



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PESCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PESCA

JÉSSICA LUCINDA SALDANHA DA SILVA

TAXA ÓTIMA DE ARRAÇOAMENTO DE JUVENIS DE TILÁPIA DO NILO
(*Oreochromis niloticus*) CULTIVADOS EM SISTEMA BASEADO EM SUBSTRATO
ARTIFICIAL, EM DIFERENTES DENSIDADES DE ESTOCAGEM.

FORTALEZA

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

- S58t Silva, Jéssica Lucinda Saldanha da.
Taxa ótima de arraçoamento de juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivados em sistema baseado em substrato artificial, em diferentes densidades de estocagem / Jéssica Lucinda Saldanha da Silva. – 2014.
113 f. : il., enc. ; 30 cm.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia de Pesca, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca, Fortaleza, 2014.
Área de Concentração: Recursos pesqueiros e Engenharia de pesca.
Orientação: Prof. Dr. Marcelo Vinícius do Carmo e Sá.
1. Tilápia (Peixe). 2. Peixe – Alimentação e rações. I. Título.

JÉSSICA LUCINDA SALDANHA DA SILVA

TAXA ÓTIMA DE ARRAÇOAMENTO DE JUVENIS DE TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*) CULTIVADOS EM SISTEMA BASEADO EM SUBSTRATO ARTIFICIAL, EM DIFERENTES DENSIDADES DE ESTOCAGEM.

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Pesca, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Pesca. Área de concentração: Aquicultura.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Vinícius do Carmo e Sá.

FORTALEZA

2014

JÉSSICA LUCINDA SALDANHA DA SILVA

TAXA ÓTIMA DE ARRAÇOAMENTO DE JUVENIS DE TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*) CULTIVADOS EM SISTEMA BASEADO EM SUBSTRATO ARTIFICIAL, EM DIFERENTES DENSIDADES DE ESTOCAGEM.

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Pesca, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Pesca. Área de concentração: Aquicultura.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Vinícius do Carmo e Sá.

Aprovada em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo Vinícius do Carmo e Sá (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr^a. Oscarina Viana de Sousa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr^a. Alessandra Cristina da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus, fonte do meu viver.

Aos meus Pais, Francisco Edson e Tânia Saldanha.

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu salvador e Senhor, por ter mim concedido à vida, e com ela todas as dádivas proporcionadas. Pela paciência, saúde e sabedoria.

Aos meus pais, Francisco Edson e Tânia Saldanha pelo amor dedicado todo esse tempo, e por me proporcionarem a satisfação e a alegria de hoje estar realizando mais um sonho. Nada pode descrever o amor que sinto por vocês.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcelo Vinícius do Carmo e Sá, por ter me concedido a oportunidade de trabalhar sob sua orientação, pela dedicação e atenção sempre prestada para comigo, e por seus valiosíssimos ensinamentos, os quais contribuíram para concretização desse trabalho.

Ao meu companheiro, Nailson Brito, pelo amor e amizade dedicados a mim.

Às minha amigas-irmãs, Nayagra Vidal e Rebeca Lorangeira, pela amizade e pelo amor sempre demonstrado, e por sempre me ajudarem em tudo. São mais que especiais.

Aos meus amigos Davi Cavalcante, Roberto Lima, Lorena Leite, pelo companheirismo, pelo carinho, pela ajuda nas atividades acadêmicas e pelos momentos de alegria nas atividades laboratoriais. Vão estar presentes na minha vida para sempre.

A Kelma Pires e Daniel Barroso pela amizade e risadas compartilhadas ao longo desses anos. Embora pertencentes a outro laboratório, sempre me ajudaram e me escutaram nos momentos mais tensos. Por tudo, eu agradeço.

Aos meus companheiros de Laboratório (LCTA) que sempre estiveram dispostos a me ajudar, que foram indispensáveis para a realização desse trabalho. Nunca me esquecerei do empenho de vocês, afinal de contas sempre é melhor dois do que um, e no meu caso, pude contar não só com duas pessoas, mas com todos vocês: Vanessa Tomaz, Nayara Caldini, Hermano Hertz, Leonardo Capistrano, Sara Andrade, Pedro Roberto, Xavier, Davi Cavalcante, Roberto Lima, Rafael Barroso, Michael Akao, Fabrícia Quaresma, Fernando Luís, Lorena Leite.

A Prof^a. Oscarina Viana por ter aceitado participar da banca e por ter feito valiosas considerações que contribuíram para o maior enriquecimento do presente trabalho, e pela sua atenção sempre prestada, eu agradeço muito.

A Prof^a. Alessandra Cristina por ter sido tão solícita em aceitar participar da avaliação do trabalho, e pelas considerações pertinentes e cabíveis a dissertação, a qual contribuiu de forma significativa para o melhoramento da mesma. E pela amizade prestada, eu agradeço de coração.

A Prof^a. Silvana Saker Sampaio por desempenhar de forma tão linda e competente a sua função, seja como professora ou como coordenadora do curso de Pós-graduação em Engenharia de Pesca. E por repassar valores tão importantes, que contribuíram sem dúvida alguma para minha formação profissional e pessoal também.

Aos meus familiares pelo amor e carinho sempre prestados a minha pessoa. Em especial aos meus avós paternos, Raimundo e Marinete.

A todos os professores do curso de Engenharia de Pesca e do programa de Pós-graduação em Engenharia de Pesca, pelos ensinamentos passados durante todo esse período de estudo.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo incentivo acadêmico, o qual contribuiu para que o presente trabalho fosse desenvolvido com sucesso.

“A ciência humana de maneira nenhuma nega a existência de Deus. Quando considero quantas e quão maravilhosas coisas o homem compreende, pesquisa e consegue realizar, então reconheço claramente que o espírito humano é obra de Deus, e a mais notável”.

Galileu Galilei

RESUMO

As taxas de arraçoamento praticadas em cultivos de peixes influenciam diretamente no retorno econômico da atividade, pois taxas excessivas resultam em prejuízos zootécnicos, econômicos e ao meio ambiente. Uma alternativa para melhorar a qualidade da água de cultivo e aumentar a produção de pescado é o emprego de substratos artificiais para colonização por perifíton. O presente trabalho foi realizado em duas fases consecutivas. A primeira fase teve como objetivo geral determinar, em sistema de cultivo de peixes baseado em substrato, a taxa de arraçoamento ótima, em cada faixa de peso corporal, que maximiza o ganho em peso e a eficiência alimentar; e minimiza as concentrações de amônia e nitrito na água de cultivo. Utilizando sete tratamentos e um controle, com cinco repetições cada, totalizando 40 tanques de 250 L. Nos grupos tratados foram avaliadas taxas crescentes de arraçoamento, iniciando-se com os seguintes valores: 3; 6; 9; 12%; 15, 18 e 21% da biomassa ao dia. A segunda fase do trabalho teve por objetivo determinar a melhor densidade de estocagem de juvenis de tilápia alimentados sob taxas otimizadas, em sistema de cultivo baseado em substrato. Pela análise de regressão dos resultados de peso final, taxa de crescimento específico e produtividade em função das taxas de arraçoamento empregadas, observou-se aumento dessas variáveis até a taxa de arraçoamento inicial de, aproximadamente, 12% biomassa dia⁻¹, ocorrendo queda dessas variáveis com a elevação da taxa de alimentação. As variáveis de qualidade de água para taxa alimentar inicial de 12%, como NAT (0,39 mg/L), NH₃ (0,026 mg/L) e O₂D (5,18 mg/L) ficaram dentro dos níveis aceitáveis para o cultivo de tilápia. Com o aumento da taxa de alimentação, houve piora da qualidade de água, não sendo possível observar o efeito de biofiltro do perifíton. Concluiu-se, na primeira fase, que a taxa ótima de arraçoamento de juvenis de tilápia do Nilo cultivados em tanques com substratos submersos para perifíton, na fase de recria (1 – 30 g), corresponde à taxa inicial de 12% biomassa dia⁻¹. Na segunda fase experimental, a taxa de arraçoamento e a densidade de estocagem que proporcionaram maior peso corporal final (25 g), produtividade (14,77 g/m³/dia) e TCE (5,16) foram iguais a 12% da biomassa dia⁻¹ (inicial) e 9 peixes/tanque, respectivamente. As variáveis de qualidade de água para esse tratamento se apresentaram dentro das faixas aceitáveis para o cultivo de tilápia do Nilo.

Palavras-chave: Taxa de arraçoamento. Densidade de estocagem. Tilápia. Perifíton.

ABSTRACT

The feeding rates practiced in fish cultured directly influence the economic return of activity, because excessive rates result in zootechnical, economic losses and environmental. An alternative for improving the quality of crop water and increase the production of fish is the use of artificial substrates for colonization by periphyton. This study was conducted in two consecutive phases. The first phase of research was aimed at determining, in fish farming system based substrate, the optimal rate of feeding in each track of body weight, that maximizes the weight gain and feed efficiency, and minimizes the concentrations of ammonia and nitrite in pond water. Using seven treatments and a control, with five repetitions each, totaling 40 tanks of 250 L. In the treated groups growing feeding rates were evaluated, beginning with the following values: 3, 6, 9, 12%; 15, 18 and 21% biomass per day. The second phase of the study aimed to determine the best stocking density of juvenile tilapia fed at rates optimized in the cropping system based on substrate. By regression analysis of the results of final weight, specific growth rate and yield as a function of feeding rates employed, these variables observed increase in initial feed rate of about 12% of the biomass day⁻¹, occurring decreased these variables with increasing feed rate. Variables of water quality for initial feed rate of 12%, as NAT (0,39 mg/L), NH₃ (0,026 mg/L) and O₂D (5,18 mg/L) were within the acceptable for tilapia levels. With the increase in feed rate, there was worsening in water quality, it was not possible observe the effect of biofilter periphyton. Therefore in the first phase, that the optimal rate of feeding of juvenile Nile tilapia cultured in ponds with submerged substrates for periphyton, in the growing phase (1-30 g), corresponds to the initial rate of 12% biomass day⁻¹. In the second experimental phase, the rate of feeding and stocking density showed higher final body weight (25 g), yield (14,77 g/ m³/day) and TCE (5,16) were equal to 12% biomass day⁻¹ (initial) and 9 fish/tank, respectively. The variables of water quality for this treatment were within the acceptable for growing tilapia tracks.

Keywords: Rate of feeding. Stocking density. Tilapia. Periphyton.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1	Taxa de arraçoamento em piscicultura.....	15
2.2	Perifíton como purificador da água e alimento natural.....	15
2.3	Alimentação da tilápia do Nilo.....	17
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1	Local de realização da pesquisa.....	19
3.2	Peixes e Sistema de cultivo.....	19
3.3	Delineamento experimental (Fase 1)	20
3.4	Variáveis experimentais e procedimentos analíticos.....	23
3.4.1	<i>Qualidade de água e do solo</i>	23
3.4.2	<i>Fitoplâncton</i>	23
3.4.3	<i>Perifíton</i>	24
3.4.4	<i>Desempenho zootécnico</i>	25
3.5	Delineamento experimental (Fase 2)	26
3.6	Variáveis experimentais e procedimentos analíticos.....	28
3.6.1	<i>Qualidade de água e do solo</i>	28
3.6.2	<i>Fitoplâncton</i>	28
3.6.3	<i>Perifíton</i>	29
3.6.4	<i>Desempenho zootécnico</i>	29
3.7	Análises estatísticas.....	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1	Qualidade de água (primeira fase)	31
4.2	Desempenho zootécnico (primeira fase).....	51
4.2.1	<i>Sobrevivência</i>	51
4.2.2	<i>Peso corporal final</i>	52
4.2.3	<i>Taxa de crescimento específico</i>	54
4.2.4	<i>Produtividade</i>	55
4.2.5	<i>Fator de conversão alimentar</i>	56
4.2.6	<i>Taxa de eficiência proteica</i>	58
4.3	Qualidade de água (segunda fase)	59

4.3.1	<i>Temperatura, pH e condutividade elétrica da água.....</i>	59
4.3.2	<i>Oxigênio dissolvido e dióxido de carbono.....</i>	64
4.3.3	<i>Alcalinidade total e dureza total.....</i>	68
4.3.4	<i>Produtividade primária fitoplanctônica, transmitância óptica a 663 nm e transparência.....</i>	70
4.3.5	<i>Variáveis de solo (Carbono orgânico e pH do solo)</i>	79
4.3.6	<i>Compostos nitrogenados: nitrogênio amoniacal total (NAT), amônia não- ionizada (NH₃) e nitrito.....</i>	82
4.3.7	<i>Fósforo reativo, ferro total e gás sulfídrico.....</i>	89
4.3.8	<i>Biomassa perifítica.....</i>	95
4.4	<i>Desempenho zootécnico dos juvenis de tilápia.....</i>	98
4.4.1	<i>Índice de uniformidade dos juvenis de tilápia.....</i>	102
5	CONCLUSÕES.....	104
	REFERÊNCIAS.....	106

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento da população mundial, aumenta a demanda por alimentos proteicos, tanto de origem vegetal como animal. Dentre as atividades agropecuárias, destaca-se no cenário mundial a aquicultura. Nos últimos anos, tem sido crescente a participação da aquicultura na produção mundial de pescado (FAO, 2010). Com a diminuição dos estoques pesqueiros, faz-se necessário a intensificação da aquicultura para a produção de proteína animal de boa qualidade, a fim de suprir o déficit da pesca. O Brasil reúne condições extremamente favoráveis para o crescimento da aquicultura, dentre eles podemos citar clima favorável, disponibilidade de território e abundância de água (OSTRENSKY; BORGHETTI; SOTO, 2008).

