2008). As formas de transferir o oxigênio atmosférico para água podem ser divididas em: 1. Ar na água, onde o oxigênio é difundido na água ao injetar ar atmosférico em forma de micro bolhas a grande pressão; e 2. Água no ar, que são aqueles aparelhos que utilizam a força motriz dos equipamentos para impulsionar água para gerar gotículas onde se incorporam as moléculas de oxigênio (Boyd, 1998; Rogers, 2009; Vinatea, 2004). Como exemplo de transferência de oxigênio via ar na água estão os sopradores que injetam ar forçado e os modelos propulsores que utilizam o princípio de Venturi de diferença de pressões para incorporar o ar na água. No caso do grupo que incorpora oxigênio via água no ar, temos os aeradores de fluxo horizontal como os aeradores de pás e os de fluxo vertical como o modelo chafariz (Tucker, 2005).

Conforme a intensificação, a maior necessidade de aeração foi incrementando-se ao longo da história da aquicultura, porém a maneira de escolher o equipamento adequado continuou utilizando o mesmo princípio. Segundo vários autores (Boyd e Ahmad, 1987; Cancino, 2004a; Fast et al., 1999; Kumar, 2010; Lawson e Merry, 1993; Tucker, 2005) a melhor maneira de comparar um pool de aeradores é utilizando o parâmetro da eficiência padrão do aerador SAE (do inglês *Standard Aerator Efficiency*), que mede a quantidade de oxigênio transferido por hora pela potência elétrica do motor (expressada em  $\text{kg O}_2.\text{kWh}^{-1}$ ). Para isto, uma série de equações matemáticas foram determinadas pela Sociedade Americana de Engenharia Civil (ASCE do inglês *American Society of Civil Engineers*) como mencionado por Boyd e Ahmad (1987) e Rogers (2009).

O conhecimento do SAE permite economizar energia elétrica não só no custo de produção se não também no custo de instalação. Por exemplo, um aerador de elevada potência que transfere altas quantidades de oxigênio, pode ser trocado por 2 ou 3 aparelhos que incorporem a mesma quantidade de oxigênio dissolvido por quilowatts-hora. Também é possível, graças ao conhecimento do SAE dos aparelhos utilizados, economizar em energia elétrica. Empreendimentos aquícolas que

possuam vários aparelhos podem adotar a estratégia de utilizar só uma parte de seus aeradores, uma vez que com o decorrer do cultivo se incrementa a necessidade de oxigênio dissolvido. Também é preferível, por segurança do cultivo, possuir dois ou três aparelhos que façam o mesmo trabalho que um só de maiores dimensões (Avnimelech, 2015).

Além da avaliação do SAE, cada tipo de cultivo apresenta requerimentos específicos que idealmente deveriam ser satisfeitos pelo modelo de aerador escolhido. Em termos de produção em tanques de pequeno tamanho com alta carga orgânica como o cultivo superintensivo em bioflocos, a necessidade de ressuspensão do material particulado é fundamental para o bom funcionamento do sistema. Tanques com pouca movimentação da água podem apresentar zonas mortas. Segundo Berthelson et al. (1996) as zonas mortas dentro de tanques com bioflocos afetam o desempenho dos cultivos em termos de consumo de oxigênio dissolvido. Avnimelech (1995), destaca que ressuspender um material sedimentado consome mais oxigênio do que quando este já encontrava-se em suspensão constante na coluna de água. Por outro lado, estas zonas mortas, ao ficar sem aporte de oxigênio iniciam a formação de metabolitos tóxicos (metano e gás sulfídrico) devido às reações anaeróbicas causando mortalidade dos organismos cultivados (Avnimelech, 2015; Boyd e Clay, 2002; Crab et al., 2012; Hargreaves, 2013; McIntosh, 2001; Ray et al., 2010; Schryver et al., 2008; Schweitzer et al., 2013). A tendência atual da aquicultura é a de desenvolver cultivos com pouca renovação de água, o que demanda conhecimento profundo tanto do manejo da biomassa microbiana (Moriarty, 1997) como do impacto que causa na demanda do oxigênio dissolvido, que é maior que a dos próprios organismos cultivados (Schryver et al., 2008).

A facilidade de instalação e os custos de manutenção dos aparelhos também devem ser considerados no momento da escolha do modelo de aerador a ser utilizado, pois existem momentos no cultivo onde a agilidade no manejo dos animais podem significar percas econômicas para a produção final.

Em sistemas convencionais, pesquisas anteriores observaram a necessidade de analisar os modelos de aeradores presentes no mercado aquícola mundial com o intuito de obter melhores resultados e diminuição de custos. Hopkins et al. (1992) e Peterson e Walker (2002) determinaram o o incremento de oxigênio dissolvido pelo efeito do aerador de pás em cultivos semi-intensivos de *Litopenaeus vannamei*. Já Boyd e Martinson (1984) e Kumar et al. (2010) pesquisaram para obter os melhores resultados do SAE em propulsores. Por outro lado, Boyd e

Daniels (1987) e Cancino et al. (2004a e 2004b) procuram encontrar as melhores características para o modelo chafariz ou bomba vertical em relação ao SAE. Boyd e Ahmad (1987) ao testar um conjunto de modelos de aeração encontraram que os sopradores ou compressores de turbina possuíam os menores valores de SAE entre todos os modelos testados. Porém, aparelhos destes modelos são comumente usados em laboratórios e unidades intensivas de pequeno porte, e tem sido adotados como padrão para os cultivos superintensivos em bioflocos em pequena escala (Browdy et al., 2001; Krummenauer et al., 2014; Samocha et al., 2004; Vinatea et al., 2010; Wasielesky et al., 2006), tomando em consideração a ressuspensão do material particulado porém sem nenhum tipo de análise de SAE ou de economia de energia elétrica no custo de produção.

A maioria dos valores de SAE obtidos pelas pesquisas dos autores antes mencionados, foram desenvolvidas em condições padrão, isto quer dizer água sem microrganismos, a 20°C e a 1 atmosfera de pressão. Porém, estas condições comumente diferem dos ambientes reais onde os cultivos são realizados, tais como altas cargas orgânicas, diferentes temperaturas e pisos altitudinais (Sperling, 1997).

Neste contexto, os cultivos utilizando a tecnologia de bioflocos apresentam particularidades muito específicas, tais como circulação e ressuspensão permanente do material particulado produzido, que devem ser supridos pelo modelo de aerador a ser escolhido. Desta maneira a presente pesquisa teve como objetivo avaliar as características de quatro modelos de aeradores, visando identificar qual deles além de cumprir com os requisitos para ser utilizados em cultivos superintensivos em bioflocos, é o mais energeticamente eficiente.

## **2. Materiais e métodos**

Quatro modelos de aeradores foram utilizados (com as respectivas potências): modelo chafariz (1,5HP), modelo aerador de pás (2HP), modelo propulsor (2HP) e o modelo soprador (3HP) (utilizando como difusores mangueiras Aero-Tube™). As potências diferentes dependeram da disponibilidade dos fabricantes. Todos os aeradores testados eram trifásicos. Os aeradores foram avaliados tanto física e funcionalmente como selecionados de acordo ao grau de eficiência de incorporação de oxigênio de cada modelo. Os aparelhos utilizados são apresentados na Figura 1.

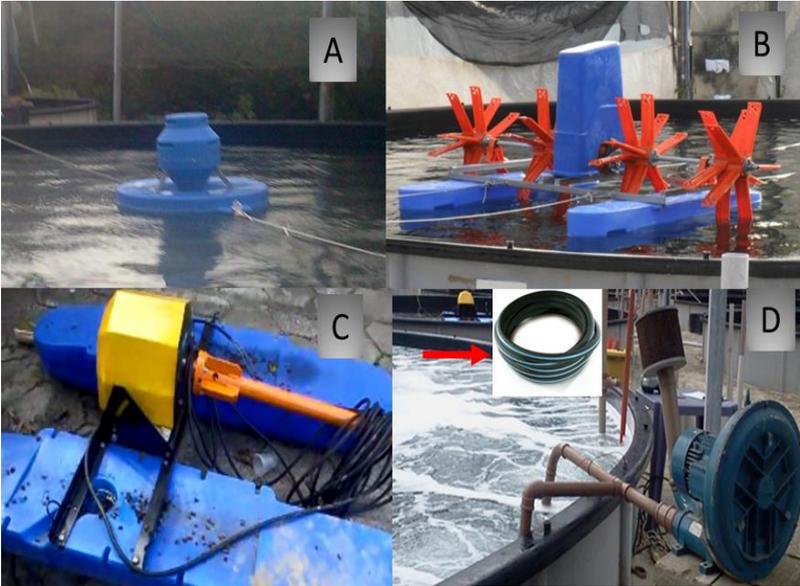


Figura 1. Quatro modelos de aeradores mecânicos avaliados. (A) chafariz, (B) aerador de pás, (C) propulsor, e (D) soprador com mangueira difusora Aero-Tube™ (sinalizada pela seta em vermelho).

## 2.1. Análise de características mecânicas, operacionais e de instalação.

Antes dos testes de eficiência os aeradores passaram por uma observação para identificar características mecânicas e operacionais que pudessem influenciar no seu desempenho. Para isto, foi necessário instalar os aparelhos nos tanques-testes, ligá-los e deixá-los funcionar por 5 minutos para observar a circulação, a produção de gotículas ou borbulhas, e a homogeneização das águas (mediante a medição do oxigênio dissolvido e temperatura em vários pontos dos tanques).

## 2.2. Determinação da eficiência padrão dos aeradores em água salgada.

Esta parte da pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Camarões Marinhos (LCM) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Os testes foram realizados em tanques circulares de fibra de vidro com 50 m<sup>3</sup> de volume útil com 1 m de profundidade. Nos testes foi utilizada água marinha limpa, com 32 g.L<sup>-1</sup> de salinidade e temperatura de 20°C. Os testes foram realizados ao nível do mar. Foi utilizado um

oxímetro polarográfico da marca Yellow Springs Instruments (YSI)-modelo 550A ( $\pm 2\%$  de erro padrão do aparelho fornecido pelo fabricante) para a medição de oxigênio dissolvido (OD), temperatura e percentual de saturação de oxigênio na água.

Para avaliar a eficiência padrão dos aeradores (SAE) foi necessário diminuir a concentração de oxigênio dissolvido para  $0 \text{ mg.L}^{-1}$  e a saturação de oxigênio para  $0\%$  ( $\pm 2$ ) conforme a metodologia descrita por Boyd e Watten (1989) e Vinatea e Carvalho (2007), através do uso de metabissulfito de sódio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) e cloreto de cobalto ( $\text{CoCl}_2$ ) como catalizador. O metabissulfito de sódio foi aplicado numa proporção de 10 mg de produto por litro de água por  $\text{mg.L}^{-1}$  de OD medido na água antes do início dos testes. O cloreto de cobalto foi aplicado numa proporção de 0,1 mg por litro de água presente no tanque. Os produtos foram previamente dissolvidos em recipientes contendo a mesma água dos tanques e aplicados uniformemente em toda a superfície da água. Imediatamente após disto foi utilizado uma bomba submersa tipo sapo para promover a homogeneização e uma correta mistura destes produtos em todo o corpo de água, comprovando-o ao medir as concentrações de oxigênio dissolvido em vários pontos do tanque.

O posicionamento de cada modelo de aerador no tanque-teste foi definido após comprovar a forma de funcionamento (item 2.1). No caso das mangueiras difusoras do modelo soprador estas foram colocadas em forma de três anéis concêntricos do tanque-teste respeitando a proporção de 1 metro de mangueira Aero-Tube™ por metro quadrado de área do fundo do tanque.

Uma vez posicionado, os aeradores foram fixados por cabos de nylon para manter a estabilidade. No caso do soprador, o compressor foi fixado numa base de concreto e as mangueiras fixadas no fundo do tanque mediante abraçadeiras de plástico de 1 polegada que impediram alterações na profundidade de trabalho.

Após o posicionamento do aerador no tanque, e a estabilização da saturação de oxigênio na água em  $0\%$  ( $\pm 2\%$ ), ligava-se o aerador. A recuperação da saturação de oxigênio foi registrada a cada 20 segundos com o auxílio do oxímetro. Para calcular todos os índices de desempenho, precisou-se de cronometrar e anotar o tempo que foi requerido para atingir 10% e 70% de saturação do oxigênio na água do tanque por efeito exclusivo do aerador testado. Uma vez atingido mais do 70% da saturação de oxigênio o aerador era desligado. Para o cálculo de SAE foi utilizado o conjunto de equações determinadas por Boyd e Ahmad (1987), que são apresentadas no Quadro 1. Os testes foram

feitos em três réplicas para cada modelo de aerador. Foi calculado o SAE para cada replica e apresentado um SAE médio final para cada modelo de aerador.

Quadro 1. Equações necessárias para encontrar a eficiência padrão de aeradores (SAE). Consideram-se o tempo de recuperação de saturação de oxigênio após diminuição de oxigênio dissolvido a zero utilizando o metabissulfito de sódio (10 mg por mg O<sub>2</sub> por litro de água no tanque-teste) e o cloreto de cobalto (0,1 mg por litro de água no tanque-teste) como catalizador de reação química.

Parâmetro	Equação	Unidades
Kla <sub>T</sub>	$\frac{1,1}{t(70\%) - t(10\%)}$	h <sup>-1</sup>
Kla <sub>20</sub>	$Kla_T \times 1,023^{(20-T)}$	h <sup>-1</sup>
SOTR	$Kla_{20} \times Cs \times V \times 10^{-3}$	kg O <sub>2</sub> . h <sup>-1</sup>
SAE	$\frac{SOTR}{\text{Potência motor (kw)}}$	kg O <sub>2</sub> .(kw.h) <sup>-1</sup>

Onde:

t(70 %) = tempo decorrido para atingir 70% de saturação de oxigênio (em horas).

t(10 %) = tempo decorrido para atingir 10% de saturação de oxigênio (em horas).

T= temperatura da água.

Kla<sub>T</sub> = coeficiente de transferência de oxigênio na temperatura da água.

Kla<sub>20</sub> = coeficiente de transferência de oxigênio a 20°C.

Cs = concentração de OD (mg.L<sup>-1</sup>) na salinidade do teste a 20°C.

V= volume do tanque do teste (L)

SOTR= taxa padrão de transferência de oxigênio

SAE= eficiência padrão do aerador

### 2.3. Determinação da eficiência padrão do aerador selecionado em condições de cultivo

Os testes foram realizados no laboratório de produção de alevinos de tilápias da empresa Aquacultura Nilótica localizada no município de Timbó em Santa Catarina na região Sul do Brasil. Foram utilizados tanques circulares de 15 m<sup>2</sup> de área e 0,67 m de profundidade útil o que resultou em 10 m<sup>3</sup> de volume útil. Os tanques estavam revestidos com lona de polietileno de alta densidade (PEAD) de 1mm de espessura.

O modelo de aerador que apresentou o maior SAE em água com 32 g.L<sup>-1</sup> de salinidade (modelo chafariz) foi selecionado para ser testado em água com salinidades de 4g.L<sup>-1</sup> (mesma que é utilizada para cultivos

de tilápias nilóticas). Nesta salinidade foram testadas duas condições de cultivo: água clara (sem material particulado e transparência total) e água com bioflocos (provenientes de um cultivo da estação piscícola) com  $1000 \text{ mg.L}^{-1}$  de sólidos suspensos totais. Devido a ser o modelo mais utilizado em cultivos superintensivos em bioflocos em unidades de pequenos volumes, o soprador foi testado como tratamento controle nas mesmas condições que o modelo chafariz. Ambos modelos trabalhando nos dois tipos de água testados são apresentados na Figura 2.

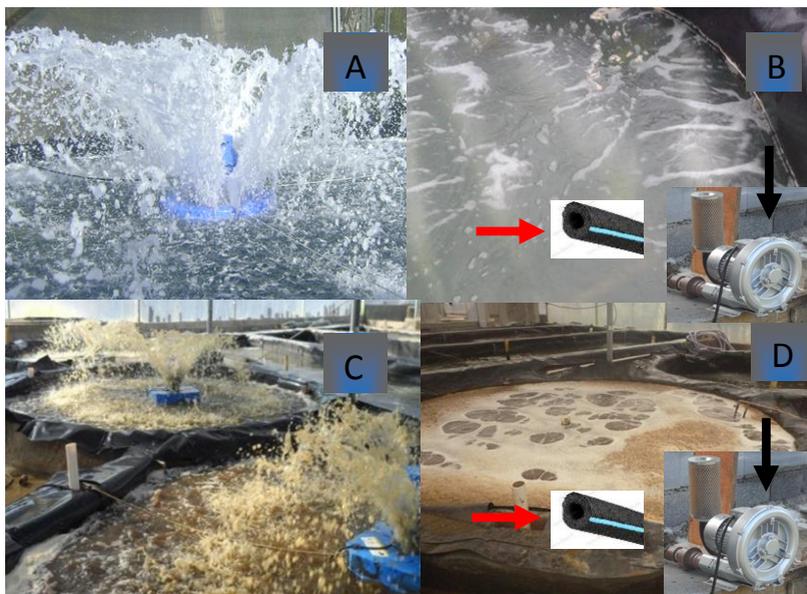


Figura 2. Modelos de aeradores mecânicos de 1/3 HP de potência, testados para obtenção da eficiência padrão (SAE) em dois tipos diferentes de água. (A) modelo chafariz em água clara, (B) modelo soprador em água clara, (C) modelo chafariz em água com bioflocos e (D) modelo soprador em água com bioflocos. (As setas pretas indicam o motor do soprador e as setas vermelhas indicam o tipo de mangueiras difusoras utilizadas e que encontram-se submersas). Os testes foram desenvolvidos em água com  $4 \text{ g.L}^{-1}$  de salinidade e em tanques de  $10 \text{ m}^3$  de volume útil.

Para manter a proporcionalidade da potência elétrica do aerador escolhido foi calculada uma relação direta entre a potência testada na primeira parte desta pesquisa e o volume efetivo do tanque. Assim, na primeira parte, o modelo chafariz utilizou uma potência de 1,5 HP para um tanque de  $50 \text{ m}^3$ ; por conseguinte, foi utilizado 0,3 HP para os tanques de  $10 \text{ m}^3$  (5 vezes menor). O soprador foi dimensionado tendo a

mesma potência do tipo chafariz. No caso das mangueiras difusoras do modelo soprador estas foram colocadas em forma de grade (10 barras de 1,5 metros cada uma) mantendo a proporção de 1 metro de mangueira Aero-Tube™ por metro quadrado de área do fundo do tanque.

O posicionamento dos aeradores nos tanques-teste, a metodologia aplicada para depleção de oxigênio dissolvido, a metodologia para registro da recuperação de saturação de oxigênio e as equações utilizadas para os cálculos de SAE foram as mesmas utilizada na parte 2.2 desta pesquisa. Os testes foram feitos em três réplicas para cada modelo de aerador. Foi calculado o SAE para cada replica.

#### **2.4. Comparação do custo de energia elétrica numa produção aquícola em sistema superintensivo em bioflocos utilizando os dois modelos de aeração testados.**

Uma simulação do custo de produção em termos de energia elétrica foi efetuada utilizando os valores de SAE dos modelos de aeradores testados em água com bioflocos por ambos modelos na parte 2.3 desta pesquisa.

A simulação consistiu numa produção superintensiva de tilápia cultivada em bioflocos. O cultivo iniciaria com alevinos de 0,4 g e teria uma duração de 8 meses para atingir os 600 gramas de peso individual final. Projetou-se manter o OD em no mínimo  $5,5 \text{ mg.L}^{-1}$  durante todo o cultivo. O tanque a ser utilizado tinha 10.000 litros de volume útil e a necessidade de OD do sistema foi de  $1,32 \text{ kg O}_2.\text{h}^{-1}$ . O custo da energia elétrica rural para produção no sul do Brasil equivale a 0,24 reais por quilowatt-hora na época da pesquisa. Para calcular o custo de manter a concentração desejada de OD foi dividido o valor do SAE, para cada modelo de aerador, pelo valor do quilowatt-hora. Assume-se também que os aeradores mantem-se ligados 24 horas por dia, totalizando 720 horas por mês e 5760 horas ao final do ciclo de produção.

#### **2.5. Análises estatísticas**

##### **2.5.1. Escolha do aerador com maior SAE entre os quatro modelos testados.**

Após obter os resultados das 3 repetições para cada aerador foi realizada uma ANOVA simples e um Teste de Tukey para separação de medias e determinar qual o aerador com maior SAE a ser escolhido para ser testado na água salobre. Ambos testes utilizaram níveis de significância do 5%.

### **2.5.2. Comparação entre o SAE de dois modelos de aeradores em dois ambientes de cultivo**

Foi feito uma ANOVA Bi-Fatorial tomando em conta a interação entre os modelos de aeradores e o tipo de água de cultivo, e logo um Teste de Tukey para identificar as diferenças significativas entre as medias. Para ambos testes foi utilizado um nível de significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

## **3. Resultados**

### **3.1. Análise dos fatores de design, funcionamento e posicionamento dos aeradores testados.**

As características dos modelos de aeradores testados estão apresentados no Quadro 2.

Quadro 2. Observação de características de quatro modelos de aeradores mecânicos: (A) modelo chafariz, (B) modelo aerador de pás, (C) modelo propulsor e, (D) modelo soprador. As características consideraram detalhes de fabricação e funcionamento junto com o princípio de incorporação de oxigênio dissolvido no qual cada modelo utiliza.

<i>Aerador</i>	<i>Difusor complementar</i>	<i>Forma de incorporar oxigênio dissolvido</i>	<i>Circulação do corpo de água</i>	<i>Grau de dificuldade da instalação</i>
<i>A) Modelo chafariz</i>	Não	Movimentação vertical da água em grande velocidade. A incorporação do oxigênio atmosférico acontece na quebra da interface líquido – gás – líquido.	Em tanques com profundidade máxima de até 1,5 metros, a água é facilmente circulada num sentido radial.	Baixo. Instalação no centro dos tanques circulares ou proporcional em tanques de outros formatos. Fixação simples por postes ou varas com cordas
<i>B) Modelo aerador de pás</i>	Não	Movimentação vertical e horizontal da água criando gotículas que aumentam a superfície de contato água – ar – água.	Depende da forma e da profundidade dos tanques. Vários aparelhos são necessários para formatos retangulares devido à perda da velocidade da água nas bordas devido à fricção.	Baixo. Instalação no centro dos tanques circulares ou proporcional em tanques de outros formatos. Fixação simples por postes ou varas com cordas
<i>C) Modelo propulsor</i>	Não	A velocidade de giro do eixo cria um gradiente de pressão que incorpora ar na água expulsando-o pela hélice em forma de borbulhas finas.	Tanques profundos são facilmente misturados pelo empurre que gera a rotação da hélice na água.	Baixo. Instalação no centro dos tanques circulares ou proporcional em tanques de outros formatos. Fixação simples por postes ou varas com cordas
<i>D) Modelo soprador</i>	Sim	Captação de ar atmosférico, circulação em alta pressão e incorporação na água por micro borbulhas geradas pelas mangueiras difusoras.	Depende do número de mangueiras e da área de abrangência destas no fundo do tanque. Muitas vezes são necessários acessórios complementares (canos para implementar sistema airlift)	Médio. Precisa de uma base e uma estrutura coberta para proteção, conexões e difusores que devem ser fixados no fundo do tanque por pesos ou lastres

### 3.2. Comparação do SAE dos modelos testados

Os tempos de recuperação da saturação de oxigênio em água salgada dos modelos de aeradores testados geraram curvas que descrevem equações polinomiais de segundo grau com alto fator de correlação ( $R^2$ ). As equações e o coeficiente de correlação ( $R^2$ ) destas curvas são apresentadas na Figura 3.