A aquicultura responde atualmente por cerca de 50% de todo o pescado produzido no mundo (FAO, 2012). Em 2011, a aquicultura brasileira alcançou uma produção de 628.704,3 t, sendo que a maior parcela dessa produção, 86,6%, foi oriunda da aquicultura continental. Com relação à região Nordeste, o Estado do Ceará foi o maior produtor na aquicultura continental, com produção de 36.066,3 t. A tilápia do Nilo foi a espécie de peixe mais cultivada no Brasil, com produção de 253.824,1 t (BRASIL, 2011).

O crescimento da tilapicultura proporcionou maior dependência por rações balanceadas e nutricionalmente completas, em função da redução do acesso ao alimento natural nas condições de produção (HISANO; PORTZ, 2007). As despesas com a compra de rações podem representar até 80% dos custos operacionais totais de produção. Além disso, a alimentação exógena dos peixes cultivados é a principal entrada de nutrientes nos sistemas aquáticos. Sendo assim, torna-se necessário a adoção de boas práticas de manejo na nutrição dos organismos confinados, a fim de desenvolver alimentos de baixo impacto poluente (CYRINO *et al.*, 2010), além de determinar a taxa adequada de arraçamento.

Embora as produtividades obtidas nos sistemas intensivos de cultivo de peixes sejam elevadas, esses sistemas excluem da atividade todos aqueles que não possuem capital para instalar o projeto e bancar a aquisição de ração durante todo o ciclo produtivo. Uma alternativa para se viabilizar a inclusão desses potenciais produtores no mercado é a adoção de sistemas de produção de baixo custo, como os sistemas baseados em substratos. Os sistemas de criação de peixes baseados em substrato se caracterizam pela utilização de menores densidades de estocagem, pelo uso de fertilizantes orgânicos e/ou inorgânicos para estimular o crescimento de alimento natural, pela menor necessidade de se fornecer alimento exógeno aos animais e pela existência de substratos submersos para desenvolvimento de

perifíton (MILSTEIN; PERETZ; HARPAZ, 2009). Perifíton é o conjunto de microrganismos que se forma em quaisquer substratos submersos, sendo formado por algas, bactérias, fungos, invertebrados aquáticos, protozoários e detritos (POMPÊO; MOSCHINI-CARLOS, 2003; AZIM *et al.*, 2003a). Por abrigar bactérias nitrificantes, o substrato submerso colonizado por perifíton também funciona como filtro biológico, reduzindo a concentração de amônia e diminuindo a turbidez da água de cultivo por reter sólidos em suspensão. Além disso, há aumento na taxa de mineralização da matéria orgânica por se propiciar mais substrato para colonização bacteriana (AZIM; LITTLE, 2006).

Embora o perifíton represente importante fonte alimentar para os peixes cultivados, o perifíton isoladamente não é capaz de propiciar boas produtividades de pescado. Para isso, faz-se necessário combinar de forma inteligente o uso de alimentação artificial exógena (rações balanceadas) com a alimentação natural (perifíton). Arraçoamento dos peixes sob taxas insuficientes levam a baixo crescimento dos animais cultivados e até mesmo a mortalidades. Por outro lado, o arraçoamento dos peixes de acordo com taxas alimentares excessivas levam a hipereutrofização do meio de cultivo, com o aparecimento de diversos problemas de qualidade de água. Nesse último caso, haveria ainda considerável prejuízo econômico ao produtor. Assim, haveria uma taxa de arraçoamento para cada faixa de peso corporal do peixe que previne as duas situações indesejáveis, anteriormente citadas (oligotrofia e hipertrofia).

O presente trabalho tem por objetivos: determinar, em sistema de cultivo de juvenis de tilápia baseado em substrato: 1- as taxas ótimas de arraçoamento que maximizam o ganho em peso e a eficiência alimentar, e minimizam as concentrações de amônia e nitrito da água de cultivo; e 2 - a melhor densidade de estocagem de juvenis de tilápia alimentados sob taxas otimizadas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Taxa de Arraçoamento em piscicultura

A taxa de arraçoamento pode influenciar diretamente o retorno econômico no cultivo de peixes, pois o arraçoamento abaixo das necessidades fisiológicas pode resultar em baixo desempenho animal, o que aumenta o tempo de cultivo para a obtenção do peso de mercado. Já o excesso de ração fornecida acarreta perda monetária, relacionada ao desperdício de ração, e decréscimo na qualidade de água do viveiro (MEURER *et al.*, 2005). Em relação ao aspecto econômico, sabe-se que os custos com a aquisição de ração podem chegar até 50% dos custos operacionais da fazenda (EL-SAYED *et al.*, 1999). Além disso, taxas excessivas de arraçoamento levam à utilização mínima do alimento natural presente nos tanques, que geralmente possui alto valor biológico. Seria de interesse a adoção de menores taxas de arraçoamento que levassem a um maior uso do alimento natural pelos peixes cultivados e não causassem prejuízo zootécnico. Nesse sentido, a adição de substratos artificiais submersos aos tanques de cultivo para o desenvolvimento de perifíton pode incrementar a oferta de alimento natural, principalmente para espécies onívoras, tais como a tilápia do Nilo.

A aquicultura baseada na comunidade perifítica é uma abordagem que possibilita a prática da criação de forma ecológica e pode colaborar com o desenvolvimento de estratégias para o manejo sustentável dos sistemas. A contribuição na utilização de alimentos naturais na aquicultura implica na diminuição de custos para o produtor, com menor uso de ração comercial, e para o ambiente, pela menor adição de nutrientes ao meio (SIQUEIRA; RODRIGUES, 2009).

Dessa forma, faz-se necessário determinar a taxa ótima de arraçoamento a ser empregada em cultivos de juvenis de tilápia do Nilo baseado em sistema de perifíton, a fim de aliar o bom desenvolvimento dos peixes, sem que haja piora na qualidade de água do meio, e que propicie o aproveitamento do alimento natural em forma de perifíton.

2.2 Perifíton como purificador da água e alimento natural

O perifíton compreende os organismos vivos que se desenvolvem sobre superfícies submersas na água, constituindo-se por algas, bactérias, protozoários anexados e

zooplâncton (SAIKIA; DAS, 2009). De acordo com Azim *et al.* (2005), o perifíton é a designação geral para os microrganismos que se desenvolvem em qualquer substrato submerso (galhos, canos, pedras, etc.) e é formado por algas, bactérias, fungos, invertebrados aquáticos, protozoários e detritos.

A comunidade perifítica é, funcionalmente, um microcosmo em que ocorrem simultaneamente processos internos (autotróficos e heterotróficos), em sua bioderme, e processos de trocas com o meio externo (água circundante). As algas perifíticas são excelentes bioindicadores da qualidade da água e de seu estado trófico. As bactérias são invariavelmente os primeiros organismos colonizadores, com o tempo de colonização variando de algumas horas até alguns dias. Após as bactérias, as algas rapidamente se aderem na bioderme perifítica. A rica camada de bactérias e algas favorece o aparecimento de vários grupos de protozoários. O período estimado para maturação/estabilização é em torno de quatro semanas (POMPÊO; MOSCHINI-CARLOS, 2003).

As vantagens do perifíton quanto à purificação da água advém principalmente dos microrganismos fixados nos substratos, os quais impedem que detritos (fezes, ração não consumida, biomassa fito e zooplânctônica morta) se acumulem no sedimento dos tanques de cultivo, onde o processo de decomposição ocorre mais lentamente. Preso na camada do perifíton, os detritos são decompostos mais rapidamente, sendo mais acessível aos herbívoros. Desta forma, o perifíton aumenta a ciclagem de nutrientes (KESHAVANATH *et al.*, 2002). O perifíton atua na diminuição de compostos tóxicos na água de cultivo, através da reciclagem de compostos nitrogenados, principalmente a amônia, minimizando assim a necessidade de trocas de água. Além disso, proporciona um ambiente mais estável, uma vez que há diminuição do desenvolvimento de bactérias patogênicas, atuando assim como probiótico. Além disso, aumenta a produção de oxigênio e absorve nutrientes, como fósforo (THOMPSON *et al.*, 2002), aumentando a capacidade de carga do sistema de criação, podendo elevar a densidade de estocagem.

Cavalcante *et al.* (2011) testaram dois regimes alimentares “cheio”, no qual taxas alimentares padrões foram integralmente adotadas e “metade”, em que 50% das taxas alimentares regulares foram empregadas no cultivo de juvenis de tilápia do Nilo em sistema baseado em perifíton. Concluíram que os aquários arraçoados pela metade apresentaram menores concentrações de Nitrogênio amoniacal total (NAT), nitrito e fósforo, e observaram também um consumo maior de perifíton pelos peixes pertencentes a esses aquários. Rebouças *et al.* (2012) também constataram os benefícios de diminuição de taxas de arraçoamento em sistemas de cultivo com perifíton em conjunto com o aumento da área submersa. Trabalharam

com 2 taxas de arraçoamento (cheia e cheia menos 30%) e duas áreas submersas para desenvolvimento de perifíton (59,4 e 96,5% da área superficial do aquário) no cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, e concluíram que a combinação de taxas alimentares restritivas com a adoção de maiores áreas de substrato resultou em melhoria na qualidade de água e no desempenho zootécnico dos juvenis.

A rápida e contínua renovação da biomassa perifítica constitui uma importante fonte de alimento natural (KHATOON *et al.*, 2007) permitindo uma transferência eficiente de nutrientes para os níveis tróficos superiores (GONZÁLEZ *et al.*, 2012). O perifíton é importante base alimentar para as cadeias tróficas, sendo rico em proteínas, vitaminas e minerais constituindo um alimento para muitos organismos aquáticos (MOSCHINI-CARLOS, 2006). De acordo com Silva *et al.* (2008) a composição da comunidade de microrganismos influencia fortemente a qualidade nutricional do biofilme. Assim, o uso de biofilme certamente contribuirá para reduzir os custos e fazer a aquicultura como uma atividade ambientalmente amigável.

2.3 Alimentação da tilápia do Nilo

A tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) apresenta características excelentes para o cultivo, como ótimo crescimento, rusticidade, fácil reprodução em cativeiro e boa aceitação da carne pelo mercado consumidor (HAYASHI *et al.*, 1999). Além disso, tem hábito alimentar onívoro, de amplo espectro, que utiliza satisfatoriamente altos teores de proteína vegetal. Espécie mais recomendada para a piscicultura em virtude de adaptar-se facilmente às práticas de manejo alimentar e também por tolerar altas densidades de estocagem (MARENGONI, 2006). Com base no que se sabe sobre os hábitos alimentares, as tilápias parecem ser altamente adequadas para sistemas baseados em perifíton (KESHAVANATH *et al.*, 2004) por terem hábito onívoro (MARENGONI, 2006), e por possuírem sistema digestivo especial capaz de digerir carboidratos (BEVERIDGE; BAIRD, 2000 *apud* KESHAVANATH *et al.*, 2004).

Pesquisa realizada em laboratório mostrou que somente a alimentação realizada por filtração de microalgas não consegue atender a demanda energética de peixes, em especial para as tilápias. Isso enfatiza a importância de outras partículas de alimentos de maior porte em sistemas naturais, tais como os detritos da interface água-sedimento, fragmentos concentrados na superfície de cianobactérias e perifíton (DEMPSTER *et al.*, 1995).

Segundo Dempster, Beveridge e Baird (1993), tilápias jovens ingerem, no mínimo, 10 vezes mais perifíton que fitoplâncton, quando há abundante disponibilidade do primeiro no habitat em que vivem. Com a maior oferta de nutrientes aos peixes a partir do perifíton, poder-se-á obter maiores produtividades nos viveiros, aumentando, dessa forma, a receita dos pequenos produtores.

Vários trabalhos foram realizados com produção de tilápia em sistema baseado em perifíton, tanto em viveiros escavados como em tanques-rede. Esses trabalhos demonstraram a eficiência do sistema na produção e no aumento do desempenho das tilápias cultivadas (DEMPSTER *et al.*, 1993; HUCHETTE *et al.*, 2000; MILSTEIN; PERETZ; HARPAZ, 2009; AZIM *et al.*, 2003c). Naandesha (2003) comenta que se pode produzir até 16 toneladas de tilápia/ha/ano pela simples adição de bambus no viveiro. Isso é devido ao aumento e disponibilidade de alimento e melhor proteção contra predadores (AZIM *et al.*, 2002). Além disso, a utilização de substratos artificiais pode diminuir os efeitos negativos causados pelo aumento da densidade de estocagem (WASIELESKY *et al.*, 2001).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de realização da pesquisa

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Ciência e Tecnologia Aquícola-LCTA, unidade de pesquisa do Departamento de Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Ceará (Campus do Pici, Fortaleza, Ceará).

3.2 Peixes e Sistema de cultivo

Os alevinos de tilápia do Nilo pós-revertidos, com peso corporal de aproximadamente 1,0 g, foram obtidos na Fazenda Bom Princípio, localizada no município de Guaiúba, Ceará. Os peixes foram transportados em sacos plásticos, contendo um terço de água e dois terços de oxigênio puro, até as instalações do LCTA, em Fortaleza. Os peixes foram então transferidos para um tanque de 1.000L contendo água verde com aeração constante para aclimação por quatro dias. Nesse período, os peixes foram alimentados com ração comercial balanceada para peixes tropicais onívoros (Fri-Acqua Inicial, Fri-Ribe), contendo 45% de proteína bruta, sendo ofertada a uma taxa de arraçoamento diária de 15% da biomassa estocada, dividida igualmente em quatro refeições diárias (08h, 11h, 14h e 17h).

O povoamento de juvenis de tilápia nos tanques experimentais foi feito logo após o período de aclimatização, utilizando-se, na primeira fase do trabalho, uma densidade de 6 peixes/tanque (24 peixes m⁻³). E na segunda fase, densidades de 3, 6, 9 e 12 peixes/tanque (12, 24, 36 e 48 peixes m⁻³). Os experimentos foram desenvolvidos na área externa do laboratório (sistema *outdoor de cultivo*), em águas verdes, sendo utilizados 40 tanques circulares de polietileno de 250 L de volume útil. Os peixes permaneceram no sistema experimental durante 10 semanas, na primeira fase, e oito semanas, na segunda fase do trabalho.

O presente trabalho foi realizado em duas fases distintas, descritas a seguir.

3.3 Delineamento experimental (Fase 1)

Na primeira fase do trabalho, havia 8 grupos experimentais, cada um com 5 repetições, totalizando 40 tanques experimentais, em delineamento experimental inteiramente casualizado. O tanque de 250 L contendo 6 peixes (24 peixes/m³) foi considerado como unidade experimental.

Os peixes experimentais receberam diferentes taxas de arraçoamento, as quais tiveram como referência a tabela de alimentação padrão empregada no laboratório, que recomenda, inicialmente, uma taxa de arraçoamento de 12% biomassa dia⁻¹. Essa taxa-padrão foi aumentada em 25, 50 e 75%, originando os tratamentos C+25 (15%), C+50 (18%) e C+75 (21%), respectivamente. Além desses, havia ainda os tratamentos C-100, C-75, C-50 e C-25 com diminuição de 100%, 75%, 50% e 25%, em relação a taxa-padrão, respectivamente. Com isso, as taxas iniciais para esses últimos tratamentos foram iguais a 0 (sem oferta de alimento artificial), 3%, 6% e 9%, respectivamente (Tabela 1). Assim, houve um único fator a ser analisado, que se referiu a taxa ótima de arraçoamento a ser empregada, quando do uso de substrato artificial em tanques de cultivo de tilápia do Nilo.

Em todos os tanques experimentais foram utilizados substratos artificiais submersos em posição vertical, sendo confeccionados de garrafas PET de 2 L (Figura 1). Em cada tanque de cultivo foram colocados 6 garrafas PET, com área individual igual a 1.380 cm². Após duas semanas de cultivo, uma garrafa PET foi retirada de cada tanque, para quantificação inicial da biomassa de perifíton. As garrafas em cada tanque perfizeram uma área total de 6.900 cm², correspondendo a 100% da área do espelho d'água do tanque. Todos os tanques receberam uma camada de areia grossa de 5 cm de espessura. Não houve utilização de aeração mecânica e nem troca de água nos tanques, exceto quando foi necessário fazer reposição de água para manter a taxa inicial. No início, houve a inoculação de 50 mL de água verde/dia, em todos os tanques, durante uma semana.

As garrafas PET ficaram totalmente submersas na água. Ainda havia luminosidade na porção inferior da garrafa, fato esse importante para o bom desenvolvimento do perifíton.

Durante as duas primeiras semanas de experimento, os peixes de todos os tratamentos, inclusive os do C-100, receberam taxa de arraçoamento padrão (C). Esse procedimento foi adotado com o objetivo de fornecer nutrientes para o crescimento da comunidade de perifíton, principalmente nos tanques do controle negativo. Passado esse período, as taxas de alimentação em cada tanque seguiram o estabelecido na Tabela 1.

As duas rações artificiais utilizadas no presente trabalho, isto é, Fri-Acqua Inicial (ração farelada) e Tilapia Starter (diâmetro 1,2 mm), foram analisadas para quantificação exata do teor de proteína bruta (PB) das mesmas. Isso foi realizado no Laboratório de Nutrição Animal, do Departamento de Zootecnia da UFC. As concentrações de PB das duas rações foram iguais a 53,41% e 44,08%, respectivamente.

Figura 1. Substrato artificial utilizado para desenvolvimento do perífíton, confeccionado de garrafa PET 2 L.



Fonte: autor

Tabela 1- Taxas de arraçamento utilizadas em sistema de cultivo baseado em substrato artificial.

Peso do juvenil (g)	Taxa de Arraçamento (Biomassa/dia)								Nº tratos/dia	Granulometria da ração (mm)	%PB
	C-100	C-75	C-50	C-25	C	C+25	C+50	C+75			
1,0 – 1,5	0,00	2,98	5,95	8,9	11,9	14,9	17,9	20,8	4	Farelada	53
1,5 – 2,0	0,00	2,63	5,25	7,9	10,5	13,1	15,8	18,4	4	Farelada	53
2,0 – 2,5	0,00	2,45	4,90	7,4	9,8	12,3	14,7	17,2	4	Farelada	53
2,5 – 3,0	0,00	2,28	4,55	6,8	9,1	11,4	13,7	15,9	4	Farelada	53
3,0 – 3,5	0,00	2,10	4,20	6,3	8,4	10,5	12,6	14,7	4	Farelada	53
3,5 – 4,5	0,00	1,93	3,85	5,8	7,7	9,6	11,6	13,5	4	Farelada	53
4,5 – 5,5	0,00	1,75	3,50	5,3	7,0	8,8	10,5	12,3	4	Farelada	53
5,5 – 7,0	0,00	1,58	3,15	4,7	6,3	7,9	9,5	11,0	4	Farelada	53
7,0 – 9,0	0,00	1,40	2,80	4,2	5,6	7,0	8,4	9,8	4	Farelada	53
9,0 – 16,0	0,00	1,31	2,63	3,9	5,3	6,6	7,9	9,2	4	1,2	44
16,0 – 20,0	0,00	1,23	2,45	3,7	4,9	6,1	7,4	8,6	4	1,2	44
20,0 – 25,0	0,00	1,04	2,08	3,1	4,2	5,2	6,2	7,3	4	1,2	44
25,0 – 30,0	0,00	0,88	1,75	2,6	3,5	4,4	5,3	6,1	4	1,2	44
30,0 – 35,0	0,00	0,88	1,75	2,6	3,5	4,4	5,3	6,1	4	1,2	44
35,0 – 40,0	0,00	0,88	1,75	2,6	3,5	4,4	5,3	6,1	4	1,2	44

Fonte: LCTA.

3.4 Variáveis experimentais e procedimentos analíticos

Variáveis de qualidade de água e do solo, fitoplâncton, perifíton e desempenho zootécnico foram observados no presente trabalho, estando descritas a seguir.

3.4.1 Qualidade de água e do solo

No início do experimento, amostras de água de cada tanque foram coletadas para determinação de indicadores físico-químicos de qualidade da água de cultivo. No decorrer da pesquisa, essas variáveis foram monitoradas com a seguinte periodicidade: temperatura, condutividade elétrica e pH, duas vezes por semana, as 08h e 16h; nitrogênio amoniacal total (NAT) e amônia não-ionizada (NH_3), semanalmente, as 09h; nitrito (método de Griess-Islova), alcalinidade total, ferro dissolvido na água, fósforo reativo, pH do solo e oxigênio dissolvido, quinzenalmente, pela manhã, as 09h; concentração de carbono orgânico do solo e dureza total foram realizadas no início, meio e fim do experimento.

Para obtenção da concentração de amônia não ionizada (NH_3) na água, aplicou-se os valores obtidos de NAT, pH e temperatura da água à Fórmula de Emerson (El-Shafai., 2004).

As determinações da qualidade de água foram realizadas de acordo com o Manual de determinações e práticas laboratoriais do LCTA, que segue as orientações presentes em APHA (1999), com exceção do pH e da condutividade da temperatura, que foram medidos com os seguintes equipamentos portáteis: pHmetro (Marconi PA 200) e condutivímetro com sonda para temperatura, respectivamente.

3.4.2 Fitoplâncton

A transparência da água foi lida diariamente com o auxílio do disco de Secchi entre 09h e 10h. A transmitância óptica da água foi obtida duas vezes por semana, utilizando o espectrofotômetro no espectro de absorção da clorofila a 660-670 nm (Thermo Scientific GENESYS 20), e a produtividade primária fitoplanctônica (PPF), através do método do frasco claro e escuro, quinzenalmente as 08h. As Fórmulas da PPF foram apresentadas por Boyd (1979) e são as seguintes:

$$\text{PPF bruta} = (F_c - F_e) / n^\circ \text{ de horas de incubação}$$

$$\text{PPF líquida} = (F_c - F_i) / n^\circ \text{ de horas de incubação}$$

$$\text{Taxa respiração} = (F_i - F_e) / n^\circ \text{ de horas de incubação}$$

Onde: F_c refere-se ao frasco claro; F_e refere-se ao frasco escuro; F_i a quantificação inicial de O_2D na água; O número de horas de incubação foi igual a 6h (Os frascos eram colocados às 8:00h e retirados às 14:00h; e o O_2D inicial era quantificado as 8:00h).

3.4.3 *Perifíton*

A produtividade do perifíton em miligramas de matéria seca por cm^2 foi obtida no meio e no penúltimo dia do período experimental.

Para a obtenção da biomassa de perifíton, as cinco garrafas PET ao final do experimento foram raspadas com uma espátula e o material recolhido foi colocado em placas de Petri (Figura 2). Essas placas permaneceram na estufa por um período de 24 h a $105^\circ C$, para remoção da umidade. A biomassa foi quantificada através da pesagem da placa de Petri sem e com perifíton após a secagem. Assim, a produtividade do perifíton pode ser quantificada através da divisão da matéria seca do perifíton pela área superficial do substrato, sendo expresso em $mg\ cm^{-2}$. A área do substrato artificial foi devidamente medida, sendo a mesma igual a $1.380\ cm^2$.

Figura 2- A: Substrato artificial colonizado por perifíton; B: placa de Petri após secagem na estufa.