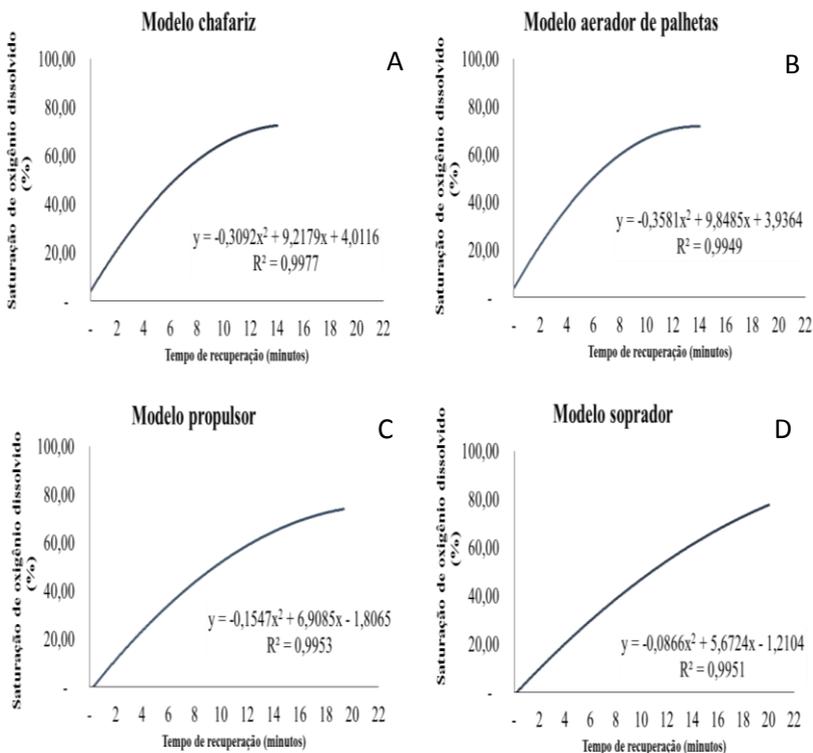


Figura 3. Curvas de recuperação de saturação de oxigênio para quatro modelos de aeradores mecânicos: (A) modelo chafariz (1,5 HP), (B) modelo aerador de pás (palhetas) (2 HP), (C) modelo propulsor (2 HP), e (D) modelo soprador (3 HP). As curvas desenharam a tendência da recuperação da saturação de oxigênio desde o 0% até o 70% de saturação final. Os testes foram desenvolvidos em tanques de 50 m<sup>3</sup> com água clara, a 20°C e a nível do mar. Os dados das curvas se descrevem uma equação polinomial de segundo grau. São apresentadas as equações matemáticas descritas pela curva e o coeficiente de correlação ( $R^2$ ) para cada modelo de aerador.

Após análise estatística, o modelo chafariz foi o que apresentou o SAE (2,03 kg O<sub>2</sub>.kwh) significativamente maior ( $p < 0,05$ ) em comparação com os outros modelos analisados. O modelo aerador de palhetas e o modelo propulsor não apresentaram diferenças significativas entre eles ( $p < 0,05$ ). Já o modelo soprador foi o que apresentou o menor SAE entre todos os modelos testados. Os resultados estatísticos da comparação da eficiência padrão do aerador são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Eficiência padrão (SAE) de quatro modelos de aeradores mecânicos testados em tanques de 50m<sup>3</sup> em água clara com 32g.L<sup>-1</sup> de salinidade, 20°C de temperatura e a nível do mar.

Modelos de aeradores	SAE (kg O <sub>2</sub> .kWh <sup>-1</sup> ) *
Chafariz	2,03 ± 0,13 <sup>a</sup>
Aerador de pás	1,55 ± 0,14 <sup>b</sup>
Propulsor	1,29 ± 0,27 <sup>b</sup>
Soprador	0,80 ± 0,06 <sup>c</sup>

Dados médios ± desvio padrão.

\* ANOVA Simples, médias na mesma coluna seguidas de letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

### 3.3. Determinação da eficiência padrão do aerador selecionado em duas condições diferentes de cultivo

Com o maior SAE obtido, o modelo chafariz foi escolhido para os testes comparativos em água clara e água com bioflocos. O modelo soprador foi testado como grupo controle, uma vez que é o mais utilizado nos cultivos em sistemas de bioflocos (Krummenauer et al., 2014; Schweitzer et al., 2013; Vinatea et al., 2010; Wasielesky et al., 2006). Os tempos de recuperação da saturação de oxigênio pelos dois modelos testados em ambos ambientes aquáticos geraram curvas que descrevem equações polinomiais de segundo grau. As curvas, as equações e os respectivos coeficientes de correlação (R<sup>2</sup>) são apresentadas na Figura 4.

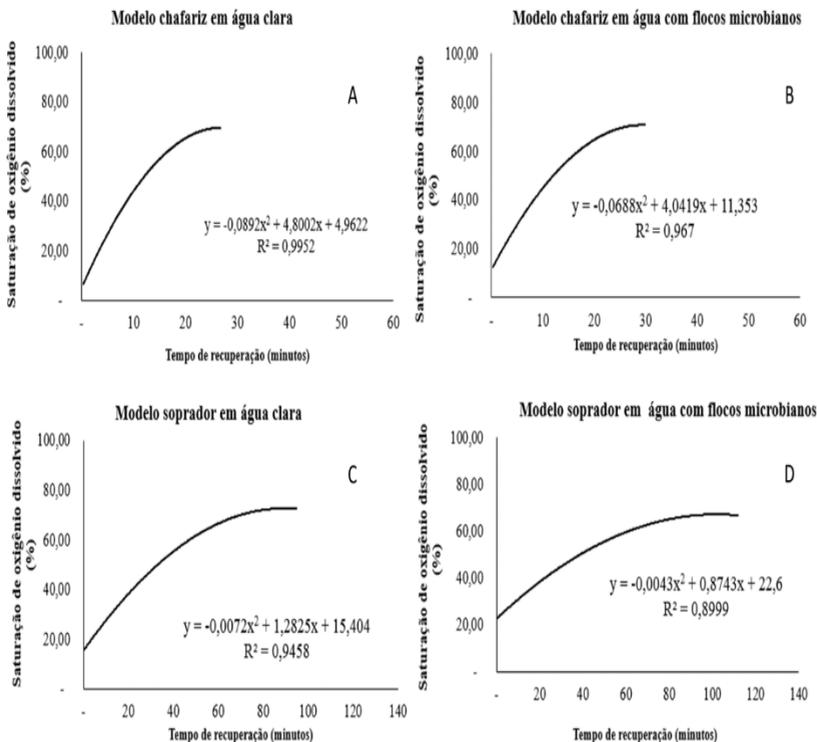


Figura 4. Curvas de recuperação de saturação de oxigênio para dois modelos de aeradores mecânicos em dois tipos de água. (A) modelo chafariz (1/3 HP) em água clara, (B) modelo chafariz (1/3 HP) com água bioflocos (flocos microbianos), (C) modelo soprador (1/3 HP) em água clara, e (D) modelo soprador (1/3 HP) em água com bioflocos (flocos microbianos). As curvas desenharam a tendência da recuperação de saturação desde 0% até o 70% de saturação final. Os dados das curvas descrevem equações polinomiais de segundo grau. São apresentadas as equações matemáticas descritas pela curva e o coeficiente de correlação ( $R^2$ ) dos valores obtidos para cada modelo de aerador.

Os valores de SAE calculados para ambos modelos de aeradores para ambos tipos de água testados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Eficiência padrão (SAE) de dois modelos de aeradores de 1/3 HP (0,245 kW) de potência testados em tanques de 10 m<sup>3</sup> em dois tipos diferentes de água com 4 g.L<sup>-1</sup> de salinidade a 20°C.

Modelo de aerador	Tipo de Água		ANOVA		
	SAE Água clara kg O <sub>2</sub> .kWh <sup>-1</sup>	SAE Água com bioflocos kg O <sub>2</sub> .kWh <sup>-1</sup>	T	A	T x A
Chafariz	1,10 ±0,20 <sup>a</sup>	0,89 ±0,24 <sup>a</sup>	*	NS	NS
Soprador	0,25 ±0,06 <sup>b</sup>	0,23 ±0,04 <sup>b</sup>	*	NS	NS

Dados médios (± desvio padrão).

<sup>1</sup>ANOVA Bi-Fatorial, T (aeradores), A (tipo de água), T x A (interação T x A), \* = p < 0,05, NS = não significativo. Médias na mesma linha ou na mesma coluna seguidas de letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey (p < 0,05).

### 3.4. Simulação do custo de energia elétrica numa produção aquícola em sistemas superintensivos em bioflocos utilizando os dois sistemas de aeração testados.

Na tabela 3 observam-se os valores simulados para um ciclo de produção superintensiva de tilápia em bioflocos.

Tabela 3. Simulação do custo de energia elétrica em tanques de um cultivo hipotético de tilápia produzido em bioflocos utilizando dois modelos diferentes de aeradores mecânicos durante 8 meses em densidades de 20 peixes por m<sup>2</sup> baseado no valor de SAE de ambos modelos.

Modelo Aerador	SAE kg O <sub>2</sub> .kWh <sup>-1</sup>	Valor energia elétrica R\$.kWh <sup>-1</sup>	Custo energia por kg Oxigênio R\$.kg O <sub>2</sub> <sup>-1</sup>	Custo energia mês R\$	Custo energia ciclo R\$
Chafariz	0,89	0,24	0,27	256,29	2050,30
Soprador	0,23	0,24	1,04	991,72	7933,77

<sup>1</sup> Utilizando a potência nominal do motor 1/3 HP (0,245 kw)

<sup>2</sup> Para análise de custo foi considerado os valores de: dias de cultivo= 240; horas de funcionamento diária dos aeradores= 24

<sup>3</sup> À salinidade = 4 g.L<sup>-1</sup> e volume do tanque = 10m<sup>3</sup>.

## 4. Discussão

### 4.1. Particularidades dos quatro aeradores mecânicos testados

Em termos da facilidade e praticidade na operação e instalação dos modelos testados, pode-se acrescentar que o chafariz, aerador de pás e o propulsor são fáceis de instalar, não demandam gastos além do custo do próprio aparelho, da instalação elétrica e das cordas e postes para fixação nos tanques de produção. Já o modelo Soprador, além de acrescentar ao preço pelas conexões, difusores e estruturas externas para o compressor, dificulta a operação de biometrias e despescas (Tucker, 2005).

Utilizando o modelo soprador aumenta-se a possibilidade de acontecer problemas devido ao acúmulo de estruturas frágeis que compõem o sistema compressor-difusores (junções, tubulações, conectores, registros e mangueiras). Estas peças podem ser soltar, quebrar ou entupir, ocasionando diminuição da eficiência do sistema de aeração com o conseqüente problema na produção ao gerar estresse por hipóxia nos organismos cultivados.

A quantidade de aeradores também é determinada pelo tamanho e formato das unidades de produção, sendo necessários vários aparelhos do mesmo modelo dentro de um mesmo tanque (Burford et al., 2003). No caso do modelo soprador pode-se incrementar a potência aumentando o número de difusores e distribuindo-os melhor no fundo do tanque (Browdy et al., 2001; Krumenauer et al., 2007; Schweitzer et al., 2013; Wasielesky et al., 2006). Porém, um ponto negativo de utilizar esta estratégia é que o empreendimento aquícola deve contar com dois ou mais compressores de reserva, pois acontecendo pane mecânica, todas os tanques abastecidos serão afetados. Já ao usar os outros modelos testados se diminui o risco de mortalidade total dos organismos cultivados devido a problemas que aconteçam com um aparelho, o(s) outro(s) presente(s) no mesmo tanque poderá(ão) suprir a necessidade de oxigênio, pelo menos até ser detectado e consertado. Num caso de emergência, como o citado, para repor o aparelho defeituoso, a facilidade de instalação e fixação se acelera no caso dos modelos chafariz, aerador de pás e propulsor e se dificulta em relação ao modelo soprador.

Ao analisar o funcionamento dos quatro modelos de aeradores testados pode-se comprovar que o modelo chafariz e o aerador de pás ao movimentar vertical e horizontalmente a água geram grande quantidade

de gotículas de água que promovem a difusão de oxigênio atmosférico à coluna de água ao aumentar a superfície de contato da fase gás-líquido (Tucker, 2005). No caso do modelo propulsor e no modelo soprador foi observado o ingresso de pequenas borbulhas de ar na água. Estas borbulhas são as responsáveis pela difusão do oxigênio atmosférico para dentro da coluna d'água (Boyd, 1989). Estes dois últimos modelos de aeradores também tem o potencial para ser utilizados na difusão de oxigênio líquido emergencial, como relatado por Cohen et al. (2005), Mathur e Rafiuddin (2005) e Mishra et al. (2008).

Já o poder de circulação e o posicionamento é característica própria de cada modelo, pois seu design e o seu funcionamento fazem com que a escolha de um ou outro modelo de aerador seja totalmente dependente do formato e profundidade dos tanques de cultivo, assim como do uso que for dado às duas funções que cumpre um aerador: a oxigenação e a circulação das massas de água (Boyd, 1998; Cancino, 2004a; Netto e Vinatea, 2005; Rogers, 1989). Nesta pesquisa foi comprovado que os quatro modelos testados têm o potencial para manter as massas de água em movimento constante, sempre que posicionados estrategicamente.

A hélice axial, do modelo chafariz, provocou um escoamento ascendente vertical em todas as direções, gerando assim uma distribuição radial da água. Isto determina o seu posicionamento no centro do tanque circular já que desta maneira a distribuição da água se efetua de uma maneira mais homogênea, facilitando a incorporação de oxigênio dissolvido (OD) em toda a coluna de água (Cancino, 2004b).

A posição do aerador de pás nos tanques circulares foi definida pelo duplo efeito que causam as pás ao impulsionar a água. Além da forte circulação horizontal-frontal é gerado também uma circulação e turbulência horizontal-traseira, embora em menor intensidade, que colabora também na incorporação de OD dentro da água dos tanques de cultivo (Tucker, 2005; Vinatea; Carvalho, 2007). Assim aumenta a abrangência do aerador (Peterson et al., 2001) e auxilia na eliminação das chamadas áreas mortas, prejudiciais para os organismos cultivados (Avnimelech, 2015; Delgado et al., 2003). Assim, o aerador de pás foi colocado a dois metros da beira do tanque, impondo maior importância ao fluxo frontal, para assim o aparelho poder desenvolver mais eficazmente sua função (Netto e Vinatea, 2005; Peterson et al., 2001). A influência de posicionar os aeradores de pás de acordo com as conformações dos tanques foi corroborada por McNeil (2000), que havia comprovado que afetavam a circulação radial das massas de água pela perda de velocidade nos ângulos dos tanques.

Embora os modelos propulsor e soprador pertençam ao mesmo princípio de oxigenação, o seu funcionamento é diferente, sendo assim o posicionamento destes deve ser diferente. Em tanques circulares, o propulsor deve ser colocado de forma tangencial ou paralela à circunferência do tanque devido à determinação de dois fatores: a ausência de um redutor no motor e a alta velocidade de rotação do eixo, necessária para produzir a diferença de pressão e assim o efeito Venturi se manifestar (Boyd, 1998; Kumar et al., 2013; Kumar et al., 2010). Estas duas propriedades dos propulsores fazem com que, ao funcionar, o modelo gere uma alta correnteza, um fluxo de água e uma força centrípeta elevada que influencia tanto na transferência de oxigênio como na circulação de água do tanque (Kumar et al., 2010).

No caso do modelo soprador, o posicionamento deve ser dividido em duas partes: uma fora da água e a outra dentro da água. Fora da água é colocado o compressores com a turbina numa estrutura que os proteja dos efeitos da intempérie no motor e no filtro por onde é captado o ar para ser distribuído até os difusores. Também fora da água se encontra uma rede de tubulações que podem ser enterradas ou aéreas, dependendo do projeto de aquicultura instalado. O posicionamento dentro da água depende da funcionalidade que é desejada para o aparelho devido a que dependendo da distribuição dos difusores dentro da água, pode-se obter diversas formas de circulação das massas de água. Uma das formas mais conhecidas é o tipo “airlift” (Barrut et al, 2012; Parker e Suttle, 1987), onde se utiliza a força das borbulhas geradas para movimentar a água por tubulações de PVC, que são direcionadas de forma vertical, gerando assim uma correnteza, que devido à constante velocidade promove a circulação da água e a ressuspensão das partículas sólidas. No caso da presente pesquisa, foi utilizado uma conformação circular que foi definida tentando aproveitar ao máximo a potência do aerador e a capacidade de difusão das mangueiras.

#### **4.2. Análise da eficiência padrão dos quatro modelos de aeradores testados**

O modelo chafariz obteve o maior valor de SAE entre todos os modelos testados. As conformações estruturais e funcionais do modelo chafariz podem ser as responsáveis pelo melhor desempenho do que os outros modelos. Ao momento que a hélice do modelo chafariz lança a água do tanque para a atmosfera, acontece a quebra da superfície da água, transformando a fase líquida homogênea em pequenas gotículas que conseguem incorporar na sua superfície moléculas de oxigênio

atmosférico que, ao momento de voltar para o corpo de água, oxigena este por simples difusão (Boyd, 1998). A correnteza e a circulação da água gerado pelo trabalho do chafariz, promove a dispersão, que significa que a água lançada à atmosfera é sempre diferente e com menor concentração de oxigênio dissolvido do que a que volta à coluna d'água, mantendo constante a captação - oxigenação - difusão - dispersão (Cancino et al., 2004a; Tucker, 2005).

A oxigenação de um corpo de água explica-se de acordo com o princípio das pressões parciais da Lei de Dalton aplicada à interfase gás-líquido da Lei de Henry e da Lei de Raoult, que determinam que o ar atmosférico exerce uma pressão sobre a superfície da água que é proporcional aos gases que o compõe, neste caso o Nitrogênio (78,1%) e o Oxigênio (20,9%). A soma destas pressões parciais conformam a pressão atmosférica (P.A) é por isto que qualquer fator que modifique a pressão atmosférica como a altitude e a temperatura, interfeririam no desenvolvimento dos testes de eficiência dos aeradores. Assim, pode-se explicar o porquê das diferenças de SAE entre os resultados obtidos na presente pesquisa e os obtidos por Boyd e Ahmad (1987), Boyd e Daniels (1987), Boyd e Martinson (1984), Cancino (2004b), Kumar (2010), Rogers (2009), Thakre et al. (2008) e Vinatea e Carvalho (2007).

Os testes de SAE são dependentes do local onde foram realizados os testes e as condições ambientais nas quais foram desenvolvidos. Também influencia a condição e as diferentes particularidades entre os aparelhos testados na presente pesquisa e no trabalho dos referidos autores. Um dos casos que pode-se citar como referência é o caso de um trabalho de engenharia minucioso para melhorar o modelo bomba vertical (nesta pesquisa denominada modelo chafariz) procurando conhecer o melhor ângulo do rotor, inclinação da hélice e profundidade dos flutuadores feito por Cancino et al. (2004a; 2004b) onde encontram os melhores valores de SAE de  $1,8 \text{ Kg O}_2.\text{kWh}^{-1}$  a  $10^\circ\text{C}$ , que são similares aos  $2,03 \text{ kg O}_2.\text{kWh}^{-1}$  em água  $32 \text{ g.L}^{-1}$  e a  $20^\circ\text{C}$  encontrados nesta pesquisa.

Além da temperatura e a pressão atmosférica, a salinidade tem efeito na incorporação de oxigênio resultante de um processo de aeração mecânica. Quanto maior a salinidade, a tensão superficial aumenta, o que produz uma diminuição no tamanho das borbulhas e das gotas geradas pela ação dos aeradores (Fast et al., 1999; Peterson e Walker, 2002). A variação da salinidade também influencia na solubilidade dos gases, conforme aumenta a salinidade, a solubilidade diminui e assim há menos concentração de oxigênio na água (Boyd, 1998; Vinatea, 2004).

Fast et al. (1999) comenta que o parâmetro de eficiência dos aeradores duplica a cada aumento de  $10 \text{ g.L}^{-1}$  na salinidade dos tanques, isto não foi comprovado por Vinatea e Carvalho (2007), que embora registrem aumentos significativos, não atingiram o dobro incluso decaindo quando a salinidade atingia mais de  $30 \text{ g.L}^{-1}$ . O objetivo desta pesquisa foi o de encontrar o melhor modelo de aerador com potencial para ser aplicado em cultivos com altas cargas orgânicas e com elevadas densidades de produção. Desta maneira, selecionando o modelo de aerador com maior SAE nas condições padrão, garantiria que em condições de produção, o modelo selecionado também seria o que obtivesse os melhores resultados.

As curvas de recuperação de saturação de oxigênio apresentaram tendências parecidas e fortemente correlacionadas ( $R^2$  perto de 1) porém com diferentes tempos de recuperação para atingir os 70% de saturação. A saturação do oxigênio na fase líquida é influenciada negativamente pelo aumento de temperatura e de salinidade e, positivamente pelo aumento da pressão atmosférica (Boyd, 1998). O conceito de saturação de oxigênio na água é basicamente o que define as diferenças de SAE entre um e outro modelo testado num mesmo ambiente e sob as mesmas condições climáticas. Nesta pesquisa, pode-se notar que os quatro modelos testados possuíam tempos de recuperação de 10% de oxigênio muito similares. Este fato deve-se ao maior diferencial de pressões parciais entre o oxigênio presente na fase gás (atmosfera) e o presente na fase líquida (água do tanque), já que quanto maior é a diferença de pressões, mais rápido será a incorporação de oxigênio na água dos tanques (Tucker, 2005). A medida que diminui este diferencial a velocidade de incorporação de oxigênio atmosférico na água é menor. Desta maneira o tempo requerido para atingir o 70% da saturação em todos os casos apresentou uma diferença maior entre os modelos. Com isto, pode-se afirmar que o princípio de oxigenação, as particularidades do modelo escolhido e o posicionamento do aerador no tanque são as variáveis que vão determinar qual modelo será o mais eficiente e obterá o maior SAE num comparativo em condições controladas.

Embora o modelo chafariz e o modelo aerador de pás compartilhem a mesma forma de incorporação de oxigênio atmosférico, o modelo chafariz obteve maior SAE do que o modelo aerador de pás. Fatores de design e de funcionamento dos modelos de aeradores são possivelmente responsáveis pela maior eficiência do modelo chafariz nas condições testadas (Cancino, 2004a; Cancino, 2004b).

O fato da turbulência provocada pelo modelo chafariz ter sido maior que aquela provocada pelo aerador de pás, pode ter influenciado

na mais rápida recuperação da concentração de oxigênio dissolvido e no melhor SAE obtido pelo modelo chafariz. A turbulência gera renovação da superfície das borbulhas o que incrementa a taxa de difusão de oxigênio.