Fonte: autor

3.4.4 Desempenho zootécnico

Após a biometria inicial, biometrias parciais foram realizadas quinzenalmente com a retirada de uma amostra de 50% dos peixes (3 peixes/tanques) para elaboração da curva de crescimento dos peixes, bem como para ajuste da taxa de ração a ser ofertada em cada tanque experimental, no período posterior. Ao final do experimento, todos os peixes foram pesados para obtenção das seguintes variáveis de desempenho zootécnico: Sobrevivência ($\% = 100 \times \text{número de indivíduos final} / \text{número de indivíduos inicial}$); Peso final e Ganho em peso corporal ($GP = \text{biomassa final} / \text{biomassa inicial}$); Taxa de crescimento específico ($\{\% \text{ peso corporal por dia}\} = [(\ln \text{ peso corporal final} - \ln \text{ peso corporal inicial}) / \text{n}^\circ \text{ dias de cultivo}] \times 100$); Biomassa final ($BF = \text{peso médio} \times \text{n}^\circ \text{ ind. estocados} \times \text{sobrevivência}$); Produtividade $= [\text{biomassa final no tanque (g)} / \text{volume do tanque (m}^3\text{) / dia}]$; Fator de conversão alimentar ($FCA = \text{consumo aparente de ração} / \text{ganho em peso corporal}$); e Taxa de eficiência proteica ($TEP = \text{ganho em peso corporal} / \text{proteína consumida}$).

Para realizar o cálculo da TEP, as quantidades ofertadas de cada ração utilizada foram registradas, assim como o valor exato do teor de PB de cada uma delas.

Como a taxa ótima de arraçoamento pode mudar em função da densidade de estocagem dos peixes no tanque, decidiu-se realizar novo experimento no qual a melhor taxa de alimentação determinada na 1ª fase do trabalho fosse aplicada a diferentes densidades de estocagem. Nessa nova fase, testou-se ainda uma taxa alimentar um pouco abaixo da taxa ótima para investigar se, nessa nova condição, não haveria maior consumo de alimento natural (fitoplâncton e perifíton) pelos peixes cultivados.

- **2ª FASE**

3.5 Delineamento experimental

Na 2ª fase experimental, havia oito grupos experimentais, cada um com 5 repetições, totalizando 40 tanques, em delineamento experimental inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 2x4 (taxa de arraçoamento x densidade de estocagem) (Quadro 1).

Na 2ª fase, foram testados simultaneamente dois fatores: as duas melhores taxas de arraçoamento da primeira fase do projeto, ou seja, C-25 e C (9% e 12% peso vivo ao dia, respectivamente; Tabela 2); e quatro densidades diferentes de estocagem, sendo D1 (3 peixes/tanque ou 12 peixes/m³), D2 (6 peixes/tanque ou 24 peixes/m³), D3 (9 peixes/tanque ou 36 peixes/m³) e D4 (12 peixes/tanque ou 48 peixes/m³). O tratamento C se refere ao grupo controle, que na primeira fase do projeto era constituído por uma densidade de estocagem de 6 peixes/tanque, alimentados a taxa de arraçoamento de 12% biomassa/dia.

Todos os tanques possuíam substrato artificial para crescimento de perifíton. Assim como feito na primeira fase experimental, foi retirada, após as duas primeiras semanas, uma garrafa pet de cada tanque para quantificar o perifíton inicial.

O experimento foi desenvolvido na área externa do laboratório (sistema *outdoor* de cultivo), em águas verdes, sendo utilizados 40 tanques circulares de polietileno de 250 L de volume útil. Os animais permaneceram durante 8 semanas no sistema experimental.

As três rações utilizadas nessa fase, isto é, Fri-Acqua Inicial (ração farelada); Pirámirim (extrusada, 1,0 mm) e Fri-Acqua Alevino (diâmetro 2-3 mm) foram analisadas para quantificação exata do teor de proteína bruta (PB) das mesmas, no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da UFC. As respectivas concentrações de PB foram iguais a 51,59%, 43,36% e 35,86%.

Os peixes foram alimentados com a ração farelada até atingirem o peso corporal de 5 g. Isso aconteceu durante as duas primeiras semanas experimentais. Na terceira semana, como os peixes já estavam com mais de 5 g, eles passaram a receber a ração Pirámirim. Da quarta semana em diante, os peixes foram alimentados com a ração Fri-Acqua Alevino.

Quadro 1- Delineamento experimental do trabalho “Efeito de diferentes densidades de estocagem de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e uso de substrato artificial colonizado por perifíton sobre a qualidade de água e crescimento dos peixes”.

TA ¹	DENSIDADE DE ESTOCAGEM (peixes/m ³)			
	D1(12)	D2(24)	D3(36)	D4(48)
C-25(9%)	T1	T2	T3	T4
C (12%)	T5	C	T6	T7

¹TA : Taxa de arraçoamento inicial (% da biomassa estocada por dia);

Tabela 2- Tabela de alimentação seguido no trabalho “Efeito de diferentes densidades de estocagem de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e uso de substrato artificial colonizado por perifíton sobre a qualidade de água e crescimento dos peixes”.

Peso do juvenil (g)	Taxa de arraçoamento (%biomassa/dia)		Nº tratos/dia	Granulometria da ração (mm)	% PB
	C-25	C			
1,0 - 1,5	8,9	11,9	4	Farelada	50
1,5 - 2,0	7,9	10,5	4	Farelada	50
2,0 - 2,5	7,4	9,8	4	Farelada	50
2,5 - 3,0	6,8	9,1	4	Farelada	50
3,0 - 3,5	6,3	8,4	4	Farelada	50
3,5 - 4,5	5,8	7,7	4	Farelada	50
4,5 - 5,5	5,3	7,0	4	Farelada	50
5,5 - 7,0	4,7	6,3	4	1,0	43
7,0 - 9,0	4,2	5,6	4	1,0	43
9,0 - 16,0	3,9	5,3	4	1,0	43
16,0 - 20,0	3,7	4,9	4	2-3	35
20,0 - 25,0	3,1	4,2	4	2-3	35
25,0 - 30,0	2,6	3,5	4	2-3	35
30,0 - 35,0	2,6	3,5	4	2-3	35
35,0 - 40,0	2,6	3,5	4	2-3	35

Fonte: Autor.

3.6 Variáveis experimentais e procedimentos analíticos

Assim como na primeira fase experimental, na segunda fase foram observados indicadores de qualidade de água e de solo, de fitoplâncton, de perifíton e de desempenho zootécnico, descritas a seguir.

3.6.1 *Qualidade de água e do solo*

No início do experimento, amostras de água de cada tanque foram coletadas para determinação de indicadores físico-químicos de qualidade de água de cultivo. No decorrer da pesquisa, a periodicidade do monitoramento dessas variáveis foi da seguinte forma: temperatura, condutividade elétrica e pH, duas vezes por semana, as 08h e 16h; nitrogênio amoniacal total (NAT), amônia não-ionizada, nitrito e oxigênio dissolvido na água, semanalmente, as 09h; alcalinidade, dióxido de carbono, ferro dissolvido na água, fósforo reativo; e pH do solo, quinzenalmente, pela manhã, as 09h; concentração de carbono orgânico do solo, dureza total da água e sulfeto dissolvido total foram realizadas no início, meio e fim do experimento. O cálculo da concentração de H₂S foi feito pela aplicação dos percentuais apresentados por Boyd (2000) aos valores de sulfeto dissolvido total. As determinações da qualidade de água foram realizadas de acordo com o Manual de determinações e práticas laboratoriais do LCTA, que segue as orientações da APHA (1999).

3.6.2 *Fitoplâncton*

As variáveis experimentais relacionadas ao fitoplâncton foram as seguintes: transparência da água, que foi realizada diariamente através da leitura do disco de Secchi, entre 09h e 10h; transmitância óptica da água no espectro da clorofila 660-670 nm, duas vezes por semana, e produtividade primária fitoplanctônica (PPF), quinzenalmente as 08h pelo método dos frascos claro e escuro.

3.6.3 Perifíton

A produtividade do perifíton, em miligramas de matéria seca por cm², foi obtida no meio e no penúltimo dia do período experimental.

3.6.4 Desempenho zootécnico

Após a biometria inicial, onde os peixes foram pesados e medidos individualmente, foram realizadas biometrias parciais, quinzenalmente, com a retirada de todos os peixes de um mesmo tanque para elaboração da curva de crescimento dos peixes, bem como para ajuste da taxa de ração a ser ofertada em cada tanque experimental. Na biometria final, os peixes foram pesados e medidos com o auxílio de uma balança semi-analítica (0,01 g) e de um paquímetro (precisão 0,05 mm), respectivamente, e as seguintes variáveis de desempenho zootécnico foram analisadas: ganho em peso, peso corporal final, taxa de crescimento específico, biomassa final de peixe, fator de conversão alimentar, sobrevivência, taxa de eficiência protéica e fator de condição ($[(\text{peso final}/\text{comprimento final}^3) \cdot 100]$). Foi ainda calculado o índice de uniformidade (%) do peso dos peixes em cada tratamento, que é numericamente igual a $100 - CV$ (coeficiente de variação).

3.7 Análise Estatística

As pressuposições de distribuição normal e de homogeneidade de variância foram checadas antes das análises, por meio do teste de Levene e Shapiro-Wilks. Os dados em percentagem e razão foram analisados após transformação para arcosseno.

Primeira Fase:

Os resultados de qualidade de água foram analisados estatisticamente através da análise de variância (ANOVA) para experimentos inteiramente casualizados. Em caso de diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos, as suas médias foram comparadas duas a duas, utilizando-se do teste de Tukey. O nível de significância adotado foi de 5%.

Curvas de crescimento para ganho em peso, TCE, produtividade, FCA, sobrevivência e TEP, em relação às taxas de arraçoamento testadas, foram ajustadas através

de análise de regressão polinomial de segunda ordem ($y = ax^2 + bx + c$), onde x é a taxa de arraçamento empregada, c é a intersecção da curva, a e b são coeficientes da regressão. O valor que corresponde ao ponto ótimo de arraçamento, em que a eficiência alimentar é maximizada, foi calculado utilizando-se da fórmula $X = -b/2.a$, para cada uma das variáveis acima (SHEARER, 2000).

Segunda fase:

Os resultados obtidos foram analisados estatisticamente através da análise de variância (ANOVA) para experimentos inteiramente casualizados, em arranjo fatorial 2x4. Quando houve diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos, as suas médias foram comparadas duas a duas, utilizando teste de Tukey. O nível de significância adotado foi de 5%.

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio dos softwares *BioStat* (5.0) e Excel 2010 (Microsoft Corp.).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeira fase

4.1 Qualidade de água

A temperatura da água dos tanques de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo não apresentou diferença significativa entre as médias dos tratamentos (Tabela 3), tanto no período matutino quanto no vespertino. Foram verificados valores médios mínimos e máximos de $27,02^{\circ}\text{C} \pm 0,53$ e $27,34^{\circ}\text{C} \pm 0,16$, respectivamente, no horário de 08:00 h, e de $29,89^{\circ}\text{C} \pm 0,90$ e $30,86^{\circ}\text{C} \pm 0,89$, respectivamente, no período das 16:00h. Essas faixas de temperatura foram favoráveis ao desenvolvimento dos juvenis de *O. niloticus*, pois a faixa de conforto da espécie, varia de $27,0^{\circ}\text{C}$ a $32,0^{\circ}\text{C}$. Temperaturas da água acima ou abaixo desse intervalo reduzem o apetite e o crescimento das tilápias, sendo que abaixo de $18,0^{\circ}\text{C}$ há supressão do sistema imunológico (KUBITZA, 2000; EGNA; BOYD, 1997). Apesar das tilápias possuírem forte tolerância à temperatura elevada da água, essa variável tem um papel importante na regulação da taxa metabólica dos peixes, influenciando o crescimento e desenvolvimento satisfatório das espécies (JUN *et al.*, 2012). Além disso, a temperatura está envolvida em diversos processos físicos, químicos e biológicos na água, e de acordo com Mercante *et al.* (2007), ela pode interferir diretamente nas taxas de decomposição da matéria orgânica, no aumento das concentrações de amônia não ionizada (forma tóxica) e no aumento do metabolismo das algas. No presente trabalho, a temperatura não foi afetada pelos tratamentos (taxas crescentes de arraçoamento) e nem pela presença dos substratos artificiais. Duque *et al.* (2012) encontrou efeito significativo do fator substrato (tubos plásticos de polietileno) sobre a temperatura da água do policultivo de *O. niloticus* e *Prochilodus magdalenae*, sendo que a temperatura foi menor nos tratamentos com presença de substrato, igual a $30,7^{\circ}\text{C}$.

O pH matutino apresentou diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 3), apresentando valores menores nos tanques com taxa de arraçoamento maior (C+50 e C+75), com valores médios iguais a $8,02 \pm 0,28$ e $8,03 \pm 0,30$, respectivamente. O mesmo padrão foi observado no pH vespertino da água, que também foi significativamente afetado pelo aumento na taxa de arraçoamento, ficando igual, em média, a $8,72 \pm 0,42$ e $8,66 \pm 0,47$, para os tratamentos C+50 e C+75, respectivamente. Esses valores foram inferiores quando comparados com os valores dos tratamentos que tiveram taxa de arraçoamento moderada.

Duque *et al.* (2012) avaliaram a presença ou ausência de substrato para perífíton, e três estratégias alimentares (0: sem alimento, 20% PB e 25% PB), e encontraram efeito do substrato sobre o pH da água, onde esse foi mais elevado na água dos tanques do policultivo de *O. niloticus* e *P. magdalanea* que continham substrato (canos de polietileno). Os tratamentos C+50 e C+75 eram constituídos por uma taxa de arraçoamento mais elevada (18,0% e 21,0% biomassa/dia), conseqüentemente, uma quantidade maior de ração foi adicionada no meio de cultivo. Além disso, havia presença de biomassa perifítica que servia também como alimento. Houve, conseqüentemente, desperdício de alimento natural e artificial naqueles tanques, ocasionando, assim, maior acúmulo de detritos e matéria orgânica (ração não consumida e fezes dos peixes). Esse material, ao sofrer o processo de decomposição, libera CO₂, amônia, fosfatos e outras substâncias dissolvidas para água (BOYD, 1997; KUBITZA, 1998). O pH da água depende da concentração de CO₂ dissolvido e varia em função do tamponamento da água (BOYD; TUCKER, 1998). De acordo com Esteves (2011), intensos processos de decomposição e respiração tem como resultado a liberação de CO₂ para água e conseqüente, formação de ácido carbônico e íons H⁺, os quais conferem a acidificação da água e diminuição do pH. Assim, como se pode observar, o aumento do taxa de arraçoamento contribuiu para uma leve diminuição do pH da água de cultivo. Apesar de ter havido diferença de pH matutino entre os tratamentos, essa variável estava na faixa ideal do cultivo de peixes, que é 6,5 a 9,0 (SÁ, 2012).

Não houve diferença significativa para condutividade elétrica (CE) entre os tratamentos (Tabela 3), tanto no período de 08:00h quanto no de 16:00h. No entanto, a média de CE nos dois períodos foi igual a $1123,0 \pm 41,9 \mu\text{S cm}^{-1}$, valor esse superior ao recomendado para o cultivo de peixes, que tem que ser inferior a $1000 \mu\text{S cm}^{-1}$ (BOYD; TUCKER, 1998; SÁ, 2012). A CE é a capacidade da água em permitir a passagem da corrente elétrica, e os principais elementos responsáveis pela CE são os íons inorgânicos dissolvidos ou a sua salinidade (SÁ, 2012). De acordo com Esteves (2011), a CE pode ajudar a detectar fontes poluidoras nos ecossistemas aquáticos. Apesar de não ter havido diferença entre os tratamentos, foi observado a eutrofização da água de cultivo, devido principalmente à elevada entrada de ração nos tanques, que não sendo inteiramente consumida, parte dela é liberada na água e decomposta, resultando na liberação de nutrientes inorgânicos que fazem com que a CE aumente continuamente.

Tabela 3- Variáveis de qualidade de água monitoradas duas vezes por semana no período de 08:00 e 16:00 h nos tanques de polietileno de 250 L, que foram estocados com 6 juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* ($1,41 \pm 0,07$ g) submetidos a taxas crescentes de arraçoamento e com substrato artificial para desenvolvimento de perifíton (média \pm d.p; n=5).

VARIÁVEL ¹	TRATAMENTO								ANOVA p
	C-100	C-75	C-50	C-25	C	C+25	C+50	C+75	
08:00 Temp.	27,02 \pm 0,53	27,26 \pm 0,26	27,22 \pm 0,27	27,34 \pm 0,16	27,34 \pm 0,10	27,25 \pm 0,18	27,22 \pm 0,17	27,13 \pm 0,29	ns
16:00 Temp.	30,53 \pm 0,98	30,77 \pm 0,90	30,86 \pm 0,89	30,70 \pm 0,69	30,13 \pm 0,61	29,89 \pm 0,90	30,00 \pm 0,58	30,04 \pm 0,63	ns
08:00 pH	8,48 \pm 0,24 ab	8,62 \pm 0,16 a ²	8,64 \pm 0,20 a	8,47 \pm 0,31 ab	8,19 \pm 0,31 ab	8,08 \pm 0,31 ab	8,02 \pm 0,28 b	8,03 \pm 0,30 b	0,0013
16:00 pH	9,00 \pm 0,21 a	9,21 \pm 0,17 a	9,35 \pm 0,17 a	9,29 \pm 0,27 a	8,96 \pm 0,37ab	8,73 \pm 0,45ab	8,72 \pm 0,42 b	8,66 \pm 0,47 b	0,0104
08:00 CE	1112,9 \pm 31,8	1121,8 \pm 11,4	1126,2 \pm 20,5	1127,2 \pm 29,9	1122,2 \pm 27,4	1113,2 \pm 61,1	1115,0 \pm 49,1	1108,3 \pm 91,3	ns
16:00 CE	1125,8 \pm 36,9	1145,4 \pm 17,8	1139,3 \pm 15,4	1137,5 \pm 36,0	1126,5 \pm 32,5	1119,0 \pm 66,4	1121,7 \pm 52,4	1119,2 \pm 91,2	ns

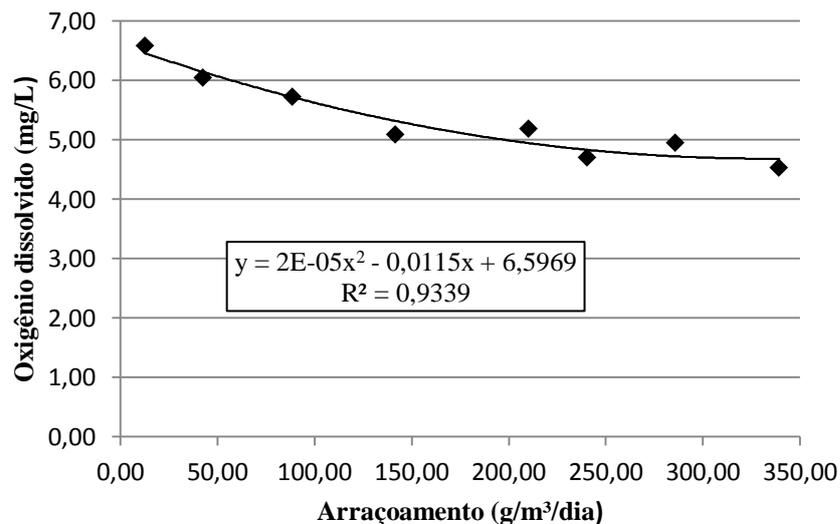
Fonte: Autor.

¹ Temp.: Temperatura da água (°C); pH; CE: condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$).

²Para cada variável, letras diferentes na mesma linha indicam que há diferença significativa entre as médias pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); Ausência de letras representa falta de significância estatística (ns: $p > 0,05$).

Como pode ser observado na Figura 3, houve efeito quadrático da relação entre o oxigênio dissolvido e as taxas de arraçoamento empregadas. Verificou-se que à medida que as taxas de arraçoamento aumentaram, a concentração de oxigênio dissolvido na água de cultivo diminuiu.

Figura 3- Concentração do oxigênio dissolvido da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo em função das taxas crescentes de arraçoamento na presença de substratos artificiais para colonização por perifíton.



Houve diferença significativa entre o tratamento C-100 e os tratamentos C+25, C+50, C+75 para concentração de O₂D na água, com valores de O₂D iguais, respectivamente, $6,58 \pm 0,54$; $4,70 \pm 0,99$; $4,95 \pm 0,73$ e $4,53 \pm 1,13$ mg L⁻¹ (Tabela 4). Não houve diferença estatística, entretanto, entre o grupo C e os tratamentos que tiveram a taxa de arraçoamento diminuída (C-25, C-50 e C-75) e os que tiveram a taxa aumentada (C+25, C+50 e C+75). Os tanques com os tratamentos C+25, C+50, C+75 possuíam maior quantidade de matéria orgânica, fato esse estimado indiretamente pela taxa de ração ofertado no cultivo, que foi 25, 50 e 75% maior que a taxa de alimentação costumeiramente utilizado no laboratório (representada pelo grupo C). Além disso, observou-se elevada condutividade elétrica e pH ligeiramente mais baixo da água de cultivo desses tratamentos (C+25, C+50, C+75). No presente trabalho, apesar da redução da concentração de O₂D, pode-se verificar que os valores desse gás foram superiores a 4,0 mg L⁻¹, faixa considerada adequada para aquicultura (BOYD; TUCKER, 1998). Essa concentração não trouxe prejuízos ao crescimento dos juvenis de tilápia, uma vez que essa espécie tolera baixos níveis de O₂D e sobrevivem em níveis de O₂D menores que 0,5 mgL⁻¹ (LIM; WEBSTER, 2006). Porém, se os animais permanecerem

expostos com frequência a essa condição de hipóxia, pode haver estresse e maior susceptibilidade às doenças, além de causar retardo no crescimento corporal (KUBTIZA, 2000; SÁ, 2012), causando prejuízos econômicos aos piscicultores.

A taxa mais elevada de aração atuou como fonte de fertilização dos tanques, contribuindo para o aumento de matéria orgânica na água, e conseqüentemente a eutrofização da água de cultivo. Com isso, houve crescimento de populações fitoplanctônicas, que causaram grande variação no ciclo nictimeral da concentração de oxigênio dissolvido (SÁ, 2012), ou seja, elevada concentração durante o dia e baixas taxas no período noturno e ao amanhecer. Os resultados obtidos no presente estudo são apoiados por Nunes (2010), que verificou que o aumento da taxa de aração, no cultivo do camarão marinho (*Litopenaeus vannamei*) na presença do substrato artificial para crescimento de perifíton, influenciou a concentração de oxigênio dissolvido, em todos os tratamentos, verificando queda nas taxas desse gás. AZIM *et al.* (2003) observaram incremento significativo de oxigênio dissolvido na água à medida que a biomassa perifítica se desenvolvia. Vale ressaltar, entretanto, que esses autores não trabalharam com cultivo de peixes, apenas com substratos artificiais e fertilização nos tanques. Já Duque *et al.* (2012) e Asaduzzaman *et al.* (2008) não encontraram efeito significativo ($p > 0,05$) da inclusão de substrato artificial sobre o oxigênio dissolvido nos tanques de cultivo do policultivo de *O. niloticus* e *Prochilodus magdalenae* e *Macrobrachium rosenbergii*, respectivamente.

Tabela 4- Variáveis de qualidade de água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* ($1,41 \pm 0,07$ g), submetidos a taxas crescentes de arraçoamento e com substrato artificial para desenvolvimento de perifiton (média \pm d.p; n=5).