As rotações por minuto (RPM) foram diferentes para ambos modelos sendo 1750 RPM para o modelo chafariz e 125 RPM para o aerador de pás (dados fornecidos pelo fabricante). Quando impulsionada a água do tanque por ação das hélices a altura atingida pela água interfere no tempo que a água permanece em contato com o ar promovendo a captação de oxigênio pelas gotículas produzidas. Desta maneira a maior altura atingida pelo modelo chafariz pode ser uma das causas da sua melhor eficiência. A diferença de RPM entre ambos os modelos, deve-se a que o aerador de pás possui um redutor de óleo acoplado para aumentar o torque do motor, permitindo-lhe fazer girar as pás superando a força de empurre da água. Esta configuração permite utilizar estes modelos em viveiros ou tanques de maiores áreas. Porém, diminui a velocidade de transferência e o tempo de recuperação de oxigênio dissolvido aumenta, diminuindo assim o valor final de SAE. A velocidade de rotação do aerador de pás é maior do que os 90 RPM que recomenda Boyd (1989), onde se toma em consideração o diâmetro das pás (50cm) e a profundidade que ingressa na água (15 cm). Neste caso o aparelho testado contava com o mesmo diâmetro, porém as pás ingressavam no máximo 10 cm na água dos tanques diminuindo a fricção, o que permitiu maior velocidade de rotação.

O valor de SAE encontrado para o aerador de pás não apresentou diferença significativa ( $p > 0,05$ ) com o modelo propulsor na salinidade de  $32 \text{ g.L}^{-1}$ . Já Vinatea e Carvalho (2007), encontraram que o modelo aerador de pás obteve maiores SAE que o modelo propulsor nas salinidades que variaram entre 30 e  $35 \text{ g.L}^{-1}$  com aeradores com a mesma potência que as testadas na presente pesquisa (2 HP).

Devido ao potencial que possui o modelo propulsor para trabalhar em maiores profundidades com altas taxas de transferência de oxigênio este modelo continua sendo foco de várias pesquisas com o intuito de atingir maiores eficiências e utilidades (Kumar et al., 2010; Kumar et al., 2013). Assim, o baixo valor de SAE ( $1,29 \text{ kg O}_2.\text{kWh}^{-1}$ ) obtido nesta pesquisa pode se dever à pouca profundidade do tanque-teste, já que testando o mesmo modelo e com a mesma potência porém à profundidade de 1,5 metros, Vinatea e Carvalho (2007) obtiveram SAE de  $2,4 \text{ kg O}_2.\text{kWh}^{-1}$  para a mesma salinidade. Além destes pesquisadores, foram encontrados diversos valores de SAE para o modelo propulsor, como os relatados por Boyd e Ahmad (1987) que

obtiveram valores  $1,58 \text{ kg O}_2.\text{kWh}^{-1}$  e os obtidos por Boyd e Martinson (1984), que variam entre o  $1,73$  e  $1,91 \text{ kg O}_2.\text{kWh}^{-1}$ . Isto demonstra que tanto a metodologia, as condições climáticas e a características individuais do mesmo modelo provocam flutuações nos valores obtidos para os aeradores mecânicos.

Os valores de SAE obtidos para o modelo soprador foram os menores entre todos os modelos testados assim como também aos encontrados por Boyd e Ahmad (1987) que amostram valores médios de SAE de  $0,97 \text{ kg O}_2.\text{kWh}^{-1}$ . Também Rakocy (1989) encontrou valores médios de eficiência padrão dos sopradores entre  $1,0$  e  $1,6 \text{ kg O}_2.\text{kWh}^{-1}$ . Hauser et al. (2005) mencionam que a força das borbulhas formadas pelos difusores do modelo soprador deve ser a suficiente para gerar uma turbulência adequada para melhorar a transferência de oxigênio atmosférico. A turbulência provoca renovação da área específica de contato, acelerando a recuperação da concentração de oxigênio na massa de água. Além disso, Popel e Wagner (1991) afirmam que diminuindo o tamanho das bolhas formadas, aumenta-se a área específica, pois cresce o número de bolhas para ocupar o mesmo volume de água. Assim, poderia se pensar que quanto menor os diâmetros das borbulhas, mais efetivas seriam, porém, se forem muito pequenas, estas diminuem a turbulência, limitando a área de contato. O fato de ter que adquirir difusores mais eficientes e, às vezes mais custosos, fazem com que produtores desafiem esta característica do tamanho das bolhas testando com canos de PVC furados ou difusores não tão específicos como relatado por Barrut et al. (2012). Bolhas muito grandes ascendem para a superfície mais rápido fazendo com que o tempo de contato seja menor, diminuindo assim a transferência de oxigênio para a fase líquida. Motarjemi e Jameson (1978), encontraram que a faixa ideal para transferência de oxigênio na interfase gás-líquido encontra-se entre  $2$  e  $3 \text{ mm}$ . As mangueiras Aero-Tube™ testadas no presente trabalho, produzem borbulhas de  $3 \text{ mm}$  (informação do fabricante), que estariam dentro do ideal para gerar uma boa oxigenação e aumentar a turbulência.

A profundidade do tanque influencia na difusão das massas de água onde camadas superficiais são oxigenadas mais rapidamente. Quando o diferencial de pressão diminui, se torna mais difícil e lento o ingresso de oxigênio afetando significativamente às camadas mais profundas. Esse efeito cria uma estratificação oxica, que deve ser quebrada pela turbulência gerada pelo modelo de aerador escolhido (Tucker, 2005). A pouca profundidade do tanque ( $1 \text{ metro}$ ) influenciou no baixo valor de SAE obtido nos testes do modelo soprador, devido principalmente a que as borbulhas atingem a superfície mais

rapidamente, transferindo menos oxigênio do que se fossem por mais tempo na coluna de água. Quando se trabalha com o modelo soprador, tem que se considerar que a profundidade é essencial para obter uma maior eficiência de trabalho deste sistema. Tucker (2005) cita valores de SAE de  $9 \text{ kg O}_2.\text{kWh}^{-1}$  em tanques de 3 a 5 metros de profundidade em contraste com os valores obtidos nesta pesquisa a menor profundidade.

### **4.3. Avaliação da eficiência padrão do aerador selecionado em duas condições diferentes de cultivo.**

Os resultados mostraram que os valores de SAE nos dois tipos de água em baixas salinidades diminuíram com respeito aos obtidos na salinidade de  $32 \text{ g.L}^{-1}$ . Porém, manteve-se a superioridade do modelo chafariz em relação ao modelo soprador em ambas condições. O SAE do chafariz se manteve maior ( $p < 0,05$ ) do que o soprador, tanto nos testes com água clara como aqueles na água com turbidez elevada e alta quantidade de material particulado em suspensão.

Fast et al. (1999) e Vinatea e Carvalho (2007) demonstram que conforme aumenta a salinidade, o SAE dos mesmos modelos de aeradores testados também aumenta. Ruttanagosrigit et al. (1991), comprovam que em salinidades mais baixas, se torna mais dificultoso a transferência de oxigênio para os aeradores.

Wagner e Popel (1998) e Brown (2003) confirmam que a profundidade é um fator determinante para que o modelo soprador atinja os melhores SAE. Nesta pesquisa ao se tratar de tanques rasos, a transferência de oxigênio pode ter sido influenciada pela ineficiência na formação e liberação das borbulhas produzidas. Comparando os resultados com os da primeira parte, onde o tanque teste foi mais profundo (1 metro contra 0,67 metros), obteve-se um eficiência padrão 30% menor, embora utilizou-se a mesma proporção de metros de mangueira difusora por área de fundo do tanque. Outro fator para a diminuição da eficiência do modelo soprador pode estar na diferença de densidades entre a água clara e a água com bioflocos já que a uma maior densidade da água, diminui-se a capacidade de transferência de oxigênio dos aeradores (Boyd e Daniels, 1989).

A eficiência na transferência de oxigênio em ambos aeradores, não foi afetada pela presença de material em suspensão. O SAE de ambos modelos diminuiu com respeito ao obtido em águas com salinidades maiores porém não mudou ( $p > 0,05$ ) quando testados na mesma salinidade ( $4\text{g.L}^{-1}$ ) em água claras e em águas com bioflocos. Isto sugere que a eficiência de ambos modelos não foi afetada pela mudança ocasionada de algumas propriedades físicas da água tais como

viscosidade, densidade, tensão superficial, e incluso atividade microbiana e que não dificultaram a formação de borbulhas ou diminuíram a turbulência necessária para a recuperação das concentrações de OD. Contrariamente, Leu et al. (1998), concluíram que a velocidade de transferência de oxigênio diminui conforme aumenta o uso de surfactantes e os sólidos suspensos totais.

Segundo Avnimelech (2015) o sistema de bioflocos em elevadas concentrações de sólidos suspensos totais possui uma elevada quantidade de microrganismos que interferem no perfil do oxigênio, tanto pela respiração como pelas reações químicas para a degradação de matéria orgânica (Browdy et al., 2001; Timmons e Ebeling, 2010; Vinatea et al., 2010; Wasielesky et al., 2006). Assim Boyd (1989) e Lawson (2002) recomendam que, para se evitar a influência destes microrganismos, os testes de eficiência devem ser realizados em água limpa, com baixo teor de sólidos e altos valores de transparência. Porém, quando os aparelhos testados são instalados nos tanques de cultivo, estes devem suprir o balanço de oxigênio (produção x consumo) da biota presente na unidade de produção.

Desta maneira, se comprova que os valores de SAE obtidos em testes em água clara não podem ser tomados como referência para todos os modelos de aeradores mecânicos em diferentes ambientes de cultivo. Rakocy (1989) esclarece que o SAE em água clara apresenta-se pelo menos 25% maior do que em água contendo características da produção (temperaturas, organismos e matéria orgânica própria do cultivo). Esta afirmação também é válida mesmo em sistemas superintensivos de recirculação com mínima renovação de água. Estes sistemas, que utilizam água com pouca concentração de sólidos em suspensão e elevada transparência, possuem um elevado consumo de oxigênio pelos organismos cultivados e bactérias quimoautotróficas (Timmons e Ebeling, 2010).

## **5. Conclusões**

O modelo chafariz é o modelo que apresenta o maior SAE entre os quatro modelos testados em águas claras com elevada salinidade.

Ao comparar o modelo chafariz com o modelo soprador em águas com menores salinidades, o modelo chafariz foi o aerador mais eficiente em termos de SAE tanto em águas claras como em águas com bioflocos.

## **Agradecimentos**

O autor agradece ao CNPq pela bolsa de doutorado outorgada pelo projeto no edital nº25.2010, chamada Aquicultura, assim como também à CAPES pela bolsa de produtividade do professor Vinatea. Também fica a gratidão ao pessoal do LCM-UFSC, à empresa Bernauer Aquicultura pelo empréstimo dos aeradores e à Aquicultura Nilótica pelo uso das instalações.

### **Referencias bibliográficas**

- Avnimelech, Y., 2012. Biofloc Technology – A Pratical Guide Book. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, United States. 2. Ed.
- Avnimelech, Y., Mozes, N., Diab, S., Kochba, M., 1995. Rates of organic carbon and nitrogen degradation in intensive fish ponds. *Aquaculture* 134, 211-216.
- Barrut, B., Blanchetonb, J.P., Champagnec, J.Y., Grasmick, A., 2012. Mass transfer efficiency of a vacuum airlift—Application to water recycling in aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 46, 18-26.
- Berthelson, C., Cathcart, T., Pote, J., 1996. In situ measurement of sediment oxygen demand in catfish ponds. *Aquacultural Engineering* 15, 261-271.
- Boyd, C.E., Clay, J.W., 2002. Evaluation of Belize Aquaculture, Ltd: A Superintensive Shrimp Aquaculture System. Report prepared under the World Bank, NACA, WWF and FAO Consortium Program on Shrimp Farming and the Environment. 17pp.
- Boyd, C., 1998. Pond water aeration systems. *Aquacultural Engineering*, 18, 9-40.
- Boyd, C. E.; Moore, J. 1993. Factors affecting the performance of diffused-air aeration systems for aquaculture. *Journal of Applied Aquaculture*, 2, 1-12.
- Boyd, C., 1989. Water Quality Management and Aeration in Shrimp Farming. Fisheries and Allied Aquacultures Departmental Series # 2. Auburn University. 83 pp.
- Boyd, C., Ahmad, T., 1987. Evaluation of Aerators for Channel Catfish Farming. Alabama Agricultural Experiment Station Auburn University, Bulletin 584, 52pp.

- Boyd, C., Daniels, H., 1987. Performance of surface aerators in saline waters. *Prog. Fish Cult.*,49, 306–308.
- Boyd, C., Martinson, D., 1984. Evaluation of propeller-aspirator-pump aerators. *Aquaculture*, 36, 283-292.
- Boyd, C., Watten, B., 1989. Aeration systems in aquaculture. *Rev. Aquat. Sci.*, 1, 425-472.
- Browdy, C., Bratvold, D., Stokes, A., Mcintosh, R., 2001. Perspectives on the application of closed shrimp culture systems. In: C.L. Browdy and D.E. Jory, (Eds.) *The New Wave, Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Culture, Aquaculture The World Aquaculture Society*, 20–34.
- Brown, R.T., 2003. Evaluation of Aeration Technology for the Stockton Deep Water Ship Channel. In: Jones and Stokes (Eds.) *CALFED Bay-Delta Program*. Sacramento, CA. January, 418 pp.
- Burford, M.A., Thompson, P.J., Mcintosh, R.P., Bauman, R.H., Pearson, D.C., 2004. The contribution of flocculated material to shrimp nutrition in a high-intensity, zero-exchange system zero-exchange shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture*, 232, 525-537.
- Cancino, B., 2004. a Design of high efficiency surface aerators: Part 2. Rating of surface aerator rotors *Aquacultural Engineering*, 31, 99–115.
- Cancino, B., 2004.b Design of high efficiency surface aerators: Part 3. Dimensional analysis of rotor performance. *Aquacultural Engineering*, 31, 117–121.
- Chang, W., Ouyang, H., 1988. Dynamics of dissolved oxygen and vertical circulation in fish ponds. *Aquaculture*, 74, 263-276.
- Cohen, J. M., Samocha, T.M., Fox, J.F., Gandy, R.L., Lawrence, A.L., 2005. Characterization of water quality factors during intensive raceway production of juvenile *Litopenaeus vannamei* using limited discharge and biosecure management tools. *Aquacultural Engineering*, 32, 425-442.
- Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P., Verstraete, W., 2012. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*, 351-356.

- Delgado, P., Avnimelech, Y., Mcneil, R., Bratvold, D., Browdy, C., Sandifer, P., 2003. Physical, chemical and biological characteristics of radially aerated shrimp ponds. *Aquaculture*, 217, 235-248.
- FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2014. Rome: 2014, 223pp
- Fast, A., Tan, E.C., Stevens, D.F., Olson, J.C., Qin, J., Barclay, D.K., 1999. Paddlewheel aerator oxygen transfer efficiencies at three salinities. *Aquacultural Engineering*, 19, 99–103.
- Fast, A., Boyd, C., 1992. Water circulation, aeration and other management practices. In: *Marine Shrimp Culture: Principles and Practices*. Arlo Fast y James Lester (Eds.). Elsevier Science Publishers, Amsterdam. 457-495.
- Hargreaves, J.A., 2013. *Biofloc Production Systems for Aquaculture*. SRAC Publication No. 4503, 12pp.
- Hauser, M.J.B, Oberender, J., Richter, S., Bartels, K., Muller, S.C., 2005. Interfacial turbulence enhances oxygen transport into shallow liquid layers. *Physica D*, 205, 170–180.
- Hopkins, J., Stokes, A., Browdy, C., Sandifer, P., 1992. The relationship between feeding rate, paddlewheel aeration rate and expected dawn dissolved oxygen in intensive shrimp ponds. *Aquacultural Engineering*, 10, 281– 290.
- Kepenyes, J., Váradi, L., 1984. Aeration and oxygenation in aquaculture. In: *Inland Aquaculture Engineering. Aquaculture Development and Coordination Programme, UNDP, FAO, UDCP.REP.84.21*, 473-50.
- Krummenauer, D., Samocho, T., Poersch, L., Lara, G., Wasielesky, W., 2014. The Reuse of Water on the Culture of Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in BFT System. *Journal of the World Aquaculture Society*, 45, 14-.
- Kumar, A., Moulick, S., Mal, B.C., 2010. Performance evaluation of propeller-aspirator-pump aerator. *Aquacultural Engineering*, 42, 70–74.
- Kumar, A., Moulick, S., Mal, B.C., 2013. Selection of aerators for intensive aquacultural pond. *Aquacultural Engineering*, 56, 71-78.

- Lawson, T.B., 2002. Fundamentals of Aquacultural Engineering. Springer ed. 355 pp
- Lawson, T.B., Merry, G.E., 1993. Procedures for evaluating low power surface aerators under field conditions. Techniques for modern aquaculture. In Wang, J.K (Ed). Proc. of an Aqua. Eng. Conf., ASAE, Mi, USA, 511 pp.
- Leu, H.G., Lin, S.H., Shyu, C.C., Lin, C.M. .Effects of surfactants and suspended solids on Oxygen transfer under various operating conditions. Enviroment technology, 19, 299-306.
- Liang, W., Luo, G., Tan, H., Ma, N., Zhang, N., Li.L., 2014. Efficiency of biofloc technology in suspended growth reactors treating aquacultural solid under intermittent aeration. Aquacultural Engineering, 59, 41-47.
- Mathur, A., Rafiuddin, A., 2005. Oxygen injection systems provide emergency aeration, D.O. Management. Global Aquaculture Advocate, June, 64-65.
- Mcintosh, R., 2001. Changing Paradigms in Shrimp Farming. V: Establishment of heterotrophic bacterial commuunities. Global Aquaculture Alliance, February,
- Mcneil R., 2000. Zero exchange, aerobic, heterotrophic systems: key considerations. Advocate, June, 72-76.
- Moriarty, D.J.W., 1997. The role of microorganisms in aquaculture ponds. Aquaculture, 151, 333-349.
- Mishra, J.K., Samocha, T.M., Patnaik, S., Speed, M., Gandy, R.L., Ali, M.L, 2008. Performance of an intensive nursery system for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, under limited discharge condition. Aquacultural Engineering, 38, 2-15.
- Motarjemi, M, Jameson, G.J., 1978. Chemical engineering science, 33, 1415 pp.
- Netto, J., Vinatea, L., 2005. Análise da eficiência de duas disposições de aeradores, tipo paddlewheel, em viveiros de cultivo de camarão *Litopenaeus vannamei*. B. Inst. Pesca, 31, 163-169.
- Parker, N.C., Suttle M.A., 1987. Design of Airlift Pumps for Water Circulation and Aeration in Aquaculture. Aquacultural Engineering, 6, 97-110.

- Peterson, E., Wadhwa, L., Harris, J., 2001. Arrangement of aerators in an intensive shrimp grow out pond having a rectangular shape. *Aquacultural Engineering*, 25, 51-65.
- Peterson, E., Walker, M., 2002. Effect of speed on Taiwanese paddlewheel aeration. *Aquacultural Engineering*, 26, 129-147.
- Pöpel, H. J., Wagner M., 1991. Prediction of oxygen transfer from simple measurements of bubble characteristics, *Wat. Sci. Tech.*, 23, 1941-1950.
- Rakocy, J.E., 1989. Pond Tilapia Production. SRAC Setember.
- Ray, A. J., Lewis, B. L., Browdy, C.L., Leffler, J.W., 2010. Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based feed in minimal-exchange, superintensive culture systems. *Aquaculture*, 299, 89–98.
- Rogers, G.L., 1989. Aeration and circulation for effective aquaculture pond management. *Aquacultural Engineering*, 8, 349-355.
- Rogers, G.L., 2009. Aeration theory and its application to shrimp culture. In: *The Rising Tide, Proceedings of the special session on sustainable shrimp farming, Aquaculture 2009*. The World Aquaculture Society, Baton Rouge Louisiana, USA. 211-219.
- Ruttanagosrigit, W., Musig, Y., Boyd, C.E., Sukchareon L., 1991. Effect of salinity on oxygen transfer by propeller-aspirator-pump and paddle wheel aerators used in shrimp farming. *Aquacultural Engineering*, 10, 121-130.
- Samocha, T.M., Lawrence, A.L., Collins, C.A., Castille, F.L., Bray, W.A., Davies, C.J., Lee, P.G., Wood, G.F., 2004. Production of the Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in High-Density Greenhouse-Enclosed Raceways Using Low Salinity Groundwater, *Journal of Applied Aquaculture*, 15:3-4, 1-19.
- Shiau, C.C., 1995. Oxygen transfer in bubble and bubbleless Aeration systems. PhD. Thesis. University of Wollongong. Department of Civil and Mining Engineering.
- Schryver, P.D., Crab, R., Defoirdt, T., Boon, N., Verstraete, W., 2008. The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture. *Aquaculture*, 277, 125–137.

- Schweitzer, R., Arantes, R., Costódio, P.F.S., do Espírito Santo, C.M., Arana, L.V., Seiffert, W.Q., Andreatta, E.R., 2013. Effect of different biofloc levels on microbial activity, water quality and performance of *Litopenaeus vannamei* in a tank system operated with no water exchange. *Aquacultural Engineering* 56, 59-70.
- Sperling, M.V., 1997. Lodos ativados. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 415pp.
- Thakre, S.B., Bhuyar, L.B., Deshmukh, S.J., 2008. Effect of Different Configurations of Mechanical Aerators on Oxygen Transfer and Aeration Efficiency with respect to Power Consumption. *International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering*, 2, 100-108.
- Timmons, M.B., Ebeling, J.M., 2010. Recirculating Aquaculture. NRAC Publication No. 401-2010. Ithaca, NY, 948 pp.
- Tucker, C., 2005. Pond Aeration SRAC Publication No. 3700, 8pp.
- Vinatea, L., 2004. Princípios químicos de qualidade da água em aquicultura, segunda edição revisada e ampliada. 2. ed: Editora da UFSC, Florianópolis, 345 pp.
- Vinatea, L., Carvalho, J., 2007. Influence of water salinity on the SOTR of paddlewheel and propeller-aspirator-pump aerators, its relation to the number of aerators per hectare and electricity costs. *Aquacultural Engineering*, 37, 73-78.
- Vinatea, L., Gálvez, A.O., Venero, J., Leffler, J., Browdy, C., 2009. Oxygen consumption of *Litopenaeus vannamei* juveniles in heterotrophic medium with zero water exchange. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44, 534-538.
- Vinatea, L., Gálvez, A.O., Browdy, C.L., Stokes, A., Venero, J., Haveman, J., Lewis, B.L., Lawson, A., Shuler, A., Leffler, J.W., 2010. 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*, 42, 17-24.
- Wagner, M.R., Pöpel, H.J., 1998. Oxygen transfer and aeration efficiency-influence of diffuser submergence, diffuser density, and blower type. *Water Science and Technology*, 38, 1-6.

Wasiolesky Jr., W., Atwood, H., Stokes, A, Browdy, C.L., 2006. Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 258, 396-403.

### CAPITULO 3.

**Artigo formatado segundo as normas da revista Aquacultural  
Engineering  
Sistemas de aeração na produção de tilápia nilótica *Oreochromis  
niloticus* cultivadas em sistema de bioflocos.**

**Jesus M. PASCO<sup>1</sup>; José W. D. CARVALHO FILHO; Carlos  
Manoel ESPIRITO SANTO<sup>1</sup>, Luis VINATEA<sup>1</sup>.**

<sup>1</sup> Laboratório de Camarões Marinhos (LCM) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Servidão dos Coroas, Barra da Lagoa, Florianópolis, Santa Catarina. Contato: [jesus\\_pasco@ufsc.br](mailto:jesus_pasco@ufsc.br).

## Resumo

Os sistemas de aeração instalados em cultivos superintensivos utilizando a tecnologia de bioflocos precisam suprir a demanda de oxigênio dissolvido por parte de toda a biota presente no tanque assim como manter o material particulado produzido em suspensão contínua. O funcionamento destes equipamentos é contínuo, gerando grande consumo de energia elétrica, o que tem sido o principal motivo pela qual o cultivo superintensivo em bioflocos aumente o custo de produção em comparação com outro tipo de cultivos de menor intensidade. Embora seja comum utilizar o modelo soprador neste tipo de cultivos, a escolha de um sistema de aeração com melhor custo benefício é indispensável para diminuir o custo de produção. O aerador mecânico modelo chafariz é o mais utilizado em sistemas semi-intensivos e intensivos na produção em piscicultura no sul do Brasil, enquanto que o modelo soprador é o mais utilizado em cultivos com sistema de bioflocos. O objetivo desta pesquisa foi comprovar se o aerador modelo chafariz consegue suportar um cultivo superintensivo em bioflocos de tilápia nilótica sem produzir impactos negativos na qualidade e funcionalidade do biofoco nem nos índices de produção. O modelo soprador serviu como controle. Foram utilizados juvenis de tilápia nilótica *Oreochromis niloticus* com peso inicial de 100 gramas e com densidade inicial de 7 kg.m<sup>-2</sup>. Foram medidos os parâmetros de qualidade de água e os índices de produção foram calculados ao final da pesquisa, que teve duração de 56 dias. Os resultados obtidos indicam que o modelo chafariz obteve melhores valores em termos de parâmetros de qualidade de água e índices de produção comparando-o com os resultados obtidos pelo tratamento soprador. A temperatura foi maior no tratamento soprador devido ao menor contato gerado entre o ar atmosférico e a água do tanque, basicamente pela forma de funcionamento de cada modelo. O tratamento chafariz apesar de apresentar temperaturas mais baixas, obteve produtividades de 14,1 kg.m<sup>-2</sup> maiores do que os 13,5 kg.m<sup>-2</sup> obtidos pelo tratamento soprador. Conclui-se que o uso do aerador modelo chafariz não teve influências negativas tanto na formação como na funcionalidade do biofoco além de obter maiores índices de produção.

**Palavras chave:** Aeradores, bioflocos, tilápia, consumo de água.

## 1. Introdução

Entre as espécies produzidas, a tilápia nilótica apresenta a maior aceitação pelos consumidores graças ao ótimo sabor, brancura de carne, pouco conteúdo de gordura e ausência de espinhos intramusculares (Hanson et al., 2010). Unido ao potencial de mercado, esta espécie possui elevada rusticidade o que permite adaptar-se à intensificação dos cultivos, melhorando os índices de produção (Fitzsimmons, 2000; Watanabe et al., 2002). Além destas propriedades, a tilápia também possui alta adaptabilidade a diversos climas o que permite produzi-la em diversas regiões no mundo (Avnimelech, 2007)

O principal fator que determina o sucesso da produção em cultivos intensivos e superintensivos é a qualidade de água (Avnimelech, 2007; Boyd e Clay, 2002; Vinatea, 2004). A concentração de oxigênio dissolvido na água é o principal parâmetro limitante para a manutenção da qualidade de água nos tanques de cultivo Boyd (1998) e Vinatea (2004). A concentração de oxigênio dissolvido é afetado sobretudo em cultivos de maior intensificação devido ao elevado teor de matéria orgânica produzida e às altas densidades usadas nestes tipo de cultivos. Os sistemas intensivos geram processos biológicos, físicos e bioquímicos dentro dos tanques de produção que derivam na deterioração da qualidade de água devido principalmente, ao acúmulo de nutrientes fruto da lixiviação da ração, da decomposição de organismos mortos, do acúmulo de sólidos e das substâncias de excreção dos próprios organismos cultivados (Schryver et al., 2008).

Para manter ótimos níveis de oxigênio dissolvido na água de cultivo se utilizam os aeradores mecânicos, que são aparelhos que promovem a difusão do oxigênio da fase gasosa (atmosfera) para a fase líquida (água dos tanques de cultivos). Além da utilização destes aeradores, o manejo do tipo de sistema a ser empregado deve visar o ótimo desempenho zootécnico dos animais cultivados. Nas últimas décadas, duas estratégias tem se adotado para intensificar a aquicultura (Schryver et al., 2008).

A primeira estratégia é a de aplicar altas taxas de renovação diária da água nas unidades de produção como por exemplo: os cultivos de várias espécies aquícolas em tanques rede e os cultivos contínuos de trutas. A segunda estratégia é a de manejar o metabolismo microbiano para desta forma permitir que os compostos daninhos para os animais cultivados sejam bio-transformados dentro do próprio tanque de produção. Como exemplo para estas tendências podem-se citar os sistemas de recirculação em aquicultura – RAS (do inglês *Recirculating*

*Aquaculture System*) (Timmons e Ebeling, 2010) e os sistemas de bioflocos (Avnimelech, 1999). Em ambas estratégias o uso de aeração mecânica é necessária em algum momento do ciclo de produção para manter os níveis de oxigênio dissolvido aceitáveis para as espécies produzidas.

Em termos da tecnologia de bioflocos estes podem definir-se como aglomerados de ração, fitoplâncton, zooplâncton e de bactérias que se formam pela elevada carga orgânica e pelas baixas taxas de renovação durante os cultivos superintensivos (Crab, et al., 2007; Emerenciano et al., 2012). Nestes aglomerados irão acontecer reações bioquímicas, produto do metabolismo da comunidade bacteriana aeróbica, que incluem a transformação dos compostos nitrogenados de excreção sem prejudicar ou diminuir o seu bom desempenho zootécnico (Avnimelech, 1999; Avnimelech, 2006; Azim e Little, 2008; Browdy et al., 2001; Hargreaves, 2013; Krummenauer et al., 2014; Samocha et al., 2007; Schryver et al., 2008). Além da manutenção da qualidade de água, também é possível obter os benefícios diretos através produto do aporte proteico, e de outros nutrientes presentes nos bioflocos que podem ser ingeridos pelos animais cultivados melhorando assim, a sua nutrição e a sua conversão alimentar (Avnimelech e Kochba, 2009; Burford et al., 2004; Crab et al., 2012).

Nesta tecnologia e necessidade de utilização de aeração mecânica é indispensável devido a que para uma correta formação, colonização e funcionalidade do biofloco, a água de cultivo deve encontrar-se em movimento constante, impedindo a sedimentação do material particulado, além de com aceitáveis níveis de oxigênio dissolvido ao longo do cultivo (Boyd, 1998). Desta maneira, em cultivos utilizando a tecnologia de bioflocos, três tipos de necessidades devem ser supridas pelos aeradores mecânicos escolhidos (Avnimelech, 1999; Boyd, 2002; Browdy et al., 2001; Crab et al., 2012; Hargreaves, 2013; McIntosh, 2001; Ray et al., 2010; Vinatea, 2004). Primeiro, deve se suprir a necessidade de oxigênio para a respiração da espécie cultivada. Segundo, os microrganismos aglomerados em bioflocos, necessitam do oxigênio dissolvido tanto para a respiração como para as reações de nitrificação que colaboram com a metabolização dos compostos nitrogenados tóxicos (Timmons e Ebeling, 2010). E terceiro, devem manter os flocos formados em suspensão constante, para evitar a deposição ou acúmulo de sólidos ou lodo onde as reações anaeróbicas produzem metabolitos tóxicos que evitam o bom desempenho zootécnico dos organismos cultivados (Boyd e Clay, 2002).

Os aeradores mecânicos devem, portanto, conseguir suprir estas necessidades durante todo o cultivo. Um dos sistemas comumente utilizados em empreendimentos que trabalham com esta tecnologia de cultivo é o modelo soprador de turbina utilizando difusores como mangueiras microperfuradas, canos de PVC furados, pedras porosas ou discos difusores. Justamente a versatilidade no arranjo estratégico destes difusores permite manter em suspensão o material particulado resultante deste tipo de sistema de produção. Este modelo de aerador é principalmente utilizado em laboratórios de larvicultura e unidades que produzem peixes e camarões em altas densidades em pequenas unidades ou estufas, seja em tanques circulares o com formatos retangulares ou “raceways” (Browdy et al., 2001; Krummenauer et al., 2011; Samocha et al., 2004; Vinatea et al., 2010; Wasielesky et al., 2006). Este sistema de aeração permite também aproveitar a potência de um mesmo aparelho em várias unidades produtivas, o que é uma vantagem econômica no que diz respeito ao custo de investimento inicial, mas uma desvantagem considerando a fragilidade do sistema de aeração ao contar só com um ou dois aparelhos para toda uma bateria de tanques ou para o empreendimento inteiro (Boyd, 1998).

Embora o soprador de turbina seja o modelo mais utilizado, não é o sistema de aeração mais eficiente em termos energéticos e de transferência de oxigênio com respeito aos outros sistemas disponíveis no mercado (Boyd e Ahmad, 1987; Boyd e Moore, 1993; Rakocy, 2002; Tucker, 2005). No Brasil, os aeradores modelo chafariz ou bomba vertical são os modelos de aeradores mais utilizados em tanques de produção semi-intensiva e intensiva de tilápia (EMATER, 2004; EPAGRI, 2014) Este modelo de aerador possui propriedades de funcionamento e de design que criam certa potencialidade para se adaptar à tecnologia de bioflocos (Rakocy, 2008). Tucker (2005) considera que os aeradores do modelo chafariz conseguem boas taxas de transferência de oxigênio dentro dos tanques de cultivo, porém sinaliza que estes são utilizados em tanques menores e pouco profundos. Além disso, poucas pesquisas foram desenvolvidas na questão de adaptar os aeradores mecânicos já consolidados e utilizados em cultivos convencionais para utilizá-los em cultivos superintensivos em bioflocos.

Os usos de diferentes modelos e sistemas de aeração, o melhor posicionamento, o cálculo da potência adequada e a busca pelo melhor custo-benefício possível já foram estudados nos sistemas de produção convencionais (Boyd, 1989; Boyd, 1998; Boyd e Ahmad, 1987; Boyd e Watten, 1989; Hopkins et al., 1992; Kepenyés e Váradí, 1984; Martínez et al., 1997; Peterson et al., 2001; Peterson e Walker, 2002; Vinatea e

Carvalho, 2007). Estes estudos colaboraram com o aumento das produtividades e a redução do custo de produção e instalação nos projetos de aquicultura. Por tanto, em sistemas de produção que utilizem a tecnologia dos bioflocos devem ser testados modelos de aeração alternativos aos sopradores de turbina e que possam aumentar a rentabilidade deste sistema de produção. O objetivo desta pesquisa foi o de verificar se o aerador modelo chafariz consegue suportar um cultivo superintensivo em bioflocos de tilápia nilótica sem produzir impactos negativos nos índices de produção e na qualidade e funcionalidade do biofoco.

## **2. Materiais e Métodos**

Esta pesquisa foi desenvolvida no laboratório de produção de tilápias da empresa “Aquicultura Nilótica” localizada em Timbó – SC no sul do Brasil. Os tanques de cultivo encontravam-se dentro de uma estufa agrícola retangular de 30m x 34m totalizando 1020 m<sup>2</sup> de área total. Esta estufa estava coberta por plástico transparente de 100 micrometros de espessura e a parte superior incluía uma cobertura de aluminet de 85% de reflexão da intensidade luminosa.

### **2.1. Obtenção de material biológico**

Inicialmente, 5.000 juvenis revertidos (peso médio  $40 \pm 1,9$  g) de tilápia nilótica *Oreochromis niloticus* foram cultivados em meio contendo bioflocos, até atingirem o peso médio individual de 100 gramas. Estes animais foram mantidos num tanque retangular de volume de trabalho de 70,1 m<sup>3</sup> (0,85 x 3 x 27,5 metros). Os animais foram alimentados diariamente com ração extrusada comercial da marca Alisul- Supra (fabricada em São Leopoldo – RS), com 46% de proteína bruta e com 1,7 mm de granulometria, fornecida 4 vezes ao dia (8:00h, 11:30h, 14:00h e 17:30h). A porcentagem de ração diária foi calculada utilizando 6% da biomassa inicial estimada (12 kg.dia<sup>-1</sup>). Semanalmente realizava-se uma biometria de 30 animais para estimar novas biomassas e ajustar a taxa de alimentação até 3% quando fossem atingidos os 100 gramas em peso médio individual. Toda manhã era corrigido a relação C:N e a alcalinidade, colocando melaço em pó e cal hidratada respectivamente conforme Avnimelech (1999) e Ebeling et al. (2006). O tanque pre-experimento foi abastecido com aeração mecânica proveniente de um soprador de 4 HP do setor de bioflocos da Aquicultura Nilótica. Os difusores utilizados foram mangueiras Aero-Tube™. Após 60 dias, quando o peso médio individual atingiu 100

gramas, os peixes foram transferidos às unidades experimentais para iniciar o experimento

## **2.2. Unidades experimentais e delineamento experimental**

### **2.2.1. Unidade experimental**

Foram utilizados seis tanques circulares de concreto usinado, revestidos com lona de polietileno de alta densidade (PEAD) de 1 mm de espessura. O volume efetivo dos tanques foi 10 m<sup>3</sup> (15 m<sup>2</sup> de área x 0,67 m de coluna d'água). Todas as unidades experimentais se encontravam dentro da estufa agrícola.

### **2.2.2. Delineamento experimental**

Foram testados 2 sistemas de aeração. O modelo chafariz como tratamento e o modelo soprador como controle. O experimento foi delineado para que todos os tanques recebam a potência de aeração de 1/3 de HP (0,25 kW). Os aparelhos do modelo chafariz foram colocados no meio dos tanques de acordo com a distribuição radial da água expelida pelo rotor do modelo de aerador. O modelo soprador utilizou mangueiras Aero tube™ como difusores, e estas foram distribuídas em forma de grade no fundo dos tanques para aumentar a turbulência e a suspensão do material particulado. A grade consistiu de 10 barras de 1,5 metros cada uma para manter a proporção de 1m de mangueira para cada metro quadrado de fundo do tanque. A fixação do modelo chafariz foi feito por cordas aproveitando as colunas da estufa, de outro modo a fixação das mangueiras difusoras e as conexões e tubulações acompanhantes do modelo soprador, foram fixadas com lastres e garrafas PET contendo areia para aumentar o peso do lastre, com o intuito de mantê-las fixas no fundo dos tanques de cultivo. Para o modelo soprador foi necessário construir uma pequena cobertura externa à estufa para proteção de chuvas e excesso de poeiras que entupissem o filtro de captação do ar atmosférico, item complementar ao motor destes modelos de aeradores.

Para testar o impacto do modelo chafariz no biofoco, realizou-se um cultivo de pré-engorda de tilápia nilótica, desde os 100 gramas até o momento de atingir os 300 gramas de peso vivo individual.

### **2.2.3. Preparação da água de povoamento**

Antes do início do experimento cada um dos 6 tanques receberam 5000 litros de água doce (50% da capacidade total). Nesta pesquisa foi utilizada água de outro tanque retangular que continha biofocos

maduros procedentes do manejo diário da Aquacultura Nilótica. Desta maneira, cada um dos 6 tanques recebeu um inoculo de 45% de volume de água com bioflocos maduros (Krummenauer et al., 2014). A análise inicial do inoculo apresentou as seguintes características: 4 g.L<sup>-1</sup> de salinidade; 300 mg.L<sup>-1</sup> de sólidos suspensos totais (SST); 0,5 mg.L<sup>-1</sup> de amônia (N-NH<sub>3</sub>); 0,25 mg.L<sup>-1</sup> de nitrito (N-NO<sub>2</sub>) e com alcalinidade de 120 mg.L<sup>-1</sup> de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>). Para completar o 100% do volume total do tanque foi bombeado 500 litros de água verde de um tanque de cultivo em viveiros escavados da empresa com o intuito de fornecer uma mistura de microalgas para a proliferação rápida de uma biota acompanhante (Emerenciano et al., 2012). Com o volume completo, procedeu-se o correção da alcalinidade e da salinidade do tanque para deixá-lo com as mesmas características do tanque origem, para este propósito foi agregado sal comum sem iodo e cal hidratada (Ca(OH)<sub>2</sub>) (Ebeling et al., 2006).

#### **2.2.4. Povoamento das unidades experimentais:**

Cada unidade experimental recebeu 700 animais de 100 gramas cada que significaram em densidades iniciais de 70 peixes/m<sup>3</sup>; 4,67 kg/m<sup>2</sup> ou 7 kg/m<sup>3</sup>. Antes da transferência foram acionados os aparelhos dos modelos de aeração cada tratamento. Os aparelhos de ambos os modelos trabalharam as 24 horas dos 56 dias que durou o cultivo.

#### **2.3. Parâmetros físicos e químicos de qualidade da água**

Diariamente às 08:00h e às 17:00h foram medidos o oxigênio dissolvido, a saturação de oxigênio na água e a temperatura com um oxímetro marca YSI® modelo 550A. O pH foi mesurado diariamente com o pHmetro marca Ecosense® pH10A. A salinidade foi medida 3 vezes por semana com refratômetro marca Instrutherm® 100AT. O nível do tanque e a transparência foram medidos ao meio dia, todos os dias, do início ao final do cultivo.

Duas vezes por semana, desde o início até o fim do experimento, foram coletadas uma amostra por cada unidade experimental às 7:00 da manhã antes da primeira alimentação. Desta maneira, a amônia total (NAT) e o nitrito (NO<sub>2</sub>-N) foram medidos duas vezes por semana, seguindo a metodologia descrita por Strickland e Parson (1972). O nitrato (NO<sub>3</sub>-N) foi analisado duas vezes por semana com kit de análise (HACH®, método 8039 de redução do nitrato com cádmio). Para leitura das absorbâncias das amostras, foi utilizado espectrofotômetro Lamotte® modelo Smart Spectro. A alcalinidade foi medida duas vezes por semana por titulação (APHA, 2005 – 2320 B).

Diariamente, antes da primeira alimentação, foram coletados 1 litro de água no cone Imhoff para leitura direta dos sólidos sedimentáveis (SS) conforme a metodologia da APHA (1998), adaptada por Avnimelech (2012).

Os sólidos suspensos totais (SST), os sólidos suspensos voláteis (SSV) e os sólidos suspensos fixos (SSF) foram medidos pelo método gravimétrico duas vezes por semana seguindo a metodologia da APHA (2005 – 2540D e 2005- 2540E respectivamente). Para isto foi utilizado microfiltro de fibra de vidro com porosidade de 0,6  $\mu\text{m}$  (GF- 6 - Macherey- Nagel®). Também foi determinado o índice volumétrico de lodos (IVL), calculado conforme equação de Gray (1990), que relaciona os valores dos SS com a concentração de SST em um litro de água.

Duas vezes por semana, quando coletados as amostras para SST, foi coletado uma amostra do volume sedimentado no cone Imhoff para ser analisado ao microscópio ótico marca Bioval® L2000A utilizando os aumentos de 100x e 400x. As amostras foram montadas em placa de Kline com 9 escavações.

## **2.4. Manejo do experimento**

### **2.4.1. Biometria e Alimentação**

Uma vez por semana foram capturados 30 peixes de cada tanque para acompanhar o desempenho do cultivo e para ajustar a ração estimando a biomassa total presente no tanque. Durante o procedimento, os peixes capturados eram examinados visualmente procurando ferimentos ou algum indício de problema sanitário nos animais e depois devolvidos novamente ao tanque de procedência.

No primeiro período da pesquisa que compreendeu entre os 100 a 200 gramas de peso individual foi fornecido 5% da biomassa total presente em cada tanque. Para este período foi utilizada ração extrusada da marca Supra-Alisul® contendo 42% de proteína bruta (PB) com um diâmetro de pellet de 2,4 mm. Após os 200 gramas, foi oferecida ração com 32% PB e de 5 mm de diâmetro de pellet numa taxa de alimentação de 3% da biomassa até o final do experimento. Estas porcentagens aplicadas foram baseadas nas recomendações do fabricante da ração.

A alimentação diária foi dividida em quatro vezes por dia, duas vezes de manhã (8:00 e 11:00) e duas vezes a tarde (14:00 e 17:00).

### **2.4.2. Correção de Amônia e Alcalinidade**

Foi planejado manter ao longo do cultivo, a concentração de amônia abaixo de 1,0  $\text{mg.L}^{-1}$  e a concentração da alcalinidade em

valores superiores a 100 mg.L<sup>-1</sup>. Nos primeiros dias do experimento foi utilizado melaço em pó duas vezes por dia para neutralização da amônia produzida pela ração fornecida, usando 20 g de carboidratos por grama de nitrogênio amoniacal total (Avnimelech, 1999). Sendo a alcalinidade inicial de 120 mg.L<sup>-1</sup>, esperou-se até obter os primeiros resultados de laboratório para iniciar a correção da alcalinidade, utilizando uma quantidade equivalente ao 12% do total diário de ração fornecida por tanque conforme Ebeling et al. (2006). A correção de alcalinidade foi feita inicialmente com bicarbonato de sódio (NaHCO<sub>3</sub>) assumindo 100% de pureza e a partir da terceira semana com cal hidratada (Ca(OH)<sub>2</sub>) assumindo 80% de pureza.

#### **2.4.3. Manejo dos sólidos em excesso**

Foi planejado que quando se atingisse o valor de 1000 mg.L<sup>-1</sup> de SST (Avnimelech, 2009), iniciaria o uso de tanques de sedimentação para retirada de sólidos. Foram utilizados sedimentadores cilíndricos de 0,5 m de diâmetro com 0,55 m de altura totalizando um volume útil de 100 litros, que representavam o 1% do volume total do tanque (Ray et al., 2010). Os sedimentadores foram utilizados com intervalos de um dia por tanque, o qual significava uma frequência de 3,5 vezes por semana para cada unidade experimental.

#### **2.4.4. Gasto de água do cultivo**

A quantidade total de água foi calculada tomando em consideração o volume inicial para enchimento dos tanques, o volume repostado por cada vez que foram descartados os sedimentadores e o volume repostado para compensar a taxa de evaporação que foi assumido como 0,5% de volume total por dia. O volume total de água utilizado ao final do experimento serviu para fazer um comparativo da quantidade de litros de água que foram necessários para produzir 1 kg de peixe em bioflocos comparando ambos sistemas de aeração.

### **2.5. Atividade microbiana**

Uma vez por semana foi monitorada a atividade microbiana na água dos tanques de acordo com as metodologias propostas por Bratvold e Browdy (1998) e Vinatea et al. (2010). A produção primária bruta (PPB), produção líquida do ecossistema (PLE) e a respiração da coluna de água (R) foram medidas pelo método das garrafas clara e escura, utilizando as equações do Quadro 1 de acordo com Strickland (1960), e os cálculos segundo Dodds e Cole (2007) e Staehr et al. (2011), a seguir:

Quadro 1. Equações utilizadas para cálculo da Produtividade Primária Bruta (PPB), da Produtividade Líquida do Ecossistema (PLE) e da Respiração (R) da água após a medição do oxigênio dissolvido (OD) segundo método das garrafas clara e escura num cultivo superintensivo de tilápias em bioflocos.