VARIÁVEL	TRATAMENTO								ANOVA p
	C-100	C-75	C-50	C-25	C	C+25	C+50	C+75	
O₂D	6,58 \pm 0,54 a	6,04 \pm 0,44 ab	5,72 \pm 0,27 ab	5,08 \pm 1,13 ab	5,18 \pm 0,55ab	4,70 \pm 0,99 b	4,95 \pm 0,73 b	4,53 \pm 1,13 b	0,0031
NAT	0,09 \pm 0,01b	0,08 \pm 0,02 b	0,07 \pm 0,02b	0,08 \pm 0,03 b	0,39 \pm 0,23ab	0,76 \pm 0,51ab	1,08 \pm 0,80 a	1,78 \pm 0,67 a	<0,0001
NH₃	0,048 \pm 0,035	0,021 \pm 0,015	0,040 \pm 0,010	0,023 \pm 0,019	0,026 \pm 0,015	0,048 \pm 0,028	0,030 \pm 0,019	0,033 \pm 0,020	ns
Nitrito	0,029 \pm 0,014	0,022 \pm 0,010	0,021 \pm 0,011	0,023 \pm 0,010	0,071 \pm 0,026	0,052 \pm 0,020	0,079 \pm 0,050	0,079 \pm 0,051	ns
P-reativo	0,051 \pm 0,008	0,050 \pm 0,009	0,048 \pm 0,004	0,047 \pm 0,012	0,067 \pm 0,017	0,111 \pm 0,079	0,118 \pm 0,063	0,069 \pm 0,006	ns
Ferro	0,60 \pm 0,33 b	0,61 \pm 0,12 b	0,94 \pm 0,31 b	0,75 \pm 0,26 b	1,94 \pm 0,90 ab	1,57 \pm 0,94 ab	2,77 \pm 1,50 a	3,02 \pm 0,90a	0,0001
Alcalinidade	108,54 \pm 12,11	107,18 \pm 4,53	107,81 \pm 5,05	106,57 \pm 7,66	117,25 \pm 12,11	121,57 \pm 7,59	120,05 \pm 14,56	124,56 \pm 10,17	ns
Dureza total	236,44 \pm 5,22	236,44 \pm 6,16	234,90 \pm 5,92	233,77 \pm 4,94	237,30 \pm 10,39	243,41 \pm 4,73	242,41 \pm 7,57	246,33 \pm 1,30	ns

Fonte: Autor.

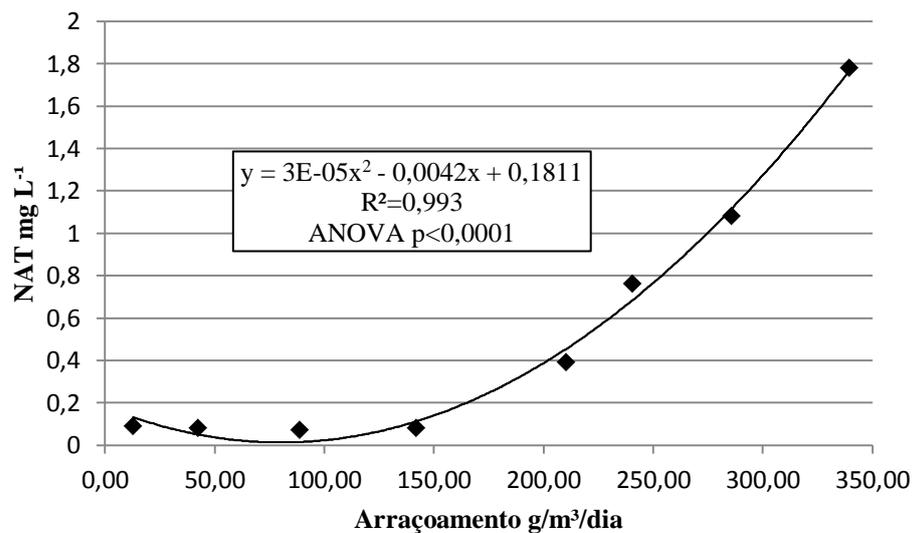
¹ O₂D: oxigênio dissolvido (mg L⁻¹); NAT: nitrogênio amoniacal total (mg L⁻¹); NH₃: amônia não ionizada (mg L⁻¹); Nitrito (mg L⁻¹); P-reativo: fósforo reativo (mg L⁻¹); Ferro total (mg L⁻¹); Alcalinidade total (mg L⁻¹ de CaCO₃); Dureza total (mg L⁻¹ de CaCO₃).

²Para cada variável, letras diferentes na mesma linha indicam que há diferença significativa entre as médias pelo teste de Tukey (p<0,05);

Ausência de letras representa falta de significância estatística (ns;p>0,05).

De acordo com a Figura 4, pode-se constatar que houve efeito quadrático entre a concentração de nitrogênio amoniacal total (NAT) e as taxas de arraçoamento empregadas. Verificou-se que à medida que os níveis de arraçoamento aumentaram a concentração NAT na água de cultivo também aumentou.

Figura 4- Concentração de NAT na água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo em função das taxas crescentes de arraçoamento na presença de substratos artificiais para colonização por perifíton.



As concentrações de NAT ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$), dos tratamentos C+50 e C+75 apresentaram diferenças significativas em relação aos outros grupos experimentais ($p < 0,0001$; Tabela 5). Boyd e Tucker (1998) recomendam como aceitável uma concentração de NAT de até $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ para água de cultivo. No presente trabalho, exceto os tanques que eram arraçados com as taxas-padrão e os que tiveram diminuição na taxa de arraçoamento, as concentrações de NAT superaram o valor de referência acima mencionado, ou seja, os grupos C+25, C+50 e C+75 apresentaram concentrações de NAT iguais a $0,76 \pm 0,51$, $1,08 \pm 0,80$ e $1,78 \pm 0,67 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente.

As concentrações de NAT nos tanques dos tratamentos C+50 e C+75 foram significativamente maiores em relação aos demais. Isso se deveu provavelmente à elevada quantidade de ração ofertada nos primeiros tanques, com conseqüente maior aporte de compostos proteicos para água. A amônia é o composto nitrogenado mais comum da excreção de peixes teleósteos e pode ser ainda liberada durante a decomposição de restos de ração não consumida e fezes dos organismos cultivados (EGNA; BOYD, 1997; BOYD, 2013). De acordo com Gross, Boyd e Wood (2000) apenas 15 a 30% do nitrogênio presente na

alimentação é incorporada ao peixe, sendo o restante perdido para o meio de cultivo. Em cultivos baseados em substratos artificiais indutores de crescimento para perifíton, demonstrou-se a eficiência do perifíton na remoção de compostos nitrogenados da água do cultivo de organismos aquáticos (AZIM *et al.*, 2002b; AZIM; LITTLE 2006; MILSTEIN *et al.* 2009; ANAND *et al.*, 2013). No presente trabalho, apesar dos tratamentos C+50 e C+75 terem apresentado biomassa perifítica maior que os demais, a diminuição da concentração de amônia nesses tratamentos não foi evidente. Isso foi devido provavelmente à elevada carga de matéria orgânica nesses tanques, que ao ser decomposta liberou excessiva carga de nutrientes para água, favorecendo a proliferação de microalgas em toda a coluna d'água. Fato esse comprovado pelos valores menores de transmitância nesses tanques (Tabela 5). De acordo com Azim *et al.*, (2003) quando ocorre disponibilidade de nutrientes no meio e esse desempenha um papel no sistema, o fitoplâncton torna-se um elemento mais importante nos tanques, havendo competição entre fitoplâncton e perifíton. O maior acúmulo de NAT nos tanques C+50 e C+75 também pode ser explicado pela baixa concentração de O₂D nesses tanques, que não foi suficiente para suprir o processo de nitrificação. As bactérias nitrificantes têm grande exigência biológica pelo O₂D (SÁ, 2012). De acordo com Esteves (2011) durante o processo de nitrificação são necessários 4,3 mg L⁻¹ de O₂D para se oxidar 1,0 mg de íon amônio e transformá-lo em nitrato.

No presente trabalho, a concentração de amônia não ionizada (NH₃) não diferiu significativamente entre os tratamentos (Tabela 4). Essa é a forma mais tóxica, uma vez que o epitélio branquial dos peixes somente é permeável a essa forma (SÁ, 2012). O equilíbrio entre as duas formas de amônia na água depende principalmente do pH e da temperatura (LIM; WEBSTER, 2006; ARANA, 2004; SÁ, 2012). Em solução, a amônia apresenta o seguinte equilíbrio químico: $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$. Quando em pH básico (>9,0), temperaturas elevadas (>26°C) e baixos valores de potencial de oxi-redução há deslocamento da reação para a esquerda, com a transformação do íon amônio em amônia (NH₃, gasoso). O NH₃ pode se acumular no meio e trazer riscos para o cultivo dos peixes (ESTEVES, 2011). Segundo Kubitza (1999), concentrações de NH₃ superiores a 0,02 mg L⁻¹ já são suficientes para causar toxidez crônica, ocasionando diminuição do crescimento e menor tolerância às doenças. No presente trabalho, somente os tratamentos C-75, C-25 e C apresentaram concentração de NH₃ aceitável para o cultivo de peixes.

As concentrações de nitrito na água de cultivo não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 4), sendo inferior ao valor máximo aceitável para cultivo de peixes (0,3 mg L⁻¹). Esperava-se uma maior concentração de nitrito nos tanques

C+25, C+50 e C+75, como resultado das maiores concentrações de NAT nesses tanques, devido ao processo de nitrificação. No entanto, isso não ocorreu devido provavelmente à presença insignificante de colônias de bactérias do gênero *Nitrosomonas* nesses tanques, as quais não encontraram um ambiente estável para colonização, seja por ausência de substrato ideal ou por não haver nutrientes essenciais para o perfeito desenvolvimento. Azim *et al.* (2003b) trabalhando com duas diferentes densidades de estocagem na presença ou não de substrato e um grupo-controle sem tilápia, mas com substrato, observaram que não houve variação significativa na concentração nitrito entre os tratamentos, sendo em média igual a 0,2 mg L⁻¹.

Não se observou diferença significativa ($p > 0,05$) para concentração de fósforo reativo entre as diferentes taxas de arraçoamento empregados no presente trabalho, nos tanques com substratos submersos. Os valores de fósforo reativo registrados no presente estudo foram menores que a concentração máxima aceitável que é de 0,2 mg L⁻¹ (BOYD; TUCKER, 1998). A alimentação artificial utilizada no cultivo dos juvenis de tilápia foi a principal fonte de fósforo na água, no presente trabalho. A retenção de fósforo de origem alimentar nos tecidos dos peixes é apenas 20% e a maior fração é perdida nos efluentes do tanque de cultivo (LAZZARI; BALDISSEROTTO, 2009). Carga elevada de fósforo na água é a principal causa de eutrofização no meio aquático ao tornar excessiva a densidade algal, causando depleção de O₂D no cultivo (EGNA; BOYD, 1997). Anand *et al.* (2013) testaram quatro taxas de inclusão de biomassa seca de perifíton (0%, 3%, 6% e 9%) na ração basal do camarão *P. monodon* e adicionaram um controle positivo (T4), o qual continha substratos submersos (bambu) no tanque. Esses autores observaram que no grupo controle havia concentrações significativamente menores de nitrito e fósforo, quando comparado aos outros tratamentos. Anand *et al.* (2013) concluíram que o perifíton desenvolvido sobre o substrato submerso ajuda a manter os nutrientes da água de cultivo dentro de taxas ótimas. De acordo com Keshavanath *et al.* (2002), os detritos presos na camada do perifíton são rapidamente decompostos, tornando-se mais acessíveis aos herbívoros, melhorando a ciclagem de nutrientes. Thompson, Abreu e Wasielesky (2002) constataram que a presença de biofilme nos tanques de cultivo do camarão *Farfante paulensis* reduziu a concentração de fósforo na água em 33%.

No presente trabalho, não foi possível se observar o efeito do perifíton na diminuição da concentração de NAT na água, nos tratamentos com maiores taxas de oferta de ração. No entanto, as baixas concentrações de NAT se tornaram evidentes nos demais

tratamentos. Portanto, o perifíton foi eficiente na remoção do nitrito e fósforo da água, mantendo baixas concentrações desses compostos.

A concentração de ferro dissolvido na água foi afetada pelas taxas de alimentação empregadas no presente trabalho. Todos os tanques apresentaram concentrações de ferro superiores ao limite aceitável na água de cultivo que é de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$. Essas concentrações elevadas de ferro dissolvido na água de cultivo foram provenientes, provavelmente, da dieta empregada ou já estavam presentes na água/solo. Houve diferenças significativas entre as concentrações de ferro dissolvido nos tanques que receberam maior arraçoamento (C+50 e C+75), em relação aos demais grupos experimentais. O maior acúmulo de matéria orgânica no solo dos tanques C+50 e C+75 ocasionou acidificação moderada do solo (Tabela 6) que aliado às menores concentrações de O_2D (Tabela 4) provocou, provavelmente, a dissolução de compostos ferrosos do solo para a água, com a mudança de ferro férrico (Fe^{+3}) para ferro ferroso (Fe^{+2}) (ESTEVES, 2011). Concentrações excessivas de ferro na água podem prejudicar o cultivo, causando queda na produtividade primária, colmatação das brânquias dos peixes e formação de ácido sulfúrico nos tanques (SÁ, 2012). De acordo com Azim *et al.* (2002), processos de decomposição reduzem a biomassa perifítica, predominantemente perto do sedimento, com conseqüente liberação de nutrientes na água, inclusive de ferro.