Parâmetro	Equação utilizada	Unidades
PPB	$\frac{\text{OD final (GC)} - \text{OD final (GE)}}{\text{Tempo}}$	mg O <sub>2</sub> .(L.h) <sup>-1</sup>
PLE	$\frac{\text{OD final (GC)} - \text{OD inicial (GC)}}{\text{Tempo}}$	mg O <sub>2</sub> .(L.h) <sup>-1</sup>
R	$\frac{\text{OD inicial da (GE)} - \text{OD final (GC)}}{\text{Tempo}}$	mg O <sub>2</sub> .(L.h) <sup>-1</sup>

Onde:

GC = garrafa clara

GE = garrafa escura

A água de cada tanque de produção foi incubada em garrafas de vidro de 300 mL, transparentes para verificar as produções primárias, e escuras para as destinadas a medir a respiração. As garrafas claras e escuras foram incubadas cinco centímetros por debaixo do nível da água dos mesmos tanques de onde foram retiradas as amostras. As concentrações de oxigênio dissolvido tanto a inicial como a final foram verificadas utilizando o oxímetro YSI modelo 550<sup>a</sup>.

## 2.6. Índices de produção

Quando atingido o peso final projetado, o experimento foi finalizado e todos os tanques foram despescados, fazendo a pesagem e contagem total dos peixes presentes em cada tanque, a fim de obter a sobrevivência e biomassa do cultivo. Com estes dados, calcularam-se os índices de produção utilizando as formulas apresentadas no Quadro 2.

## 2.7. Análises estatísticas

A ANOVA bi-fatorial foi aplicada para todos os dados de qualidade de água. O oxigênio dissolvido, saturação de oxigênio na água, temperatura, pH e os sólidos sedimentáveis (SS) embora fossem anotados diariamente foram analisados segundo as médias semanais para todos estes parâmetros. Os sólidos suspensos totais, alcalinidade, amônia, nitrito, nitrato medidos duas vezes por semana foram analisados também como médias semanais. Igualmente, os dados de produtividade primária bruta, produtividade líquida do ecossistema e respiração foram considerados como medias semanais.

Para as análises utilizando ANOVA bi-fatorial foram considerados dois fatores, o modelo de aerador (fator tratamento) e a semana de cultivo (fator tempo). Para ANOVA bi-fatorial foi utilizado um nível de significância de 5%. Diferenças significativas entre tratamentos e entre semanas de cultivo foram analisadas pelo teste Tukey (Zar, 2010) ao nível de significância de 5%. Para as análises estatísticas foi empregado o pacote estatístico STATISICA versão 10.

A normalidade dos dados foi testada usando os testes Shapiro-Wilk (Zar 2010), e quando necessário para obter variações homogêneas, os dados foram transformados para  $\log(x+1)$  e para raiz quadrada ( $x^{(0,5)}$ ), antes da análise estatística. A homocedasticidade foi testada usando os testes de Bartlett.

Para os índices de produção foi aplicado o teste T para comparação de médias ao nível de significância de 5%. Os dados de sobrevivência foram expressados em porcentagem, mas convertidos em arco seno da raiz quadrada ( $y^{(0,5)}$ ) para tratamento dos dados.

Quadro 2. Equações utilizadas para calcular os índices de produção de tilápia cultivada em bioflocos utilizando dois sistemas de aeração.

Índices de produção	Equação utilizada	Unidades
Biomassa final do tratamento	Peso total despescado (kg)	Kg
Ganho de Peso Diário	$\frac{\text{Peso médio final (g)} - \text{peso médio inicial (g)}}{\text{Dias de cultivo (dias)}}$	g / dia
Produtividade por volume do tanque	$\frac{\text{Biomassa despescada (kg)}}{\text{Volume do tanque (m}^3\text{)}}$	kg/m <sup>3</sup>
Sobrevivência	$\frac{\text{Número final de peixes} \times 100}{\text{Número inicial de peixes}}$	%
Fator de Conversão Alimentar	$\frac{\text{Quantidade total de ração fornecida}}{\text{Biomassa final} - \text{biomassa inicial}}$	kg / kg
Densidade Final por volume do tanque	$\frac{\text{Número total de peixes despescados}}{\text{Volume do tanque (m}^3\text{)}}$	peixes/m <sup>3</sup>

### 3. Resultados

#### 3.1. Oxigênio dissolvido, saturação de oxigênio e temperatura

Os resultados dos parâmetros do oxigênio dissolvido (OD), temperatura da água, saturação de oxigênio tanto de manhã como à tarde, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Oxigênio dissolvido (OD), saturação de oxigênio (SO) e temperatura (T) tanto no período de manhã e tarde, em tanques de cultivo de tilápia *Oreochromis niloticus* produzido em bioflocos utilizando dois modelos diferentes de aeradores mecânicos durante 56 dias em densidades de 70 peixes por m<sup>3</sup>.

Parâmetro	Tratamento		ANOVA		
	Chafariz	Soprador	T	S	T x S
OD manhã (mg.L <sup>-1</sup> )	7,39 ±0,61 <sup>a</sup> (6,0 – 9,74)	6,85 ±0,44 <sup>b</sup> (5,71 – 9,4)	*	*	*
OD tarde (mg.L <sup>-1</sup> )	6,40 ±0,77 <sup>a</sup> (4,4 – 8,93)	6,17 ±0,65 <sup>b</sup> (3,74 – 8,83)	*	*	*
T manhã (°C)	23,09 ±1,41 <sup>b</sup> (19,8 – 29,2)	26,19 ±1,50 <sup>a</sup> (22,6 – 29,4)	*	*	*
T tarde (°C)	25,82 ±1,22 <sup>b</sup> (21,0 – 29,5)	27,22 ±1,42 <sup>a</sup> (22,6 – 29,4)	*	*	*
SO manhã (%)	88,36 ±9,50 <sup>a</sup> (70,7 – 118,7)	86,11 ±8,75 <sup>b</sup> (73,0 – 118,0)	*	*	*
SO tarde (%)	80,85 ±10,30 <sup>a</sup> (53,9 – 113,7)	79,49 ±10,87 <sup>a</sup> (47,5 – 110,4)	NS	*	*

Dados médios ± dp (mínimo e máximo)

<sup>1</sup> ANOVA Bi-Fatorial, T (tratamento), S (semanas), T x S (interação T x S), \* = p < 0,05, NS = não significativo. Médias na mesma linha seguidas de letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey (p < 0,05).

A variação destes parâmetros em médias diárias entre as repetições podem ser observados na Figura 1.

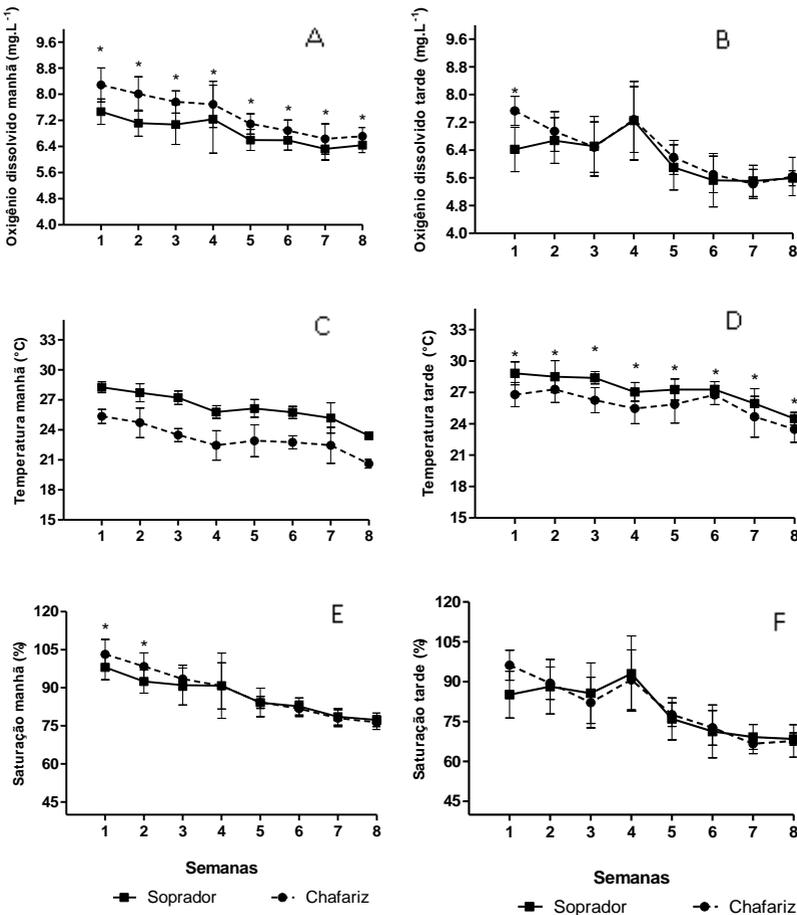


Figura 1. Variação dos parâmetros de qualidade de água: Oxigênio dissolvido (A) manhã e (B) tarde; temperatura (C) manhã e (D) tarde; e saturação de oxigênio (E) manhã e (F) tarde, num cultivo superintensivo de tilápia nilótica *Oreochromis niloticus* em bioflocos utilizando aerador modelo chafariz e aerador modelo soprador.

Da Tabela 1 pode-se destacar que a água dos tanques utilizando o modelo chafariz apresentou maior concentração ( $p < 0,05$ ) de OD que a dos tanques que utilizaram o modelo soprador, em ambos os períodos do

dia. Também destaca-se que a água com o modelo chafariz apresentou menor temperatura do que a que continha o modelo soprador, porém ao ser analisada a porcentagem de saturação de oxigênio, não se encontram diferenças significativas no período da tarde.

### 3.2. pH, Alcalinidade, Compostos nitrogenados e teor de sólidos.

Os resultados das análises de pH, alcalinidade, compostos nitrogenados inorgânicos dissolvidos, sólidos suspensos totais, voláteis e fixos e sólidos sedimentáveis encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros físicos e químicos da qualidade de água em tanques de cultivo de tilápia *Oreochromis niloticus* produzido em bioflocos utilizando dois modelos diferentes de aeradores mecânicos durante 56 dias em densidades de 70 peixes por m<sup>3</sup>.

Parâmetro	Tratamentos		ANOVA		
	Chafariz	Soprador	T	S	T x S
pH manhã	7,26 ± 0,21 <sup>a</sup> (6,0 – 7,98)	7,19 ± 0,24 <sup>b</sup> (6,16 – 7,64)	*	*	NS
pH tarde	7,30 ± 0,26 <sup>a</sup> (6,6 – 8,25)	7,19 ± 0,23 <sup>b</sup> (6,45 – 7,84)	*	*	NS
Alcalinidade (CaCO <sub>3</sub> ) (mg.L <sup>-1</sup> )	122,33 ± 44,13 <sup>a</sup> (56 – 296)	134,42 ± 56,83 <sup>a</sup> (48 – 232)	NS	*	NS
Amônia Total (N– NH <sub>3</sub> +NH <sub>4</sub> ) (NAT) (mg.L <sup>-1</sup> )	0,39 ± 0,17 <sup>a</sup> (0,16 – 1,51)	0,30 ± 0,10 <sup>b</sup> (0,12 – 0,63)	*	*	NS
Nitrito (N-NO <sub>2</sub> ) (mg.L <sup>-1</sup> )	0,36 ± 0,21 <sup>a</sup> (0,08 – 0,97)	0,39 ± 0,25 <sup>a</sup> (0,05 – 0,95)	NS	*	*
Nitrato (N-NO <sub>3</sub> ) (mg.L <sup>-1</sup> )	77,41 ± 10,16 <sup>b</sup> (44,49 – 118,87)	83,49 ± 12,88 <sup>a</sup> (41,81 – 111,7)	*	*	NS

Tabela 2. Continuação...

Sólidos Sedimentáveis (SS) (mL.L <sup>-1</sup> )					
52,41 ± 25,08 <sup>a</sup>	44,72 ± 12,64 <sup>b</sup>	*	*	*	
(6 – 150)	(9 – 110)				
Sólidos Suspensos totais (SST) (mg.L <sup>-1</sup> )					
913,83 ± 295,75 <sup>a</sup>	864,29 ± 191,73 <sup>a</sup>	NS	*	NS	
(370 – 1788)	(424 – 1296)				
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) (mg.L <sup>-1</sup> )					
674,88 ± 226,19 <sup>a</sup>	638,89 ± 154,31 <sup>a</sup>	NS	*	NS	
(282 - 1184)	(344 – 1252)				
Sólidos suspensos Fixos (SSF) (mg.L <sup>-1</sup> )					
229,5 ± 99,36 <sup>a</sup>	225,43 ± 84,02 <sup>a</sup>	NS	*	NS	
(60 - 604)	(40 – 648)				
Índice Volumétrico de Sólidos (IVL) (mL.mg <sup>-1</sup> )					
61,39 ± 17,8 <sup>a</sup>	58,20 ± 15,49 <sup>a</sup>	NS	S	NS	
(29,77 – 104,38)	(36,7 – 96,85)				

Dados médios ± dp (mínimo e máximo)

<sup>1</sup> ANOVA Bi-Fatorial, T (tratamento), S (semanas), T x S (interação T x S), \* = p < 0,05, NS = não significativo. Médias na mesma linha seguidas de letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey (p < 0,05).

A Figura 2 mostra os valores semanais de alcalinidade e compostos nitrogenados ao longo das 8 semanas que durou o experimento.

A Figura 3 exhibe os valores de sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos totais e a sua relação a longo o cultivo expressado no Índice Volumétrico de Lodos (IVL).

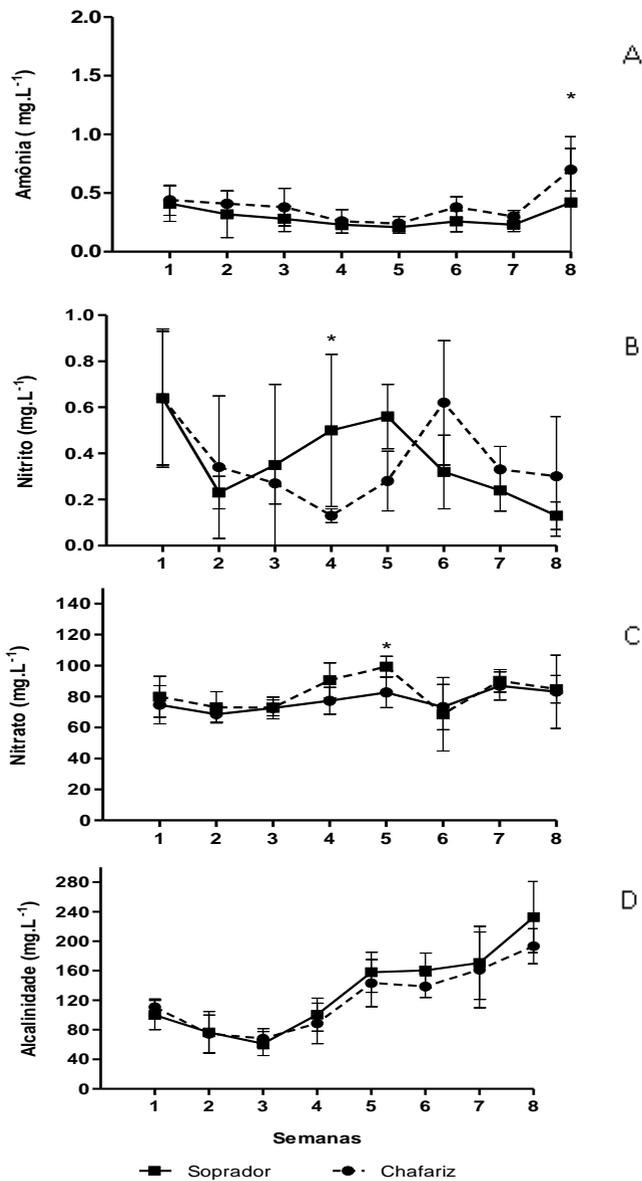


Figura 2. Variação dos parâmetros de qualidade de água: (A) amônia; (B) nitrito, (C) nitrato, (D) alcalinidade num cultivo superintensivo de tilápia *Oreochromis niloticus* em bioflocos utilizando aerador modelo chafariz e aerador modelo soprador.

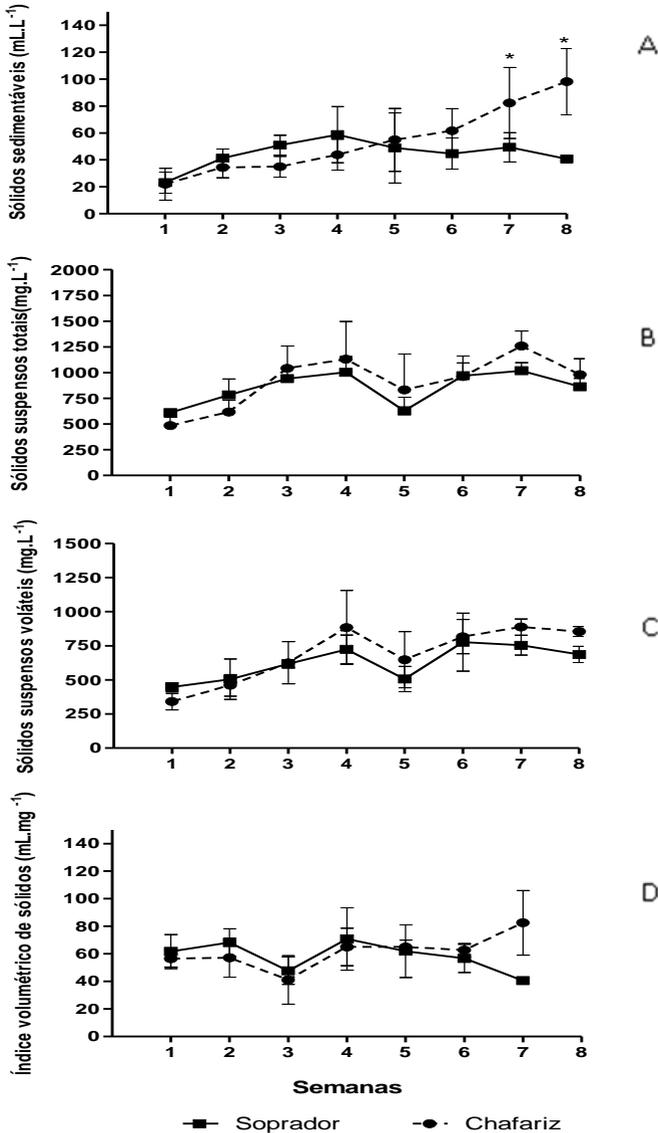


Figura 3. Variação dos parâmetros de qualidade de água: (A) sólidos sedimentáveis; (B) sólidos suspensos totais; (C) sólidos suspensos voláteis; e (D) índice volumétrico de sólidos (IVL) num cultivo superintensivo de tilápia *Oreochromis niloticus* em bioflocos utilizando aerador modelo chafariz e aerador modelo soprador.

### 3.3. Atividade Microbiana

Os dados obtidos de produtividade primária, bruta e líquida, e a respiração da coluna d'água são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Taxas de respiração e produtividade bruta e líquida em tanques de cultivo superintensivo de tilápia *Oreochromis niloticus* em flocos microbianos com dois modelos diferentes de aeradores.

Parâmetro	Tratamentos		ANOVA		
	Chafariz	Soprador	T	S	T x S
Produção Primária Bruta mg O <sub>2</sub> .(L.h) <sup>-1</sup>	0,05 (± 0,11) <sup>b</sup>	0,18 (± 0,11) <sup>a</sup>	*	*	NS
Produção Líquida do Ecossistema mg O <sub>2</sub> .(L.h) <sup>-1</sup>	-1,07 (±0,17) <sup>b</sup>	-0,80 (±0,13) <sup>a</sup>	*	*	NS
Respiração mg O <sub>2</sub> .(L.h) <sup>-1</sup>	1,12 (±0,18) <sup>a</sup>	0,98 (±0,15) <sup>b</sup>	*	*	NS

Dados médios (± dp)

<sup>1</sup> ANOVA Bi-Fatorial, T (tratamento), S (semanas), T x S (interação T x S), \* = p < 0,05, NS = não significativo. Médias na mesma linha seguidas de letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey (p < 0,05).

### 3.4. Índices de Produção

Os resultados dos índices de produção avaliados, estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Índices de desempenho de tilápia *Oreochromis niloticus* produzidos em bioflocos utilizando dois modelos diferentes de aeradores mecânicos durante 56 dias em densidades de 70 peixes por m<sup>3</sup>.

Índices (unidades)	Chafariz	Soprador
Peso final (g)	303,57 (±3,83) <sup>a</sup>	303,06 (±4,84) <sup>b</sup>
Ganho de peso (g.dia <sup>-1</sup> )	3,64 (±3,83) <sup>a</sup>	3,63 (±4,84) <sup>a</sup>
Sobrevivência (%)	99,57 (±0,01) <sup>a</sup>	95,67 (±0,02) <sup>b</sup>
Biomassa final (kg peixe)	211,58 (±3,63) <sup>a</sup>	202,29 (±2,39) <sup>b</sup>
Fator conversão Alimentar (FCA)	1,39 (±0,03) <sup>a</sup>	1,45 (±0,02) <sup>b</sup>
Produtividade (kg/m <sup>3</sup> )	21,16 (±0,36) <sup>a</sup>	20,29 (±0,24) <sup>b</sup>
Densidade final (peixes/m <sup>3</sup> )	69,70 (±1,01) <sup>a</sup>	66,97 (±1,07) <sup>b</sup>

Dados médios (± dp)

<sup>1</sup> Teste T. Médias na mesma linha seguidas de letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey (p < 0,05).

### **3.5. Consumo de água**

Durante todo o experimento não foi feita renovação de água dos tanques experimentais, sendo que o consumo de água foi determinado pelo preenchimento inicial e reposição de água gasta pelos sedimentadores e a estimada na perda por evaporação.

Baseado nos resultados dos índices de produção médios para cada modelo de aerador obteve-se que o modelo chafariz produziu 211,58 kg de tilápia e o modelo soprador produziu 202,29 kg de tilápia.

Em 56 dias a quantidade total de água repostada por evaporação foi de 3920 litros. Somados ao enchimento do tanque (10.000 litros) mais a evaporação mais a quantidade de água perdida pelo uso dos sedimentadores, o valor de litros gastos para produzir a biomassa de tilápia para ambos aeradores foi de 15670 litros.

Destes dados pode-se deduzir matematicamente que o modelo chafariz utilizou 74,06 litros de água para produzir 1 kg de tilápia nilótica enquanto que o modelo soprador utilizou 77,49 litros.

## **4. Discussão**

O manejo de reposição da água perdida por evaporação e retirada pelos sedimentadores foi adequado para manter a salinidade do cultivo estável até o final do experimento ( $4 \text{ g.L}^{-1}$ ). A tolerância da espécie à salinidade empregada é corroborado por Likongwe et al. (1996) que descrevem que a faixa de tolerância desta espécie se encontra entre 0 até  $8 \text{ g.L}^{-1}$ . Também Popma e Masser (1999) encontram bons crescimentos em indivíduos de tilápia nilótica cultivados em salinidades incluso de  $15 \text{ g.L}^{-1}$ .

### **4.1. Aeração e qualidade de água**

Os valores da concentração de oxigênio dissolvido (OD) no período da manhã medidos na primeira semana ( $8,3 \text{ mg.L}^{-1}$  para o chafariz e de  $7,5 \text{ mg.L}^{-1}$  para o soprador) foram os maiores ( $p < 0,05$ ) registrados ao longo do cultivo. As flutuações na concentração de OD encontrados nesta pesquisa foram influenciadas diretamente pelos eventos de respiração e produção dos organismos presentes na água de cultivo, e pela eficiência dos modelos de aeradores utilizados. Avnimelech (2012) mencionam que quando iniciado um cultivo em bioflocos a necessidade de OD é menor tanto pela respiração dos microrganismos como pela degradação da matéria orgânica produto das baixas quantidades diárias de ração (devido ao tamanho inicial dos peixes).