No presente trabalho, a alcalinidade total da água dos tanques experimentais apresentou concentrações superiores a 100 mg L^{-1} de CaCO_3 (Tabela 4), não havendo diferenças significativas entre os tratamentos. Inicialmente, a alcalinidade da água de cultivo foi igual a 90 mg L^{-1} . Quando compara-se a alcalinidade inicial com as concentrações finais, constata-se que houve aumento da alcalinidade total da água. A alcalinidade total da água é definida como a soma de bases tituláveis presentes na água, sendo os compostos básicos mais abundantes os bicarbonatos e carbonatos. A alcalinidade total da água é determinada pela qualidade da água de abastecimento e pela natureza do solo do fundo dos tanques (BOYD, 1998). No presente trabalho, esperava-se diminuição na alcalinidade da água ao longo do experimento, uma vez que houve grande entrada de matéria orgânica nos tanques. Isso ocorreu principalmente nos tanques com taxa de alimentação elevada. A matéria orgânica ao ser decomposta libera substâncias acidificantes para água, principalmente o dióxido de carbono (CO_2). No entanto, como os tanques de cultivo do presente trabalho eram providos de solo, havia provavelmente reserva alcalina no mesmo que foi capaz de neutralizar o efeito acidificante do CO_2 .

A alcalinidade da água do cultivo dos juvenis de tilápia do Nilo com substrato artificial ficou dentro da faixa aceitável para aquicultura que está entre $20 - 120 \text{ mg L}^{-1}$

(BOYD, 2003). Duque *et al.* (2012) também observaram incremento da alcalinidade na água de cultivo de *O. niloticus* e *P. magdalenae* nos tanques com substrato. Keshavanath *et al.* (2002), trabalhando com cultivo de carpas *Tor khudree* e *Labeo fimbriatus*, testaram o efeito da alimentação e do perifíton sobre a qualidade da água de cultivo. Havia um tratamento controle, sem ração mas com substrato, e dois tratamentos experimentais que diferiam pela área do substrato e pela densidade de estocagem dos peixes. Esses autores observaram diminuição da alcalinidade total da água de todos os tratamentos, ao longo do cultivo.

A dureza total (DT) da água é uma medida das concentrações de cálcio e magnésio na água expressa em miligramas por litro em equivalentes de carbonato de cálcio (CaCO_3) (BOYD, 1997). No presente trabalho, a água de abastecimento dos tanques apresentaram DT inicial de 175 mg L^{-1} . Ao final do período experimental, a água de todos os tanques apresentou DT maior que 230 mg L^{-1} de CaCO_3 , valor esse superior a faixa de referência para aquicultura que está compreendida entre $60 - 150 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$ (SÁ, 2012). Apesar de não ter havido diferença significativa ($p > 0,05$) entre os tratamentos para DT, a simples entrada de ração ao longo do experimento contribuiu para o aumento de cálcio na água, resultando na elevação da DT (CALDINI, 2012). Duque *et al.* (2012) também não encontraram diferenças entre a dureza total da água nos tanques com substrato.

No presente trabalho, as taxas de arraçoamento aplicadas ao cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, na presença de perifíton, não afetaram a produtividade primária fitoplanctônica (Tabela 5). O arraçoamento dos peixes atuou como a única fonte de fertilização da água, aportando nutrientes essenciais para produtividade fitoplanctônica. O enriquecimento com nutrientes, principalmente o nitrogênio e o fósforo, em tanques de piscicultura é bastante comum, devido principalmente à entrada de compostos advindos do arraçoamento, de adubos e fertilizantes que contêm tais elementos (MERCANTE *et al.*, 2007). Entretanto, apenas 15 - 30% dos nutrientes presentes na alimentação ofertada aos animais são convertidos em pescado, sendo o restante lançado no meio de cultivo (GROSS *et al.*, 2000). Rahman, Verdegem e Wahab (2008) demonstraram que a suplementação de alimento exógeno no cultivo de carpas e tilápia na presença de substrato artificial incrementou as concentrações de fósforo e nitrogênio da água. De acordo com Lachi e Sipaúba-Tavares (2008), a limitação da produção primária é estabelecida pela quantidade de fósforo e nitrogênio depositado no ambiente. No presente trabalho, não houve escassez de N e P na água de cultivo. No entanto, devido à presença de substratos submersos para crescimento de perifíton, houve provavelmente competição entre a comunidade de perifíton e o fitoplâncton na coluna de água.

Tabela 5- Variáveis de produtividade primária da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* ($1,41 \pm 0,07$ g), submetidos a taxas crescentes de arraçoamento e com substrato artificial para desenvolvimento de perifíton (média \pm d.p; n=5).

VARIÁVEL ¹	TRATAMENTO								ANOVA p
	C-100	C-75	C-50	C-25	C	C+25	C+50	C+75	
PPB	0,42 \pm 0,08	0,69 \pm 0,25	0,65 \pm 0,20	0,66 \pm 0,14	0,67 \pm 0,17	0,42 \pm 0,08	0,52 \pm 0,08	0,58 \pm 0,32	ns
PPL	0,22 \pm 0,13	0,50 \pm 0,22	0,53 \pm 0,30	0,60 \pm 0,34	0,39 \pm 0,12	0,32 \pm 0,21	0,23 \pm 0,12	0,24 \pm 0,11	ns
Respiração	0,21 \pm 0,15	0,20 \pm 0,06	0,12 \pm 0,14	0,05 \pm 0,21	0,28 \pm 0,06	0,10 \pm 0,13	0,29 \pm 0,05	0,34 \pm 0,14	ns
Transmitância	95,08 \pm 1,62 a	93,78 \pm 1,30 a	93,57 \pm 2,09 a	92,28 \pm 2,54 a	91,08 \pm 2,04 ab	91,35 \pm 0,57 ab	87,04 \pm 3,30 b	88,23 \pm 2,62 b	0,0001
Transparência	38,97 \pm 0,97 a	36,85 \pm 0,71 a	34,73 \pm 1,93 a	33,45 \pm 2,36 ab	30,11 \pm 2,49 b	32,38 \pm 2,67 b	28,03 \pm 2,15 b	29,75 \pm 5,75 b	<0,0001

Fonte: Autor.

¹PPF bruta: Produtividade Primária Fitoplanctônica Bruta (mg O₂/L/h); PPL: Produtividade Primária Fitoplanctônica Líquida (mg O₂/L/h); Respiração: Taxa de Respiração (mg O₂/L/h); Transmitância ótica a 663nm; Transparência de Secchi (cm);

² Para cada variável, letras diferentes na mesma linha indicam que há diferença significativa entre as médias pelo teste de Tukey (p<0,05); Ausência de letras representa falta de significância estatística (ns: p>0,05).

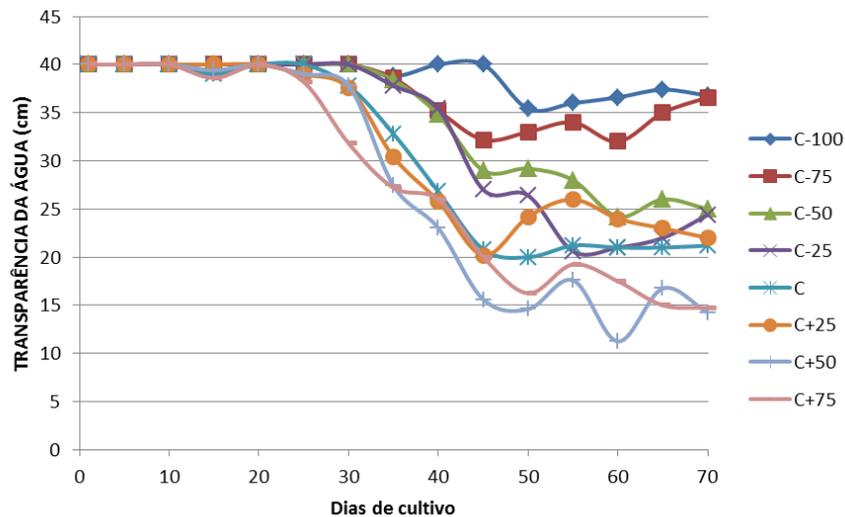
Asaduzzaman *et al.* (2009) constataram que a adição de substrato indutor de crescimento de perifíton diminuiu a abundância de plâncton na água por diminuir a concentração de nutrientes no meio. Azim *et al.* (2003a) afirmam que os processos de decomposição da matéria orgânica ocorrem tanto na coluna de água quanto nos substratos com perifíton, resultando em sinergismo e relações competitivas entre os grupos fitoplanctônicos e perifíticos. Cavalcante *et al.* (2011) detectaram menor abundância de fitoplâncton no cultivo de tilápia ao adicionarem nos tanques de cultivo substrato (garrafas plásticas) para o crescimento de perifíton. Nesse trabalho, a produtividade primária bruta (PPB) foi igual a 0,20 e 0,18 mg L⁻¹ h⁻¹ para as taxas de arraçoamento completa e pela metade, respectivamente (Tabela 5). Já na ausência de substrato, a PPB foi maior, independentemente da taxa de arraçoamento empregada, com resultados iguais 0,27 e 0,24 mg L⁻¹ h⁻¹, respectivamente. A PPB de todos os tratamentos do presente estudo foi maior que os valores encontrados por Cavalcante *et al.* (2011). No entanto, não foi possível observar diferença significativa entre os tratamentos para os resultados de PPB, PPL e taxa de respiração.

A transmitância óptica da água bruta a 670 nm é um índice que pode ser usado para estimar a abundância de fitoplâncton em tanques de cultivo de peixes (CAVALCANTE; SÁ, 2010). A transmitância óptica foi menor nos tanques C+50 e C+75, sendo iguais a 87,04 ± 3,30 e 88,23 ± 2,62%, respectivamente. Esses resultados diferiram significativamente (p<0,05) quando comparado aos demais grupos, que apresentaram transmitância óptica maior que 90% (Tabela 5).

A transparência da água diminuiu com o decorrer do cultivo (Figura 5), sendo que a queda mais acentuada ocorreu nos tanques que receberam maior taxa de alimentação. Azim *et al.* (2003 a) têm apontado que existe uma relação inversa entre o crescimento do perifíton e a transparência da água. Os resultados do presente estudo estão de acordo com esses autores, onde os tratamentos C+50 e C+75 apresentaram maior biomassa perifítica e uma menor transparência, iguais a 28 e 29,8 cm, respectivamente. O ideal é que a transparência da água de cultivo fique entre 40-50 cm. Quando a transparência da água se aproximar de 30 cm, é necessária a renovação de certo volume da quantidade de água dos tanques, com a finalidade de manter a transparência na faixa adequada (KUBTIZA, 1999). Além disso, a maior entrada de ração nos tanques contribuiu para maior eutrofização dos mesmos, além da natação realizada pelos peixes que é um fator que aumenta a turbidez da água. O nado dos animais proporciona uma maior suspensão dos nutrientes presentes no sedimento e na coluna da água (GONZALEZ; LONDOÑO; PARDO-CARRASCO, 2012). Duque *et al.* (2012) também

observaram que a presença do substrato no policultivo de *O. niloticus* e *P. madalena* causou uma diminuição na transparência da água.

Figura 5 – Transparência da água de cultivo de juvenis de Tilápia do Nilo durante os dias de cultivo em função das taxas crescentes de arraçoamento na presença de substratos artificiais para colonização por perifíton, durante 10 semanas.