Ao longo desta pesquisa, as concentrações de OD medidas no período da tarde foram menores ( $p < 0,05$ ) que as da manhã para ambos modelos de aeradores testados. Pode-se relacionar esta tendência ao consumo de OD, devido ao elevado metabolismo bacteriano para degradação da matéria orgânica derivada da ração fornecida justamente no intervalo de ambas as medições. Este perfil de oxigênio é típico dos cultivos superintensivos em bioflocos (Avnimelech, 2009; McIntosh, 2001; Taw, 2010).

Entre os modelos de aeradores testados, a concentração média de OD para ambos períodos foi maior ( $p < 0,05$ ) para o modelo chafariz do que para o modelo soprador. Entretanto, os mínimos valores registrados de OD para o modelo soprador ( $5,1 \text{ mg.L}^{-1}$ ) não ficaram abaixo de  $3,5 \text{ mg.L}^{-1}$ , que segundo Baldisserotto et al. (2009) seria a mínima concentração de OD para obter bons índices produtivos no cultivo intensivo de tilápia nilótica. Além dos parâmetros relacionados, o fato do aerador chafariz gerar maior turbulência e circulação de água que o modelo soprador pode ter influenciado para que o modelo chafariz apresentasse maior concentração de OD ao longo da pesquisa. Tucker (2005) confere à turbulência gerada pelos aeradores como a principal causante de aumento de superfície da interfase líquido-gás gerando maiores taxas de transferência e de difusão de oxigênio. Já Delgado et al. (2003), utilizando aeradores de pás, encontraram maiores concentrações de OD na água nos lugares onde a velocidade de circulação da água era maior.

O conceito de saturação de oxigênio (SO) é muito utilizado para verificar se os organismos cultivados encontram-se em estado de conforto no que diz respeito ao oxigênio dissolvido devido que este parâmetro atua como referencial para diferentes condições ambientais. Boyd (1989) e Tucker (2005) relacionam a SO como inversamente proporcional à temperatura e a salinidade, e diretamente proporcional à pressão atmosférica. Conforme Vinatea (2004), os peixes cultivados podem considerar-se em zona de conforto acima dos 60% de SO. O menor valor médio semanal foi de 64%, registrado na oitava semana de cultivo no período da tarde no tratamento utilizando o modelo soprador.

Apenas na primeira semana de cultivo foi registrada SO superior a 100%, corroborando a tendência decrescente da concentração de OD, ao longo dos 56 dias que durou o experimento. Em ambos tratamentos, entre a terceira e a quarta semana nota-se um incremento da saturação média de oxigênio à tarde provavelmente produto do início na retirada de sólidos na segunda metade da pesquisa. Porém, após a quarta semana a tendência voltou a decrescer devido ao aumento da carga orgânica, do

tamanho dos peixes e da quantidade de ração fornecida. Conforme Tucker (2005), só a ação do fitoplâncton que produzem liberação de oxigênio produto das reações da fotossíntese, pode incrementar a SO a mais de 100% durante o dia, porém a respiração à noite, desta grande biomassa fito planctônica consumiria todo o oxigênio produzido, equilibrando o superávit de OD no tanque de cultivo. Por outro lado, Mathur e Rafiuddin (2005) recomendam o uso de oxigênio líquido incorporado diretamente em sistemas superintensivos para garantir o bom desempenho do cultivo, quando os níveis de SO encontrem-se abaixo de 30%.

Embora a concentração de OD da tarde foi menor ( $p < 0,05$ ) para o modelo soprador, em termos de SO, a diferença entre ambos tratamentos não foi significativa ( $p > 0,05$ ). Este ponto confirma a relação inversa entre a temperatura e a SO. A queda de temperatura ocasionada pelo esfriamento do ambiente da estufa nos períodos noturnos, decorrentes das características próprias da estação climática em que foi executada a pesquisa (Outono) e o efeito causado pelo funcionamento de ambos aeradores influenciaram nas diferenças diárias na SO. O modelo chafariz impulsando a água verticalmente, aumenta a área de contato ar-água, promovendo a troca de temperaturas (Bosworth et al., 2004). O soprador utilizando as mangueiras difusoras não gerava tanta turbulência nem contato externo da água do tanque mantendo mais estável a temperatura do que o modelo chafariz (Colt e Kroeger, 2013). Durante o dia o sol aquecia o ambiente da estufa e o modelo chafariz favorecia o incremento da temperatura da água pelo maior contato com o ar atmosférico, atingindo valores mais próximos aos obtidos pelo tratamento soprador.

Durante o experimento, o ar atmosférico era o mesmo para as 6 unidades de cultivo. Porém, ao longo do experimento ocorreram oscilações de temperatura. O uso da estufa permite aumentar a temperatura em até 5 °C na água em relação à tanques externos, conforme dados observados durante este experimento, fato confirmado por Crab et al. (2009). Sistemas de cultivos em estufas realizados com nenhuma ou pouca renovação de água permitem a produção em épocas frias, onde a água utilizada para renovação geralmente apresenta temperaturas inferiores as da água em tanques protegidos por estufa. A temperatura ótima para o crescimento de tilápia está entre 29 e 31 °C (Popma e Masser, 1999), mas quando a temperatura ultrapassa os 32°C, a quantidade de alimentação deve ser diminuída ou cortada pois a presença de sobras de ração na água só aumentará o acúmulo de

sustâncias nitrogenadas, os sólidos suspensos totais e o fator de conversão alimentar (Azaza et al., 2008).

Os mínimos tolerantes para o bom desempenho de tilápia se encontram em 24°C (Likongwe et al., 1996). O tratamento soprador registrou temperaturas abaixo dos 24°C apenas no período da manhã e a partir da sétima semana, diferente do encontrado no tratamento chafariz, que manteve a água com temperaturas no período da manhã abaixo deste valor desde a terceira semana até finalizar esta pesquisa. Porém, os resultados de produção parecem não terem sido afetados pelos valores de temperatura.

A temperatura influencia também no desempenho dos aeradores porque a mais altas temperaturas, maiores serão as velocidades das moléculas, fenômeno físico que aumenta a pressão parcial do oxigênio na água do tanque. Além disso, a diferença de pressões interfase líquido-gás será menor o que dificulta a difusão do oxigênio na água (Shiau, 1995). Rackocy (1989) afirma que a eficiência dos sopradores aumenta um 22% quando são medidos em água a 20°C e a 0 mg.L<sup>-1</sup> de OD do que a 30 °C e a 5mg.L<sup>-1</sup> de OD.

No que diz respeito ao pH, embora detectada diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos, as pequenas variações do pH durante o experimento mantiveram-se dentro da faixa de valores tolerantes (6 a 9) para a tilápia nilótica (Popma e Masser, 1999). As maiores variações se encontraram nas três primeiras semanas do experimento onde os valores de pH ficaram perto de 7,0 e logo aumentaram a valores de 7,6 após a aplicação de cal hidratada. Isto pode dever-se a que ao início da atividade microbiana as reações de respiração da biomassa bacteriana estão associadas à liberação de gás carbônico, que acidifica a água do cultivo conforme relatado por Wasielesky et al. (2006).

Os valores da concentração de alcalinidade obtidos nesta pesquisa em ambos os tratamentos ficaram acima de 100mg.L<sup>-1</sup>, que são aceitáveis para cultivos em bioflocos (Avnimelech, 2007; Crab et al., 2009; Furtado et al., 2011; Hargreaves, 2013; Samocha et al., 2007; Schweitzer et al., 2013). A aplicação da cal hidratada para aumentar a alcalinidade ocasionou também o aumento do pH, porém Vinatea (2004) indica que a variação de pH por eventos como produção de oxigênio e respiração é controlada pelo efeito tampão da alcalinidade quando esta atinge valores superiores 60 mg.L<sup>-1</sup>. O fato do pH não atingir valores acima de 8, colaborou também para diminuir a toxicidade da amônia não ionizada (NH<sub>3</sub>) nos organismos cultivados (Boyd, 1998).

Os valores de nitrogênio amoniacal total (NAT) foram baixos desde a primeira semana, possivelmente pela inoculação de 45% da água com bioflocos do tanque retangular matriz que já se encontrava madura e possuía a microbiota suficiente para degradar os compostos de excreção produzidos. Segundo Ebeling et al. (2006) e Timmons e Ebeling (2010) as reações de nitrificação consistem na oxidação bacteriana do NAT para obter o nitrato como produto final, e nestes processos intermediários existe consumo de oxigênio e carbonatos, assim como liberação de gás carbônico, três processos que levam à diminuição do pH e à alcalinidade. Pode-se deduzir então com o relatado por estes autores que as constantes diminuições da alcalinidade registradas nesta pesquisa poderiam dever-se à ocorrência de reações de nitrificação dentro dos tanques de cultivo em ambos os tratamentos, significando a boa colonização por parte de bactérias quimoautotróficas nitrificantes.

O tratamento chafariz registrou o maior valor de NAT ( $1,51 \text{ mg.L}^{-1}$ ) na última semana de cultivo, valor que, conforme o pH (7,5) e a temperatura registrada nessa semana de cultivo ( $20,5^{\circ}\text{C}$ ), equivaleria a  $0,02 \text{ mg.L}^{-1} \text{ NH}_3$ . Este valor é mais baixo do que o indicado por El-Shafai et al. (2004), que observaram mortalidades em tilápias expostas a  $0,43 \text{ mg.L}^{-1}$  de  $\text{NH}_3$  durante 75 dias. Também Popma e Masser (1999), verificaram elevadas mortalidades quando as tilápias ficaram expostas por poucas semanas à concentração de  $1 \text{ mg.L}^{-1}$  de  $\text{NH}_3$ , já a mortalidade era massiva quando se duplicava este valor. O contrário foi encontrado por Karasu-Benli e Koksall (2005) que determinam o  $\text{CL}_{50}$  (48 horas) de  $7,4 \text{ mg.L}^{-1}$  de  $\text{NH}_3$ , considerando estes autores, a tilápia como uma espécie muito tolerante à toxicidade por amônia.

As concentrações médias de NAT e de Nitrato apresentaram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) sendo maiores para o modelo chafariz. O fato de que o funcionamento deste modelo promoveu a troca térmica causando menores temperaturas na água dos tanques pode ter sido a causa de um menor metabolismo bacteriano (Kim et al., 2008; Sudarno et al., 2011; Zhu e Chen 2002). Como mostrado por estes autores, após o tempo de aclimação bacteriana às novas condições, a taxa de nitrificação volta a se estabilizar. Embora nesta pesquisa esta taxa não fosse medida, pode-se detectar a interrupção da velocidade nas reações de nitrificação na sétima e oitava semana, onde obtiveram-se diferenças significativas entre os tratamentos, justamente nos dois compostos químicos que iniciam e finalizam as reações de nitrificação (Ebeling et al., 2006; Sperling, 1997; Timmons e Ebeling, 2010), nas mesmas

semanas que registraram os valores médios de temperatura mais baixos em todo o cultivo.

Os dois modelos de aeradores testados conseguiram manter elevada turbulência no NAT que, o que evitou a sedimentação do material particulado e formação de zonas anóxicas. Segundo Schryver et al. (2008), a velocidade de ressuspensão, circulação e mistura da água pode influenciar a forma e tamanho do biofloco. Os valores obtidos de sólidos sedimentáveis junto com a baixa quantidade de compostos nitrogenados tóxicos e a ausência de problemas com bloom de fitoplâncton ou protozoários daninhos para os peixes, demonstraram uma boa estabilidade e colonização do biofloco manejado (Avnimelech, 2009; Ray et.al., 2010).

As concentrações de sólidos sedimentáveis (SS) variaram ao longo do cultivo para ambos os tratamentos, aumentando a partir da primeira semana e diminuindo quando houve uso dos sedimentadores. De acordo com Hargreaves (2013), a faixa de 25 a 50 mL.L<sup>-1</sup> de SS é a recomendável para obter bons resultados no cultivo de tilápias em bioflocos. Nesta pesquisa, os valores médios dos SS para os dois tratamentos ficaram muito próximos de dito intervalo embora os valores de SS fossem maiores ( $p < 0,05$ ) no tratamento chafariz. Estes valores médios tiveram desvio padrão em torno de 30%, devido principalmente ao fato do aumento esperado de sólidos totais em decorrência do próprio cultivo, tanto pelo aumento da ração ao longo do cultivo (mais de 300%) como da não renovação da água. Embora, em alguns dias, valores um pouco acima de 100 mL.L<sup>-1</sup> de SS fossem registrados, nenhum problema aparente ou sinais de estresse, tais como falta de apetite, mortalidade ou queda de crescimento, foi detectado, o que confirma a tolerância à altos valores de SS pelas tilápias, como relatado por Avnimelech (2009).

A influência dos diferentes modelos de aerador com respeito aos SS se comprova contrastando os resultados do cone Imhoff com as análises feitas no microscópio óptico. No tratamento chafariz, em algumas semanas se encontraram bactérias filamentosas que se correspondiam nas semanas onde a leitura do cone Imhoff aumentava. Segundo Schryver et al. (2008) a presença de bactérias filamentosas pode ocasionar dificuldades na sedimentação do floco ao criar uma rede de pequenos flocos unidos por filamentos. Neste caso os SS conseguem sedimentar, porém demoram mais, por serem produto das redes formadas pelos filamentos, e este fenômeno se conhece em lodos ativados como intumescimento do lodo ou “bulking” (Cordi, 2007; Sperling, 1997). Outra explicação para o “bulking” é o efeito da

temperatura que, segundo Krishna e Van Loosdrecht (1999), aumenta a produção de polissacarídeos extracelulares de bactérias filamentosas.

Com respeito aos sólidos suspensos, tanto os sólidos suspensos totais (SST) como os sólidos suspensos fixos (SSF) e os sólidos suspensos voláteis (SSV) não apresentaram diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) nem interação entre as semanas e os tratamentos. Proporcionalmente os valores de SSV e SSF se mantiveram em torno de 75% para 25% respectivamente ao longo de todo o cultivo. Já a mudança de SST foi proporcional ao aumento dos dias do cultivo. Avnimelech (2009) indica que a tilápia cultivada em bioflocos tolera elevadas concentrações de SST atingindo incluso valores maiores de 1000 mg.L<sup>-1</sup>. Valores muito elevados de SST podem ocasionar inflamação de brânquias, assim como gerar aumento de parasitas, que diminuem o desempenho dos organismos cultivados (Martins et al, 2006).

As medias gerais dos valores de SST para ambos modelos de aeradores ficaram abaixo do limite máximo planejado de 1000 mg.L<sup>-1</sup>. Porém, valores maiores de SST foram registrados na parte final do experimento embora o uso dos sedimentadores. Situação que pode estar relacionada com o fato de que em ambos os tratamentos nas últimas semanas, aparecia uma capa semissólida no sedimentador que provocava perda de volume útil de decantação, o que diminuía a eficiência dos sedimentadores (Davidson e Summerfelt, 2005). Em tratamento de águas residuais em lodos ativados, esta capa coloidal é denominada de Escuma e é definida como uma formação compacta que se aloca na superfície dos sedimentadores e que está composta por gorduras, óleos vegetais, restos de comida e outros subprodutos em excesso (Moen, 2003). Segundo Sperling (1997) esta formação deve ser controlada via aumento da capacidade dos sedimentadores ou por aumento no número de vezes de descarte do lodo, este último procedimento deve ser bem dimensionado, pois para manter altas taxas de nitrificação, o tempo de retenção celular deve ser o indicado para que não haja o descarte da biomassa bacteriana em fase de crescimento (Metcalf e Eddy, 1991). Na presente pesquisa só foi detectada a formação de escuma nos sedimentadores e não nos tanques de cultivo, o que indicaria, segundo Moen (2003), uma suficiente mistura e homogeneização dos sólidos na fase líquida por parte dos dois modelos de aeradores testados.

## 4.2. Aeração e atividade microbiana

A ausência de áreas mortas dentro dos tanques de cultivo e os altos valores de OD comprovam que existiu uma homogeneização e uma turbulência adequada do corpo de água que permitiu o ingresso da radiação solar promovendo o crescimento de biomassa algal conforme Burford et al. (2003). Porém a elevada concentração de SST encontradas nesta pesquisa obstaculizariam o efeito da radiação solar diminuindo desta maneira a proliferação de microalgas que pudesse favorecer a produtividade primária (Browdy et al., 2001). Desta maneira, embora tenham-se dado as condições necessárias (nutrientes e luz) para uma adequada proliferação fitoplanctônica, a produtividade líquida dos ecossistemas (PLE) foi negativa em ambos os tratamentos, indicando que a coluna de água encontrava-se colonizada principalmente por organismos consumidores de OD (bactérias), situação que caracteriza um ambiente heterotrófico como sugerido por Vinatea et al. (2010). Trabalhando em cultivos em bioflocos com camarões marinhos, estes autores explicam isso devido ao aumento dos sólidos suspensos voláteis (porção orgânica do teor dos SST) que numa concentração maior a  $400 \text{ mg.L}^{-1}$  diminuem a quantidade de luz que penetra na coluna d'água, afetando a realização da fotossíntese. Estes autores, também sugerem que dita matéria particulada pode servir de substrato para biomassa bacteriana que aumentam a taxa de respiração da coluna d'água. Devido aos baixos valores de PLE e à relação entre Produção: Respiração ser menor que 1, pode-se afirmar que o sistema era em maior proporção consumidor de OD (Atwood, 2004; Bratvold e Browdy, 1998; Ray et al., 2010; Vinatea et al., 2010) o que serve para confirmar que todo a demanda de OD necessário para suportar as reações de respiração dos organismos cultivados e o consumido pelo metabolismo bacteriano foi exclusivamente suprida pela ação dos aeradores mecânicos instalados.

Em termos de biomassa algal, Schweitzer et al. (2013) indicam que valores parecidos de PLE aos obtidos nesta pesquisa não são suficientes para que possa considerar-se que na degradação de amônia, as microalgas tenham um aporte significativo. Aliado a isto o fato de não ter renovações de água possibilita deduzir que toda a degradação dos compostos nitrogenados foi realizada pela biomassa bacteriana. O fato dos valores da produção líquida do ecossistema e da respiração não serem diferentes ( $p > 0,05$ ) em ambos os tratamentos indicam que o uso do aerador chafariz não afetou a funcionalidade do biofoco, nem impediu a colonização deste por bactérias com capacidade de remoção de compostos nitrogenados. Inicialmente uma das hipóteses deste

trabalho foi que a forte turbulência gerada pelo modelo chafariz poderia quebrar o floco ou que não permitiria que se formar-se adequadamente (Crab et al., 2007), caso que poderia comprometer os processos de nitrificação resultando no conseqüente acúmulo destas substâncias metabólicas. Timmons e Ebeling (2010) e Ebeling et al. (2006), afirmam que o conjunto de fatores, tais como taxas de respiração positivas, baixos níveis de amônia e nitrito, elevados níveis de nitrato, quedas de alcalinidade e diminuição de pH indicariam uma adequada colonização de bactérias quimoautotróficas nitrificantes responsáveis pelo equilíbrio do ambiente de cultivo.

A relação média de carbono: nitrogênio (C:N) encontrada ao final desta pesquisa em ambos tratamentos foi 10:1. Avnimelech (2012) e Ebeling et al. (2006) corroboram que proporções adequadas para cultivo superintensivos em bioflocos devem encontrar-se na faixa de 10 a 20:1. Estes valores flexibilizam o 20:1 recomendado por Avnimelech (1999) e Crab et al. (2009), o que diminui a necessidade do aporte excessivo de carboidratos, que como detectado por Schweitzer et al. (2013), é responsável pelo consumo de OD. Nesta pesquisa o uso de melaço só foi necessário nas primeiras duas semanas de cultivo, onde a transparência ainda era maior de 5 cm, sendo o mesmo evitado até o final do cultivo. Porém, a degradação de amônia e nitrito ao longo da pesquisa foi constante, tendo em consideração que nas quatro primeiras semanas a C:N da ração era de 7,66 (42%PB) e que nas últimas 4 semanas o aporte diário aumentou para 4 a 6 kg de ração com 32%PB (C:N 10,09). Outro indicador da boa colonização da biomassa bacteriana quimoautotrófica nitrificante foi a queda constante de alcalinidade (Crab, 2012; Furtado et al., 2011; Hargreaves, 2013; Ray et al., 2010; Samocha et al., 2007; Schweitzer et al., 2013). Assim, a remoção do excesso de SST por parte dos sedimentadores, embora não suficientes, poderia ter colaborado com a renovação das populações bacterianas que, segundo Sperling (1997) e Weirich (2003), deixariam espaço para células bacterianas mais novas e mais eficientes e com maior velocidade de crescimento, mantendo constante às taxas de nitrificação e degradação de matéria orgânica.

### **4.3. Aeração e produtividade**

A despesca aconteceu, como planejado, quando a média de peso dos peixes atingiu mais de 300 gramas para ambos os tratamentos. Este peso é registrado como adequado para cultivos intermediários como a pré-engorda de tilápia em tanques rede (Ono e Kubitzka, 2003), e dentro da ampla faixa de peso individual (50 – 500 g) de plantel de reprodutores tanto em cultivos em viveiros escavados, tanques de

concreto em sistemas de recirculação (El-Sayed e Kawanna, 2007) como em sistemas de bioflocos (Ekasari et al., 2015).

Em termos de produtividade o tratamento chafariz conseguiu valores maiores ( $p < 0,05$ ) de que o tratamento soprador. Ambos valores são 4 vezes maiores aos produzidos em cultivos intensivos no sul do Brasil que utilizam taxas de renovação de água de 20 a 30% por dia (MPA, 2013). Boyd (1998) e Vinatea (2004) indicam que mantendo os parâmetros de qualidade de água dentro das faixas toleráveis da espécie alvo do cultivo é possível atingir altas densidades e produtividades. Assim, o dito por estes autores se reflete no sucesso dos cultivos em tanques rede em mar aberto ou em grandes represas com altas taxas de renovação por dia e baixas concentrações de metabolitos tóxicos, onde é possível se obter produtividades de até  $200 \text{ kg.m}^{-3}$  (Ono e Kubitzka, 2003), equivalentes a 10 vezes mais do que obtido nesta pesquisa. Já em represas com excesso de produção e sem planos estratégicos que incluam monitoramentos e manejos que permitam diminuir a acumulação dos metabolitos tóxicos produzidos, será necessário incluir o uso de aeradores mecânicos dentro dos tanques rede para oxigená-los, assim como a diminuição das densidades finais as vezes até em 75%.

Os valores de  $3,62 \text{ g.dia}^{-1}$  de ganho de peso em média nos dois tratamentos são equivalentes aos atingidos em cultivos intensivos no sul do Brasil, porém utilizando densidades 5 vezes menores de peixes por metro quadrado (EMATER, 2004; EPAGRI, 2014). O ganho de peso diário não apresentou diferença significativa ( $p > 0,05$ ) em ambos os tratamentos, o que indica que os aeradores proporcionaram um ambiente confortável para os peixes. O fato do funcionamento do soprador ter mantido a temperatura da água mais alta também pode ter colaborado para manter o ganho de peso sem diferenças com o tratamento chafariz e com valores muito próximos do fator de conversão alimentar (FCA), embora diferentes significativamente ( $p < 0,05$ ) pois Crab et al. (2009), utilizando bioflocos com a mesma potência de aeração obteve FCA de 1,9, porém com temperaturas máximas de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . O que determinaria que um maior aproveitamento do alimento oferecido se dá quando a espécie cultivada encontra-se em condições favoráveis, e que segundo este mesmo autor, encontra-se entre  $25$  e  $28 \text{ }^\circ\text{C}$  para a tilápia nilótica (Azaza et al., 2008).

Em termos da sobrevivência, o modelo chafariz obteve maiores valores ( $p < 0,05$ ) que o modelo soprador. Ambos tratamentos apresentaram valores de sobrevivência maiores de 90% que podem estar relacionados com o tamanho inicial de povoamento (100g), onde o grau de resistência da tilápia é maior (Azim e Little, 2008; El-Sayed, 2002).

Crab et al. (2009) também encontram valores mais elevados de sobrevivência em peixes povoados com 100g do que com os povoados com 50g. Luo et al. (2014) constataram que as taxas de sobrevivência de tilápias cultivadas em sistema de recirculação e em bioflocos foram de 100% para ambos os sistemas de cultivo embora estes autores iniciaram o cultivo com peixes de 25g até um pouco mais de 130 gramas, obtendo menores taxas de crescimento ( $1,9 \text{ g.dia}^{-1}$ ) que os alcançados na presente pesquisa. A salinidade também pode ter influenciado nas altas taxas de sobrevivência. Trabalhando com água salobra, a produção de muco dos peixes de água doce aumenta (primeira barreira de proteção contra doenças) e não influencia na taxa de crescimento dos animais, evitando problemas sanitários com ectoparasitas e fungos (Martins et al., 2006) aumentando assim, a sobrevivência final.

No que diz respeito ao FCA, o aporte do floco pode ter tido uma importante participação na nutrição das tilápias (Avnimelech, 2007; Avnimelech, 2015; Avnimelech e Kochba, 2009). Avnimelech (2007) destaca que os flocos conseguem aportar quase 50% do requerimento proteico da tilápia e que 1 mL de sólidos sedimentáveis (SS) ocupam  $14 \text{ mg.L}^{-1}$  de matéria seca em forma de flocos o que significa que quanto maior a quantidade de SS, maior é a disponibilidade de proteína para os peixes cultivados. O tratamento chafariz apresentou maiores valores de SS do que o tratamento soprador, fato que poderia explicar o menor FCA obtido pelo modelo chafariz que aliado à maior sobrevivência e à maior biomassa final obtida, indicariam uma melhora na rentabilidade do empreendimento aquícola em cultivos superintensivos em bioflocos.

Nesta pesquisa, o tipo e a quantidade de ração foi a mesma para o modelo chafariz como para o modelo soprador. Sendo que o ganho de peso diário não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, assim foi a sobrevivência final a que determinou que o tratamento chafariz apresentasse o menor valor de FCA (Crab et al., 2009), o que demonstraria que a influência de este modelo não foi negativa em termos de configuração nutricional do biofloco, por que embora ele se apresenta-se menor ao microscópio óptico, foi neste tratamento onde se encontraram melhores índices zootécnicos de produção. Ekasari et al. (2014) determinaram que o tamanho do biofloco não interfere com a aceitação por parte dos peixes, embora especifique que melhores valores nutricionais são obtidos na presença de bioflocos de tamanhos menores (entre 48 e 100  $\mu\text{m}$ ). Assim, o fato do modelo soprador não ter gerado tanta turbulência pode ter influenciado para aumentar a agregação do biofloco, fazendo-o maior, porém menos nutritivo (Ekasari et al., 2014).

A potência proporcional aplicada para este trabalho foi de 200 HP por hectare para ambos tratamentos. Estes valores estão de acordo com vários autores (Avnimelech, 2009; Avnimelech, 2015; Boyd, 1998; Crab et al., 2009; Hargreaves, 2013; McIntosh, 2001; Schryver et al., 2008) que ressaltam, o fato que maiores potências de aeração são necessárias para cultivos de tilápias do que para cultivo de camarão marinho em bioflocos, em virtude das maiores produtividades atingidas nos cultivos de *O. niloticus*. Assim, os primeiros trabalhos desenvolvidos em Belize Aquacultura para produção de *L. vannamei*, utilizaram 50HP/ha para produzir 1,2 kg.m<sup>-2</sup> (Burford et al., 2003), fazendo uma mistura entre aeradores de pás e propulsores. Já Taw (2012) utilizou potências de 28 – 32 HP/ha para produções de 2,2 kg/m<sup>2</sup> de camarão marinho no sudeste asiático. Entretanto, Vinatea et al. (2010), utilizaram sopradores de 5HP para tanques de produção de *L. vannamei* com 271m<sup>2</sup> (uma proporção de 185 HP/ha). Rakocy (1989) determina para a tilápia uma potência de 1 kw (1,33HP) para cada 960 kg de biomassa produzida em cultivos com altas taxas de renovação, valores que convertidos na potência dos aeradores utilizados nesta pesquisa resultariam em 0,33 HP para 238 kg de tilápia. Usando a tecnologia de bioflocos, Hargreaves (2013) estima que para densidades de produção de 15 a 20 kg/m<sup>3</sup> (similares com as encontradas no presente trabalho) devem ser utilizados em média 150 HP/ha, porém o relaciona também com a quantidade de ração fornecida por dia, que foi de 1.750-2.000 kg/ha/dia, o que é praticamente o 50% do que foi fornecido nesta pesquisa.

#### **4.4. Aeradores e Consumo de água**

O fato de ter utilizado os sedimentadores só quando a concentração de SST atingiu os 1000 mg.L<sup>-1</sup> fez com que se pudesse ter uma maior economia tanto de energia elétrica (bombas) como de volume de água. Apesar disto, os valores encontrados para consumo de água nesta pesquisa para ambos aeradores foram praticamente similares, sendo que os mesmos diferem devido ao rendimento dos índices de produção de cada aerador (sobrevivência e peso individual final).

No presente trabalho, os volumes de água utilizados em cada tratamento para produzir 1 quilograma de tilápia são sumamente inferiores à quantidade de litros utilizados em cultivos tanto semi-intensivos (1300 L/kg tilápia) como intensivos (1800 L/kg tilápia) na região sul do Brasil (EMATER, 2004; EPAGRI, 2014). Estes valores comprovam a sustentabilidade e a potencialidade dos cultivos em bioflocos para ser aplicados na piscicultura desta espécie. As quantidades de água utilizadas nesta pesquisa corrobora o mencionado

por Hargreaves (2013) que estima um consumo de água médio de 100 a 200 litros/kg de tilápia cultivada em bioflocos.

## 5. Conclusões:

A estabilidade dos parâmetros de qualidade de água e a atividade microbiana, permite comprovar que o modelo chafariz não influenciou negativamente na configuração e na funcionalidade do biofoco ao compara-lo com o desempenho do modelo soprador.

Ao comparar os índices de produção obtidos pelos dois modelos de aeradores sugerem que utilizando o modelo chafariz se conseguem os mesmos resultados de produção do que utilizando o modelo soprador.

## Agradecimentos

O autor agradece à CAPES pela bolsa de doutorado de desenvolvimento social outorgada pelo programa de pós graduação em Aquicultura da UFSC. Agradecemos também ao CNPq pelo apoio econômico para a execução da pesquisa via projeto Universal 14/2013 (Processo 479177/2013-9). Também fica a gratidão ao pessoal do LCM-UFSC que colaboraram nesta pesquisa e à empresa Aquicultura Nilótica pelo uso das suas instalações.

## Referências Bibliográficas

- Allan, G., Maguire, G., 1991. Lethal levels of low dissolved oxygen and effects of short-term oxygen stress on subsequent growth of juvenile *P. monodon*. *Aquaculture*, 94, 27-34.
- APHA (American Public Health Association), American Water Works Association and Water Pollution Control Association, 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th ed. American Public Health Association, Washington, DC, USA.
- APHA (American Public Health Association), American Water Works Association and Water Pollution Control Association, 2005. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21th ed. American Public Health Association, Washington, DC, USA.
- Atwood, H. L., Bruce, J.W., Pierrard, L.M., Kelg, R.A., Stokes, A.D., Browdy, C.L., 2004. Intensive zero-exchange shrimp production systems - Incorporation of filtration Technologies to improve survival and growth. Pages 152 - 162 in Rakestraw, T.T., L.S.

- Douglas, G. J. Flick editors. Proceedings of the 5th International conference in Recirculating Aquaculture. Virginia Tech University, Blacksburg.
- Avnimelech, Y., 1999. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, 176, 227-235.
- Avnimelech, Y., 2007. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds. *Aquaculture*, 264, 140-147.
- Avnimelech, Y., 2012. *Biofloc Technology – A Practical Guide Book*. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, United States. 2. Ed.
- Avnimelech, Y., Kochba, M., 2009. Evaluation of nitrogen uptake and excretion by tilapia in bio floc tanks, using N-15 tracing. *Aquaculture*, 287, 163-168.
- Avnimelech, Y., 2006. Bio-filters: The need for a new comprehensive approach. *Aquacultural Engineering*, 34, 172-178.
- Azaza, M.S., Dhraïef, M.N., Kraïem, M.M., 2008. Effects of water temperature on growth and sex ratio of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus) reared in geothermal waters in southern Tunisia. *Journal of Thermal Biology*, 33, 98-105.
- Azim, M.E., Little D.C., 2008. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 283, 29-35.
- Baldisserotto, B., 2009. *Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura*. 2. Ed. Santa Maria:UFSM, 352 pp.
- Berthelson, C., Cathcart, T., Pote, J., 1996. In situ measurement of sediment oxygen demand in catfish ponds. *Aquacultural Engineering*, 15, 261-271.
- Bett, C.; Vinatea, L., 2009. Combined effect of body weight, temperature and salinity on shrimp *Litopenaeus vannamei* oxygen consumption rate. *Brazilian Journal of Oceanography*, 57, 305-314.
- Bosworth, B. G., Small, B. C. And Mischke, C., 2004. Effects of Transport Water Temperature, Aerator Type, and Oxygen Level on

- Channel Catfish *Ictalurus punctatus* Fillet Quality. Journal of the World Aquaculture Society, 35, 412–419.
- Boyd, C., Daniels, H., 1987. Performance of surface aerators in saline waters. Prog. Fish Cult., 49, 306–308.
- Boyd, C., Watten, B., 1989. Aeration systems in aquaculture. Rev. Aquat. Sci., 1, 425-472.
- Boyd, C., 1989. Water Quality Management and Aeration in Shrimp Farming. Fisheries and Allied.
- Aquacultures Departmental Series # 2. Auburn University. 83 pp.
- Boyd, C., 1998. Pond water aeration systems. Aquacultural Engineering, 18, 9-40.
- Boyd, C., Ahmad, T., 1987. Evaluation of Aerators for Channel Catfish Farming. Alabama Agricultural Experiment Station Auburn University, Bulletin 584, 52pp.
- Boyd, C.E., Clay, J.W., 2002. Evaluation of Belize Aquaculture, Ltd: A Superintensive Shrimp Aquaculture System. Report prepared under the World Bank, NACA, WWF and FAO Consortium Program on Shrimp Farming and the Environment. 17pp.
- Boyd, C. E., Moore, J., 1993. Factors affecting the performance of diffused-air aeration systems for aquaculture. Journal of Applied Aquaculture, 2, 1-12.
- Bratvold, D., Browdy, C.L., 1998. Simple electrometric methods for estimating microbial activity in aquaculture ponds. Aquacultural Engineering, 19, 29-39.
- Browdy, C., Bratvold, D., Stokes, A., Mcintosh, R., 2001. Perspectives on the application of closed shrimp culture systems. In: C.L. Browdy and D.E. Jory, (Eds.) The New Wave, Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Culture, Aquaculture The World Aquaculture Society, 20–34.
- Browdy, C., Moss, S., 2005. Shrimp culture in urban, super-intensive closed systems. Urban Aquaculture, Blackwell Science, 173–186.
- Bufford M.; Thompson P.; Bauman H.; Pearson D., 2003. Microbial Communities Affect Water Quality Shrimp Performance at Belize Aquaculture. Global Aquaculture Alliance. v. August.

- Burford, M.A.; Thompson, P.J.; McIntosh, R.P.; Bauman, R.H.; Pearson, D.C., 2003. Nutrient and microbial dynamics in high intensity, ponds in Belize. *Aquaculture*, 219, 393-411.
- Burford, M.A., Thompson, P.J., McIntosh, R.P., Bauman, R.H., Pearson, D.C., 2004. The contribution of flocculated material to shrimp (*Litopenaeus vannamei*) nutrition in a high-intensity, zero-exchange system. *Aquaculture*, 232, 525-537.
- Cavalcante, D.H., Poliato, A.S., Ribeiro, D.C., Magalhães, F.B., Carmo, M.V.S., 2009. Effects of CaCO<sub>3</sub> liming on water quality and growth performance of fingerlings of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Acta Scientiarum, Animal Sciences*, 31, 327-333.
- Chamberlain, G., Avnimelech, Y., McIntosh R., Velasco, M., 2001. Advantages of Aerated Microbial Reuse Systems With Balanced C:N. III: Practical Applications. *Global Aquaculture Alliance*. v. October.
- Chang, W., Ouyang, H., 1988. Dynamics of dissolved oxygen and vertical circulation in fish ponds. *Aquaculture*, 74, 263-276.
- Colt, J.; Kroeger E., 2013. Impact of aeration and alkalinity on the water quality and product quality of transported tilapia - A simulation study. *Aquacultural Engineering*, 55, 46-58.
- Cordi, L., Almeida, E.S., Assalin, M.R., Duran, N., 2007. Intumescimento filamentoso no processo de lodos ativados aplicado ao tratamento de soro de queijo: Caracterização e uso de floculantes para melhorar a sedimentabilidade. *Engenharia Ambiental: pesquisa e tecnologia*, 4, 26 – 37.
- Crab, R., Avnimelech, Y., Defoirdt, T., Bossier, P., Verstraete, W. 2007. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture*, 270, 1-14.
- Crab, R., Kochva, M., Verstraete, W., Avnimelech, Y. 2009. Bio-flocs technology application in over-wintering of tilapia. *Aquacultural Engineering*, 40, 105-112.
- Crab R., Defoirdt T., Bossier P., Verstraete W., 2012. Biofloc technology in aquaculture: beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*, 357, 351-356.
- Davidson, J.; Summerfelt, S. T., 2005. Solids removal from a coldwater recirculating system--comparison of a swirl separator and a radial-

- flow settler. *Aquacultural Engineering*, 33, 47-61.
- Delgado, P., Avnimelech, Y., Mcneil, R., Bratvold, D., Browdy, C., Sandifer, P., 2003. Physical, chemical and biological characteristics of radially aerated shrimp ponds. *Aquaculture*, 217, 235-248.
- Dodds, W.K., Cole, J.J., 2007. Expanding the concept of trophic state in aquatic ecosystems: It's not just the autotrophs. *Aquatic Sciences*, 69, 427-439.
- Ebeling, J.M., Timmons, M.B., Bisogni, J.J., 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems, *Aquaculture*, 257, 346-358.
- Ebeling, J. M.; Rishel, K. L.; Welsh, C. F.; Timmons, M. B., 2004. Impact of the Carbon/Nitrogen Ratio on Water Quality in Zero-Exchange Shrimp Production Systems. In: Proceedings of the 5th International conference Recirculating Aquaculture, 1- 5.
- Ekasari, J., Angela, D., Waluyo, S.H., Bachtiar, T., Surawidjaja, E.H., Bossier, P., Schryver, P.D., 2014. The size of biofloc determines the nutritional composition and the nitrogen recovery by aquaculture animals *Aquaculture*, 426-427, 105-111.
- Ekasari, J., Zairin M.J., Putri D.U, Sari, N.P., Surawidjaja, E.H., Bossier, P., 2015. Biofloc-based reproductive performance of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. broodstock. *Aquaculture Research*, 46, 509–512.
- El Sayed, A.F.M., 2002. Effects of stocking density and feeding levels on growth and feed efficiency of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) fry. *Aquaculture Research*, 33, 621 – 626.
- El-Sayed, A.F.M., Kawanna, M., 2007. Effects of photoperiod on growth and spawning efficiency of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) broodstock in a recycling system. *Aquaculture Research*, 38, 1242-1247.
- El-Shafai, S.A., El-Gohary, F.A., Nasr, F.A., Steen, N.P.V.D., Gijzen, H.J., 2004. Chronic ammonia toxicity to duckweed-fed tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*. 232, 117 – 127.
- EMATER, 2004. Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural. Projeto de Desenvolvimento da Aquicultura e

- Pesca no Litoral do Paraná. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná. Curitiba, 2004. 44pp.
- Emerenciano M, Ballester E., Cavalli, R., Wasielesky, W., 2012. Biofloc technology application as a food source in a limited water exchange nursery system for pink shrimp *Farfantepenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817). *Aquaculture Research*. 447-457.
- EPAGRI, 2014. Síntese Anual da Aquicultura e Pesca de Santa Catarina 2013. Florianópolis, SC., Brasil. Disponível em: [http://www.epagri.sc.gov.br/?page\\_id=676](http://www.epagri.sc.gov.br/?page_id=676); acessada em 04/03/2015.
- FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2014. Rome: 2014, 223 pp.
- Fast, A., Boyd, C., 1992. Water circulation, aeration and other management practices. In: *Marine Shrimp Culture: Principles and Practices*. Arlo Fast y James Lester (Eds.). Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 457-495.
- Fitzsimmons, K., 2000. Tilapia: most important aquaculture species of the 21st century. In: *Proceedings From The Fifth International Symposium On Tilapia Aquaculture, 2000, Rio de Janeiro. Anais...*, 3-8.
- Furtado, P. S., Poersch, L.H., Wasielesky W., 2011. 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* 321, 130-135.
- Gray, N. F., 1990. *Activated Sludge: theory and practice*, Oxford University Press, Oxford.
- Hanson, A., Cui, H., Zou, L., Clarke, S., Muldoon, G., Potts, J., Zhang, H., 2011. *Greening China's Fish and Fish Products Market Supply Chains*. The International Institute for Sustainable Development, disponível em: [www.iisd.org/publications/pub.aspx?id=1474](http://www.iisd.org/publications/pub.aspx?id=1474).
- Hargreaves, J.A., 2006. Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. *Aquacultural Engineering*, 34, 344-363.
- Hargreaves, J.A., 2013. *Biofloc Production Systems for Aquaculture*. SRAC Publication No. 4503, 12pp.

- Hopkins, J., Stokes, A., Browdy, C., Sandifer, P. 1992. The relationship between feeding rate, paddlewheel aeration rate and expected dawn dissolved oxygen in intensive shrimp ponds. *Aquacultural Engineering*, 10, 281– 290.
- Karasu Benli, A.C., Köksal, G., 2005. The acute toxicity of ammonia on tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) larvae and fingerlings. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 29, 339-344.
- Kepenyes, J., Váradi, L., 1984. Aeration and oxygenation in aquaculture. In: *Inland Aquaculture Engineering. Aquaculture Development and Coordination Programme, UNDP, FAO, UDCP/REP/84/21*, 473-50.
- Kim, J.H., Guo, X., Park, H.S., 2008. Comparison study of the effects of temperature and free ammonia concentration on nitrification and nitrite accumulation. *Process Biochemistry*, 43, 154-160.
- Krishna, C., Van Loosdrecht, M.C.M., 1999. Effect of temperature on storage polymers and settleability of activated sludge. *Water Research*, 33, 2374–2382.
- Krummenauer, D., Samocha, T., Poersch, L., Lara, G., Wasielesky, W., 2014. The Reuse of Water on the Culture of Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in BFT System. *Journal of the World Aquaculture Society*, 45, 14.
- Krummenauer, D., Peixoto, S., Cavalli, R.O., Poersch, L.H., Wasielesky, W., 2011. 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*, 42, 726-733.
- Likongwe, J.S., Stecko, T.D., Stauffer, J.R., Carline, R.F., 1996. Combined effects of water temperature and salinity on growth and feed utilization of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus). *Aquaculture*, 146, 37- 46.
- Luo G, Gao Q, Wang C, Liu W, Sun D, Li L., 2014. 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*. 4231-7.

- Martinez, L., Villarreal, H., Porchas, M., Naranjo, J., Aragon, A., 1997. Effect of aeration rate on growth, survival and yield of White shrimp *Penaeus vannamei* in low water exchange ponds. *Aquacultural Engineering*, 16, 85-90.
- Martins, C.I.M., Eding, E.H., Verdegem, M.C.J., Heinsbroek, L.T.N., Schneider, O., Blancheton, J.P., Roque D'orbcastel, E., Verreth, J.A.J., 2010. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquacultural Engineering*, 43, 83-93.
- Martins, M.L., Ghiraldelli, L., Azevedo, T.M., 2006. Ectoparasitos de tilápias (*Oreochromis niloticus*) cultivadas no Estado de Santa Catarina, Brasil. In: SILVA-SOUZA, A.T. (org) Sanidade de Organismos Aquáticos, 253-270.
- Mathur, A.; Rafiuddin, A., 2005. Oxygen injection systems provide emergency aeration, D.O. Management. *Global Aquaculture Advocate*, June, 64-65.
- McAbee, B., Browdy, C., Rhodes, R., Stokes, A., 2003. The use of greenhouse-enclosed raceway systems for the super-intensive production of pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* in the United States. *Global Aquaculture Advocate*, 6, 40-43.
- Mcintosh, R. 2001. Changing Paradigms in Shrimp Farming. V: Establishment of heterotrophic bacterial communities. *Global Aquaculture Alliance*. v. February.
- Mcneil R., 2000. Zero exchange, aerobic, heterotrophic systems: key considerations. *Advocate*, June, 72-76.
- Metcalf, & Eddy Inc., 1991. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*, third ed. McGraw Hill, New York.
- Moen, G., 2003. Anaerobic digester foaming: causes and solutions. *Water Environ Technol*, v. 15, n. 8, 70 – 73.
- Moriarty, D.J.W., 1997. The role of microorganisms in aquaculture ponds. *Aquaculture*, 151, 333-349.
- MPA. Ministerio de pesca e Aquicultura. 2013. Boletim estatístico da pesca e aquicultura 2011. Brasília.
- Ono, E.A., Kubitza, F., 2003. *Cultivo de peixes em tanques-rede*. 3. ed. Jundiaí: E. Ono. 112 pp.

- Otoshi, C.A., Tang, L.A., Moss, D.R., Arce, S.M., Holl, C.M., Moss, S., 2009. Performance of pacific white shrimp, *Penaeus* (*Litopenaeus*) *vannamei*, cultured in biosecure, super-intensive, recirculating aquaculture systems, in: Browdy, C.L., Jory, D.E. (Eds.), *The Rising Tide, Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Farming*. World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA, pp. 165-175.
- Peterson, E., Wadhwa, L., Harris, J., 2001. Arrangement of aerators in an intensive shrimp grow out pond having a rectangular shape. *Aquacultural Engineering*, 25, 51-65.
- Peterson, E., Walker, M., 2002. Effect of speed on Taiwanese paddlewheel aeration. *Aquacultural Engineering*, 26, 129-147.
- Piedrahita, R.H., 2003. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture*, 226, 35-44.
- Popma, T., Masser, M., 1999. *Tilapia – Life History and Biology*. Southern Regional Aquaculture Center, SRAC Publication N° 283, 4 pp.
- Rakocy, J., 1989. *Pond Tilapia Production*. SRAC Publication N°282, 4 pp.
- Rakocy, J. E. 2002. An integrated fish and field crop system for arid areas. In: COSTA-PIERCE, B. A. (Ed.). *Ecological Aquaculture: the evolution of the blue revolution*. Oxford: Blackwell Science, 263-285.
- Ray, A. J., Lewis, B. L., Browdy, C.L., Leffler, J.W., 2010. Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based feed in minimal-exchange, superintensive culture systems. *Aquaculture*, 299, 89-98.
- Ray, A.J., Seaborn, G., Browdy, C.L., Leffler, J.W., 2012. Effects of Biofloc Reduction on Microbial Dynamics in Minimal-exchange, Superintensive Shrimp, *Litopenaeus vannamei*, Culture Systems. *Journal Of The World Aquaculture Society*, 43, 790-801.
- Samocha, T. M., Patnaik, S., Speed, M., Ali, A.M., Burger, J.M., Almeida, R.V., Ayub, Z., Harisanto, M., Horowitz, A., Brock, D.L., 2007. Use of molasses as carbon source in limited discharge

- nursery and grow-out systems for *Litopenaeus vannamei*. *Aquacultural Engineering*, 36, 184-191.
- Samocha, T.M., Lawrence, A.L., Collins, C.A., Castille, F.L., Bray, W.A., Davies, C.J., Lee, P.G., Wood, G.F., 2004. Production of the Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in High-Density Greenhouse-Enclosed Raceways Using Low Salinity Groundwater, *Journal of Applied Aquaculture*, 15, 3-4, 1-19.
- Sato, N., Okubo, T., Onodera, T., Ohashi, A., Harada, H., 2005. Prospects for a self-sustainable sewage treatment system: A case study on full-scale UASB system in India's Yamuna River Basin. *Journal of Environmental Management*, v. Article in press, 1-10.
- Schryver, P., Crab, R., Defoirdt, T., Boon, N., Verstraete, W., 2008. The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture. *Aquaculture*, 277, 125-137.
- Schweitzer, R., Arantes R., Fóes, P.C.S, Espírito, C.M., Vinatea, L.A., Seiffert, W.Q. Andreatta, E.R., 2013. Effect of different biofloc levels on microbial activity, water quality and performance of *Litopenaeus vannamei* in a tank system operated with no water exchange. *Aquacultural Engineering*, 56, 59-70.
- Shiau, C.C., 1995. Oxygen transfer in bubble and bubbleless Aeration systems. PhD. Thesis. University of Wollongong. Department of Civil and Mining Engineering.
- Sifa L, Chenhong L, Dey M., 2002. Cold tolerance of three strains of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, in China. *Aquaculture*, 213, 123- 129.
- Sperling, M.V., 1997. *Lodos ativados*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 415pp.
- Staehr, P.A., Testa, J.M., Kemp, W.M., Cole, J.J., Sand-Jensen, K., Smith, S.V., 2012. The metabolism of aquatic ecosystems: history, applications, and future challenges. *Aquatic Sciences*, 74, 15-29.
- Strickland, J., 1960. Measuring the production of marine phytoplankton. *Bulleting of Fisheries Research Board of Canada* 122, 172 pp.
- Strickland, J.D., Parsons, T.R., 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. Fish Research Board, Canada.

- Sudarno, U., Winter, J., Gallert, C., 2011. Effect of varying salinity, temperature, ammonia and nitrous acid concentrations on nitrification of saline wastewater in fixed-bed reactors. *Bioresource Technology*, 102, 5665–5673.
- Taw, N., 2012. Recent developments In Biofloc Technology. *Biosecure Systems Improve Economics, Sustainability*. The Advocate, 15, 28-29.
- Taw, N., 2010. Biofloc technology expanding at white shrimp farms. *Global Advocate*, 10, 20-22.
- Teichert-Coddington D.R.; Rouse, D.B.; Potts, A.; Boyd C.E., 1999. Treatment of harvest discharge from intensive shrimp ponds by settling. *Aquacultural Engineering*, 19, 147–161.
- Timmons, M.B., Ebeling, J.M., 2010. *Recirculating Aquaculture*. NRAC Publication No. 401-2010. Ithaca, NY, 948 pp.
- Tucker, C., 2005. *Pond Aeration* SRAC Publication No. 3700, 8pp.
- Vinatea, L., 2004. *Princípios químicos de qualidade da água em aqüicultura, segunda edição revisada e ampliada*. 2. ed: Editora da UFSC. Florianópolis, 345 pp.
- Vinatea, L., Carvalho, J., 2007. Influence of water salinity on the SOTR of paddlewheel and propeller-aspirator-pump aerators, its relation to the number of aerators per hectare and electricity costs. *Aquacultural Engineering*, 37, 73-78.
- Vinatea, L., Galvez, A., Browdy, C., Stokes, C., Venero, J., Haveman, J., Lewis, B., Lawson, A., Shuler, A., Leffler, J., 2010. 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*, 42, 17–24.
- Vinatea, L.; Gálvez, A.O., Venero, J., Leffler, J., Browdy, C., 2009. Oxygen consumption of *Litopenaeus vannamei* juveniles in heterotrophic medium with zero water exchange. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44, 534-538.
- Wasielky Jr., W., Atwood, H., Stokes, A., Browdy, C.L., 2006. Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 258, 396-403.

- Watanabe, W.O., Losordo, T.M., Fitzsimmons, K., 2002. Tilapia production systems in the Americas: technological advances, trend, and challenges. *Reviews in Fisheries Science*, 10, 465-498.
- Weirich, C. R., 2003. Preliminary Evaluation Of Emerging Water Treatment Technologies For Use In Minimal Exchange Super-Intensive Pacific White Shrimp *Litopenaeus Vannamei* Culture Systems. *Aquaculture America Conference*, 318 pp.
- Zar, J.H., 2010. *Biostatistical Analysis*, fifth ed. Prentice Hall, New Jersey.
- Zhu, S., Chen, S., 2002. The impact of temperature on nitrification rate in fixed film biofilters. *Aquacultural Engineering*, 26, 221 -237.

## 5. CONCLUSÕES GERAIS

- a) O modelo chafariz é o modelo que apresenta o maior SAE entre os quatro modelos testados e que sendo testado em águas claras como em águas com bioflocos em menores salinidades, continua sendo o aerador mais eficiente em termos de SAE do que o modelo soprador.
- b) A estabilidade dos parâmetros de qualidade de água e a atividade microbiana, permite comprovar que o modelo chafariz não influenciou negativamente na configuração e na funcionalidade do biofoco ao compara-lo com o desempenho do modelo soprador.
- c) Ao comparar os índices de produção obtidos pelos dois modelos de aeradores sugerem que utilizando o modelo chafariz se conseguem os mesmos resultados de produção do que utilizando o modelo soprador.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- a) Ao promover um maior contato com a atmosfera, o modelo chafariz pode ser usado em épocas mais quentes colaborando assim a evitar a diminuição de oxigênio dissolvido produto da elevação da temperatura.
- b) A pouca turbulência gerada pelo modelo soprador consegue manter a temperatura da água mais constante, o que significaria uma vantagem para o seu uso em épocas mais frias sempre e quando consiga-se manter os níveis de oxigênio dissolvido suficientes para a espécie produzida.
- c) O fato de que nesta pesquisa tenha-se encontrado que existem modelos com melhores resultados de eficiência e de instalação não implica na necessidade de retirar ou trocar todos os aparelhos até então utilizados nas plantas de produção. O que se recomenda é avaliar a possibilidade de incrementar a eficiência de aeração considerando o tipo de tanque que se possui e utilizando aeradores mais eficientes como complementos.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS DA INTRODUÇÃO

ALLAN, G., MAGUIRE, G. Lethal levels of low dissolved oxygen and effects of short-term oxygen stress on subsequent growth of juvenile *P. monodon*. **Aquaculture**, v. 94, p 27-34. 1991.

AVNIMELECH, Y. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. **Aquaculture**, v. 176, p. 227 – 235. 1999.

AVNIMELECH, Y. **Biofloc Technology – A Practical Guide Book**. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, United States. 2. Ed. 2012.

AVNIMELECH Y. Bio-filters: The need for a new comprehensive approach. **Aquaculture**, v. 34, p. 172-178. 2006.

AVNIMELECH, Y. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds. **Aquaculture**, v. 264, p 140 – 147. 2007.

AVNIMELECH, Y., RITVO, G. Shrimp and fish pond soils: processes and management. **Aquaculture**, v. 220, p. 549-569. 2003.

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, p. 29 - 35. 2008.

BERTHELSON, C., CATHCART, T., POTE, J. In situ measurement of sediment oxygen demand in catfish ponds. **Aquacultural Engineering**, v. 15, p. 261-271. 1996.

BETT, C., VINATEA, L. Combined effect of body weight, temperature and salinity on shrimp *Litopenaeus vannamei* oxygen consumption rate. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 57, p. 305-314. 2009.

BOMBARDELLI, R. A. et al. Desempenho reprodutivo e zootécnico e deposição de lipídios nos hepatócitos de fêmeas de tilápia-do-nilo alimentadas com rações de diversos níveis energéticos. **R. Bras. Zootec.** Viçosa. v. 38, n. 8, Aug. 2009.

- BOSMA, R.H., VERDEJEM, M.C.J. Sustainable aquaculture in ponds: Principles, practices and limits. **Livestock Science**, v. 139, p. 58–68. 2011.
- BOYD, C., AHMAD, T. Evaluation of Aerators for Channel Catfish Farming. **Alabama Agricultural Experiment Station** Auburn University, Bulletin 584, 52 pp. 1987.
- BOYD, C., DANIELS, H. Performance of surface aerators in saline waters. **Prog. Fish Cult.**v. 49, p. 306–308. 1987.
- BOYD, C., MARTINSON, D. Evaluation of propeller-aspirator-pump aerators. **Aquaculture** v. 36, p. 283-292. 1984.
- BOYD, C., WATTEN, B. Aeration systems in aquaculture. **Rev. Aquat. Sci.**, v. 1, n. 3, p. 425-472. 1989.
- BOYD, C. Water Quality Management and Aeration in Shrimp Farming. **Fisheries and Allied Aquacultures Departmental Series # 2. Auburn University**. 83 pp. 1989.
- BOYD, C. Pond water aeration systems. **Aquacultural Engineering**, v. 18, p. 9-40. 1998.
- BOYD, C.E., CLAY, J.W. Evaluation of Belize Aquaculture, Ltd: A Superintensive Shrimp Aquaculture System. **Report prepared under the World Bank, NACA, WWF and FAO Consortium Program on Shrimp Farming and the Environment**. 17pp. 2002.
- BROWDY, C. et al. Perspectives on the application of closed shrimp culture systems. In: C.L. Browdy and D.E. Jory, (Eds.) *The New Wave, Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Culture, Aquaculture The World Aquaculture Society*, p. 20–34. 2001.
- BURFORD M.A. et al. Microbial Communities Affect Water Quality Shrimp Performance at Belize Aquaculture. **Global Aquaculture Alliance**. v. August. 2003.
- BURFORD, M.A. Nutrient and microbial dynamics in high intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize. **Aquaculture**, v. 219, p. 393-411. 2003.

BURFORD, M.A. et al. The contribution of flocculated material to shrimp nutrition in a high-intensity, zero-exchange system zero-exchange shrimp (*Litopenaeus vannamei*). **Aquaculture**, v. 232, p. 525-537. 2004.

BURIOL, G.A. Evaporação d'água em estufas plásticas e sua relação com o ambiente externo: 1 – avaliação com o uso do tanque classe A e do evaporímetro de Piche. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 1, p. 35-41. 2001.

CANCINO, B. Design of high efficiency surface aerators: Part 2. Rating of surface aerator rotors. **Aquacultural Engineering**, v. 31, n 1–2, p 99–115. 2004.

CANONICO, G.C. et al. The effects of introduced tilapias on native biodiversity. **Aquatic Conservation: Marine Freshwater Ecosystems**, v. 15, p. 463–483, 2005.

CHAMBERLAIN, G. et al. Advantages of Aerated Microbial Reuse Systems With Balanced C:N. III: Practical Applications . **Global Aquaculture Alliance**, v. October, 2001.

CHANG, W., OUYANG, H. Dynamics of dissolved oxygen and vertical circulation in fish ponds. **Aquaculture**, v.74, p. 263-276. 1988

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

CRAB, R. et al. Biofloc technology in aquaculture: beneficial effects and future challenges. **Aquaculture**, v. 357, p. 351–356. 2012.

DALLA-SANTA, K; VINATEA, L. Evaluation of respiration rates and mechanical aeration requirements in semi-intensive shrimp *Litopenaeus vannamei* culture ponds. **Aquacultural Engineering**, 36, 73-80. 2007.

DAMBO W. B., RANA K. J. Effects of stocking density on growth and survival of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) fry in the hatchery. **Aquaculture and Fisheries Management**, v. 23, p. 71-80, 1992.

DELGADO, P. et al. Physical, chemical and biological characteristics of radially aerated shrimp ponds. **Aquaculture**, v. 217, p. 235-248. 2003

- 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, p. 346-358. 2006.
- EL-SAYED, A.F.M.; MANSOUR, C.R.; EZZAT, A.A. Effects of dietary lipid source on spawning performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) broodstock reared at different water salinities. **Aquaculture**, v. 248, n.1-4, p.187-196, 2005.
- EL SAYED, A.F.M. Effects of stocking density and feeding levels on growth and feed efficiency of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) fry. **Aquaculture Research**, v. 33, p. 621-626. 2002.
- ESHCHAR, M. et al. Intensive fish culture at high ammonium and low pH. **Aquaculture**, 255, p. 301-313, 2006.
- EDWARDS, P. Aquaculture environment interactions: Past, present and likely future trends. **Aquaculture**, In press. 2015.
- EMATER, 2004. Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural. **Projeto de Desenvolvimento da Aquicultura e Pesca no Litoral do Paraná**. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná. Curitiba, 2004. 44p.
- FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture**. Rome: Roma, 2014. 223pp.
- FAST, A., BOYD, C. Water circulation, aeration and other management practices. **In: Marine Shrimp Culture: Principles and Practices**. Arlo Fast y James Lester (Eds.). Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1992, p. 457-495.
- FITZSIMMONS, K. Tilapia: most important aquaculture species of the 21st century. **In: Proceedings From The Fifth International Symposium On Tilapia Aquaculture, 2000, Rio de Janeiro**. Anais... 2000, p.3-8.
- FÜLBER, V.M. et al. Desempenho comparativo de três linhagens de tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* em diferentes densidades de estocagem. **Acta Scientiarum**. Animal Sciences, Maringá, v.31, n.2, p.177-182, 2009.

HANSON, A. et al. Greening China's fish and fish products market supply chains. **The International Institute for Sustainable Development**, disponível em: [www.iisd.org/publications/pub.aspx?id=1474](http://www.iisd.org/publications/pub.aspx?id=1474). 2011.

HARGREAVES, J.A. Biofloc Production Systems for Aquaculture. **SRAC Publication** No. 4503, 2013.

HOPKINS, J. The relationship between feeding rate, paddlewheel aeration rate and expected dawn dissolved oxygen in intensive shrimp ponds. **Aquacultural Engineering**, v. 10, p. 281-290, 1992.

KEPENYES, J., VÁRADI, L. Aeration and oxygenation in aquaculture. **In: Inland Aquaculture Engineering. Aquaculture Development and Coordination Programe, UNDP, FAO, UDCP/REP/84/21**, 1984, p. 473-50.

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 Tilapias em sistema com bioflocos sem renovação de água. **Panorama da Aquicultura**, v. 21, n. 125, p. 14-23. 2011a.

KUBITZA, F. **Tilápia: Tecnologia e planejamento na produção comercial**, 2 ed. Jundiaí. 2011b.

KUMAR, A.; MOULICK, S.; MAL, B.C. Performance evaluation of propeller-aspirator-pump aerator. **Aquacultural Engineering**, v. 42, p.70-74, 2010.

LOVSHIN, L.L. Tilapia culture in Brazil. **In: COSTA-PIERCE, B.A.; RAKOCY, J.E. (Ed.). Tilapia aquaculture in the Americas. Louisiana: The World Aquaculture Society**, v. 2, 2000, p. 133-140.

MADENJIAN, C., ROGERS, G., FAST, A. Predicting night time dissolved oxygen loss in prawn ponds of Hawaii: part II. A new method. **Aquacultural Engineering**, v. 6, p. 209-285. 1987.

MARTINEZ, L. et al. Effect of aeration rate on growth, survival and yield of white shrimp *Penaeus vannamei* in low water exchange ponds. **Aquacultural Engineering**, v. 16, p. 85-90. 1997.

MATAVELI, M. Qualidade do sêmen em tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), alimentadas com dietas contendo diferentes níveis de vitamina C. **Acta Scientiarum Maringá**, v. 32, n. 3, p. 345-349, 2010

MATHUR, A., RAFIUDDIN, A. Oxygen injection systems provide emergency aeration, D.O. Management. **Global Aquaculture Advocate**, v. June, p. 64-65, 2005.

McABEE, B. et al. The use of greenhouse-enclosed raceway systems for the super-intensive production of pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* in the United States. **Global Aquaculture Advocate**, v. 6, n. 3, p. 40-43. 2003.

McINTOSH, R. et al. Changing Paradigms in Shrimp Farming. V: Establishment of heterotrophic bacterial communities. **Global Aquaculture Alliance**, v. February. 2001.

McNEIL, R. Zero exchange, aerobic, heterotrophic systems: key considerations. **Global Aquaculture Advocate**, v. June, p.72-76. 2000.

MORIARTY, D.J.W. The role of microorganisms in aquaculture ponds. **Aquaculture**, v. 151, p. 333-349. 1997.

MUIR, J.F., YOUNG, J.A. Aquaculture and Marine Fisheries: Will Capture Fisheries Remain Competitive?. **J. Northw. Atl. Fish. Sci**, v. 23, p. 157-174. 1998.

MOURA, P.S. et al. Desenvolvimento larval e influência do peso das fêmeas na fecundidade da tilápia do Nilo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.6, n.3, p.531- 537. 2011.

MPA. Ministerio de pesca e Aquicultura. **Boletim estatístico da pesca e aquicultura 2011**. Brasília. 2013

NAYLOR, R.L. Effect of aquaculture on world fish supplies. **Nature**, v. 405, p.1017-1024, 2000.

NETTO, J., VINATEA, L. Análise da eficiência de duas disposições de aeradores, tipo paddlewheel, em viveiros de cultivo de camarão *Litopenaeus vannamei*. **B. Inst. Pesca**, v. 31, n. 2, p. 163-169. 2005.

ONO, E.A., KUBITZA, F. **Cultivo de peixes em tanques-rede**. 3. ed. Jundiaí: 2003.

PETERSON, E., WADHWA, L., HARRIS, J. Arrangement of aerators in an intensive shrimp grow out pond having a rectangular shape. **Aquacultural Engineering**, v. 25, n. 1, p. 51-65. 2001.

PETERSON, E., WALKER, M. Effect of speed on Taiwanese paddlewheel aeration. **Aquacultural Engineering**, v.26, p. 129-147. 2002.

PIEDRAHITA, R. H. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. **Aquaculture**, v. 226, p. 35-44. 2003.

QUISPE, M.; BERGER, C. Peru and Ecuador Improve Shrimp Farming. **Panorama Acuícola Magazine**, p. 54-61, 2006.

RAKOCY, J. E. An integrated fish and field crop system for arid areas. **In: COSTA-PIERCE, B. A. (Ed.). Ecological Aquaculture: the evolution of the blue revolution. Oxford: Blackwell Science, 2002, p. 263-285.**

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, p. 89-98. 2010.

ROGERS, G.L. Aeration theory and its application to shrimp culture. **In: BROWDY, C., JORY, D. The Rising Tide, Proceedings of the special session on sustainable shrimp farming, Aquaculture 2009. The World Aquaculture Society, Baton Rouge Louisiana, USA, 2009, p. 211-219.**

SAMOCHA, T. et al. Recent Advances In Super-Intensive, Zero-Exchange Shrimp Raceway Systems. **Global Aquaculture Advocate**, v. 15, n. 6, p. 70-71. 2012.

SAMOCHA, T. et al. Use of molasses as carbon source in limited discharge nursery and grow-out systems for *Litopenaeus vannamei*. **Aquacultural Engineering**, v. 36, p. 184-191. 2007.

SCHRYVER, P.D. et al. The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture. **Aquaculture**, v. 277, p. 125–137. 2008.

SCHVEITZER, R. et al. Effect of different biofloc levels on microbial activity, water quality and performance of *Litopenaeus vannamei* in a tank system operated with no water exchange. **Aquacultural Engineering**, v. 56, p.59-70. 2013.

SPERLING, M.V. **Lodos ativados**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 415 pp. 1997.

SPERLING, M.V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Volume 1 Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 3.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG. 2005.

TAW, N. Biofloc technology expanding at white shrimp farms. **Global Advocate**, v.10, p. 20-22. 2010.

TIMMONS, M.B., EBELING, J.M. Recirculating Aquaculture. **NRAC Publication No. 401-2010**. Ithaca, NY, 948 pp. 2010

TSADIK, G.G., BART, A.M. Effects of feeding, stocking density and water-flow rate on fecundity, spawning frequency and egg quality of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) **Aquaculture**, v. 272, p. 380–388. 2007.

TUCKER, C. Pond Aeration **SRAC Publication No. 3700**, 8pp. 2005.

VALBUENA-VILLARREAL, R.D., CRUZ-CASSALLAS, P.E. Efecto del peso corporal y temperatura del agua sobre el consumo de oxígeno de tilapia roja (*Oreochromis* sp). **Orinoquia**, v. 10, p. 57-63. 2006.

VAN WYK, P., Production of *L. vannamei* in Recirculating Aquaculture Systems: Management and Design Considerations, in: **Rakestraw, T.T., Douglas, L.S., Marsh, L., Granata, L., Correa, A., Flick, G.J. (Eds), Proceedings of the 6th International Conference on Recirculation Aquaculture. Roanoke, Virginia, 2006, p. 38-47.**

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, p. 17–24. 2010.

VINATEA, L., CARVALHO, J. Influence of water salinity on the SOTR of paddlewheel and propeller-aspirator-pump aerators, its relation to the number of aerators per hectare and electricity costs. **Aquacultural Engineering**, v. 37, p. 73-78. 2007.

VINATEA, L. et al. Oxygen consumption of *Litopenaeus vannamei* juveniles in heterotrophic medium with zero water exchange. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 534-538. 2009.

VINATEA, L. Princípios químicos de qualidade da água em aquíicultura, Segunda edição revisada e ampliada. 2. ed. Florianópolis: **Editorial UFSC**. 2004.

WASIELESKY, 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, p. 396-403. 2006.

WATANABE, W.O., LOSORDO, T.M., FITZSIMMONS, K. Tilapia production systems in the Americas: technological advances, trend, and challenges. **Reviews in Fisheries Science**, v.10, p. 465-498. 2002.

WENYAN, L. et al. Efficiency of biofloc technology in suspended growth reactors treating aquacultural solid under intermittent aeration. **Aquacultural Engineering**, v. 59, p. 41–47. 2014

WHO. **World Health Organization technical report series # 916**, 2003. 150pp.

WINCKLER-SOSINSKI, L.T., LEBOUTE E.M. Desempenho de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*) criada em gaiolas flutuantes, com diferentes taxas de estocagem e peso iniciais, no sul do Brasil. **B. Inst. Pesca**, v. 26, n. 1, p. 41-48. 2000.