No presente trabalho, não houve diferença significativa na concentração de carbono orgânico no solo entre os tratamentos (Tabela 7), sendo que o valor médio foi de $0,20 \pm 0,04\%$. Os solos possuem importante participação em todos os processos físico-químicos que acontecem com a água, nas unidades de cultivo. Água e solo estão intimamente relacionados um ao outro, pois a matéria orgânica (MO) que se encontra na água (restos de ração não consumida, fezes, microrganismos mortos) é responsável pela energia que move a cadeia trófica bentônica dos solos (VINATEA, 2004). De acordo com Egna e Boyd (1997), pequenas quantidades de MO (<2%) nos solos são benéficas, contribuindo para a capacidade de troca catiônica do solo, quelação de metais pesados, fornecimento de alimento para organismos bentônicos e liberação de nutrientes inorgânicos em decomposição. Entretanto, concentrações muito elevadas de MO podem ocasionar condições de anaerobiose na interface solo-água. O teor de carbono orgânico do presente trabalho ficou abaixo do valor ideal para a produtividade dos organismos bentônicos, que de acordo com Queiroz e Boeira (2006), está entre 0,5 e 1,0%. As concentrações de carbono orgânico nos sedimentos dos viveiros raramente excedem 5% (BOYD, 2003). A adição de substrato para crescimento de perifíton no cultivo de *M. rosenbergui* teve efeito na redução do teor de MO do sedimento (ASADUZZAMAN *et al.*, 2008).

O pH do solo dos tanques que receberam as menores taxas de arraçoamento, isto é, C-100, C-75, C-50 e C-25, foi, em média, igual a $7,92 \pm 0,08$ (Tabela 6). Esse pH dos solo foi ligeiramente mais elevado do que o pH dos tanques C+50 e C+75, os quais foram em média iguais a $7,74 \pm 0,07$, apresentando diferença significativa entre eles. Já os grupos experimentais C e C+25 não diferiram dos tratamentos citados acima, apresentando pH do solo de $7,79 \pm 0,10$ e $7,74 \pm 0,09$, respectivamente. Os valores de pH mais baixos observados nos tanques que receberam maior quantidade de ração são devido ao maior acúmulo de matéria orgânica nos sedimentos dos tanques. A matéria orgânica ao ser decomposta libera CO_2 que pode causar acidificação do solo. Entretanto, pode-se observar que o menor valor de pH ficou na faixa de neutralidade, não trazendo, desse modo, transtornos ao cultivo. Portanto, os substratos submersos para perifíton foram capazes de diminuir de maneira significativa a concentração de matéria orgânica que seria depositada nos sedimentos dos tanques. De acordo com Azim e Little (2006), os substratos submersos colonizados por perifíton funcionam como filtros biológicos, reduzindo as concentrações de compostos nitrogenados e diminuindo a turbidez da água de cultivo por reter sólidos em suspensão. Além disso, pode haver aumento na taxa de mineralização da matéria orgânica por se propiciar mais substrato para colonização bacteriana.

Tabela 6- Variáveis de qualidade do solo monitoradas nos tanques de polietileno circulares de 250 L do cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* ($1,41 \pm 0,07$ g), submetidos a taxas crescentes de arraçoamento e com substrato artificial para desenvolvimento de perifíton (média \pm d.p; n=5), com duração de 10 semanas, realizado na área externa do laboratório.

VARIÁVEIS ¹	TRATAMENTOS								ANOVA p
	C-100	C-75	C-50	C-25	C	C+25	C+50	C+75	
C Orgânico	0,20 \pm 0,06	0,21 \pm 0,04	0,25 \pm 0,10	0,20 \pm 0,04	0,21 \pm 0,06	0,22 \pm 0,03	0,21 \pm 0,02	0,20 \pm 0,05	ns
pH solo	7,92 \pm 0,06 a	7,91 \pm 0,06 a ²	7,91 \pm 0,11 a	7,92 \pm 0,10 a	7,80 \pm 0,11ab	7,79 \pm 0,10ab	7,74 \pm 0,09 b	7,74 \pm 0,07 b	0,015

Fonte: Autor.

¹Ausência de letras representa falta de significância estatística (ns: $p > 0,05$).

²Para cada variável, letras diferentes na mesma linha indicam que há diferença significativa entre as médias pelo teste de Tukey ($p < 0,05$);

C Orgânico : Carbono Orgânico do solo (%); pH do solo.

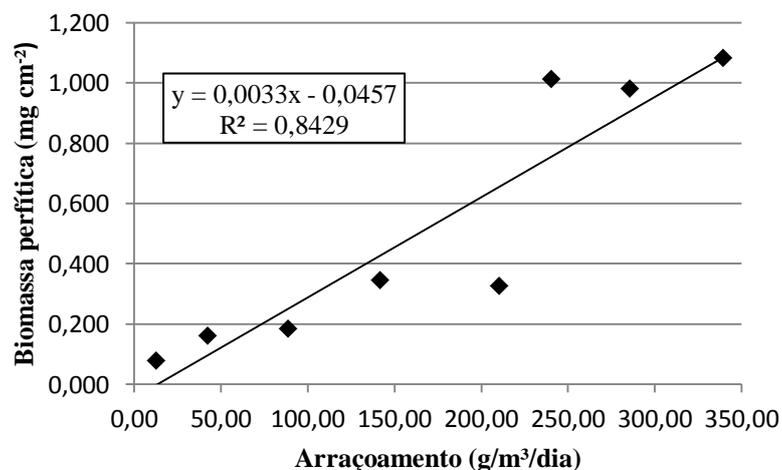
A biomassa perifítica inicial em todos os tratamentos, nas duas primeiras semanas de estudo, não apresentou diferença significativa entre si (Tabela 7). Isso ocorreu, provavelmente, devido à baixa concentração de nutrientes ainda presentes na água de cultivo, que não foi suficiente para o desenvolvimento da comunidade perifítica. Vale ressaltar que nesse período inicial a quantidade de ração ofertada em todos os tanques era igual. Além disso, a pequena quantidade de perifíton formada pode ter sido consumida de imediato pelos juvenis de tilápia. Esses fatos resultaram em biomassa perifítica inicial média de apenas 0,1 mg cm², em todos os tratamentos. Contrário ao presente estudo, Cavalcante *et al.* (2011), trabalhando com garrafas de plástico no cultivo de juvenis de tilápia, encontraram densidades iniciais de perifíton iguais a 4,43 e 4,28 mg cm², usando taxa de alimentação padrão e metade dessa (50%), respectivamente. O consumo de perifíton pelos peixes pode ter sido mais intenso no presente estudo, fato esse que contribuiu para a menor densidade inicial de perifíton. Keshavanath *et al.* (2004), trabalhando com alevinos híbridos de tilápia, obtiveram, após os primeiros 15 dias de experimento, densidade de perifíton igual a 0,15 mg cm² no tratamento com substrato cobrindo a maior área de superfície do tanque e com fornecimento de alimento artificial. Esses autores constataram que a biomassa de perifíton nos substratos inicialmente aumentou para, posteriormente, ser reduzida durante o experimento devido à pastagem dos peixes. Khatoun *et al.* (2007) observaram que a biomassa perifítica aumentou durante as duas primeiras semanas, juntamente com o acúmulo gradual dos nutrientes nos tanques de cultivo do camarão *Penaeus monodon*. Nesse trabalho, todos os substratos testados foram colonizados por um grande número de microrganismos de diferentes gêneros, sendo que as folhas de plástico apresentaram biomassa perifítica de 684, 2 µg clorofila *a* m².

A biomassa final de perifíton, em termos de matéria seca, apresentou diferença significativa entre os grupos experimentais que tiveram incremento de ração (C+25, C+50 e C+75) quando comparados aos demais grupos. Além disso, os primeiros tanques apresentaram maiores valores de biomassa de perifíton, em média igual a 1,0 mg cm² (Tabela 7). Percebe-se, portanto, que as taxas restritivas de alimentação utilizadas no presente trabalho induziram ao maior aproveitamento do alimento natural, ou seja, os juvenis de tilápia do Nilo estocados nesses tanques recorreram mais ao biofilme perifítico para completar as suas exigências nutricionais. Já as taxas mais elevadas de arraçoamento promoveram subaproveitamento do perifíton e conseqüente desperdício de ração, resultando na deterioração da qualidade de água e no aumento dos custos de produção. Cavalcante *et al.* (2011) constataram que os peixes ingeriram ativamente perifíton, especialmente os animais

que receberam apenas 50% da taxa de arraçoamento padrão quando comparado com os indivíduos que receberam a taxa alimentar cheia, sendo a biomassa perifítica final igual a $0,47 \text{ mg cm}^{-2}$. Rebouças *et al.* (2012) observaram que os peixes submetidos a restrição alimentar de 30% recorreram mais ao perifíton para satisfazer as suas necessidades nutricionais que os animais alimentados com mais ração. Esses autores concluíram que parece haver uma relação inversa entre ingestão de dieta artificial e ingestão de perifíton por peixes. Portanto, é possível afirmar que as taxas de arraçoamento em cultivos de tilápia do Nilo, quando se utiliza substratos artificiais para desenvolvimento de perifíton, podem ser diminuídas, sem prejuízo zootécnico.

Verificou-se uma relação linear crescente entre a biomassa perifítica final e taxas de arraçoamento, havendo incremento de biomassa à medida que as taxas de alimentação se elevaram (Figura 6). Azim *et al.* (2001) obtiveram efeito quadrático para relação entre a matéria seca do perifíton e as taxas de fertilização da água, as quais eram constituídas por 3000 kg ha^{-1} , 100 kg ha^{-1} e 100 kg ha^{-1} de esterco bovino, ureia e superfosfato triplo, respectivamente, variando essas proporções nas seguintes taxas 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, havendo incremento de biomassa a partir da dose 0,5 até 1,5, ocorrendo colapso em 2,0. Nunes (2010), utilizando três taxas de arraçoamento (2, 4 e 6%) e 2 grupos-controle, observou relação linear crescente entre as taxas de arraçoamento e a matéria seca do biofilme no cultivo de camarão marinho.

Figura 6 – Relação entre biomassa perifítica e taxas de arraçoamento no cultivo de juvenis de tilápia do Nilo baseado em substratos artificiais como indutores do crescimento de perifíton.



No presente trabalho, embora a biomassa final do perifíton, em todos os tratamentos, tenha sido maior que a inicial, observou-se visualmente considerável consumo de perifíton pelos juvenis de tilápia. Houve incremento do biofilme nos substratos mesmo com intensa atividade de pastagem pelos peixes. Além disso, de acordo com Huchette *et al.* (2000), as comunidades perifíticas mais jovens são mais saudáveis e mais produtivas que comunidades mais velhas. Abreu *et al.* (2007) demonstraram que a pressão de pastejo exercida pelo camarão *Farfantepenaeus paulensis* influenciou fortemente a formação de biofilmes. Keshavanath *et al.* (2001) afirmaram que quando o perifíton é consumido há manutenção contínua do crescimento deste na fase exponencial, permitindo o aumento constante da biomassa perifítica. Esses autores citam ainda que a densidade dos peixes não foi responsável pela elevada densidade perifítica detectada, mas sim o pequeno tamanho dos peixes herbívoros utilizados no trabalho. Dessa forma, pode-se aumentar a densidade de estocagem em busca de melhores resultados zootécnicos. No entanto, para isso faz-se necessário determinar inicialmente a melhor taxa de arraçoamento para dada densidade de estocagem de peixes, que proporcione melhores resultados zootécnicos e maior aproveitamento do alimento natural. Esse foi o objetivo da segunda fase experimental da presente dissertação.

Tabela 7- Valores de biomassa perifítica, obtidos por meio da raspagem dos substratos artificiais (1 garrafa PET no início do experimento e 5 garrafas ao final do experimento), resultantes dos tanques de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* ($1,41 \pm 0,07$ g), submetidos a taxas crescentes de arraçoamento e com substrato artificial para desenvolvimento de perifíton (média \pm d.p; n=5), com duração de 10 semanas, em condições externas do laboratório.

Biomassa ¹ Perifítica	TRATAMENTOS								ANOVA p
	C-100	C-75	C-50	C-25	C	C+25	C+50	C+75	
Início	0,104 \pm 0,04	0,109 \pm 0,05	0,106 \pm 0,02	0,090 \pm 0,02	0,110 \pm 0,03	0,105 \pm 0,01	0,112 \pm 0,01	0,122 \pm 0,03	ns
Final	0,078 \pm 0,04 b	0,160 \pm 0,15 b	0,184 \pm 0,06 b	0,347 \pm 0,10 b	0,327 \pm 0,11 b	1,012 \pm 0,28 a	0,982 \pm 0,53 a	1,083 \pm 0,40 a	<0,0001

Fonte: Autor.

¹Biomassa perifítica (mg de matéria seca/cm²) inicial e final;

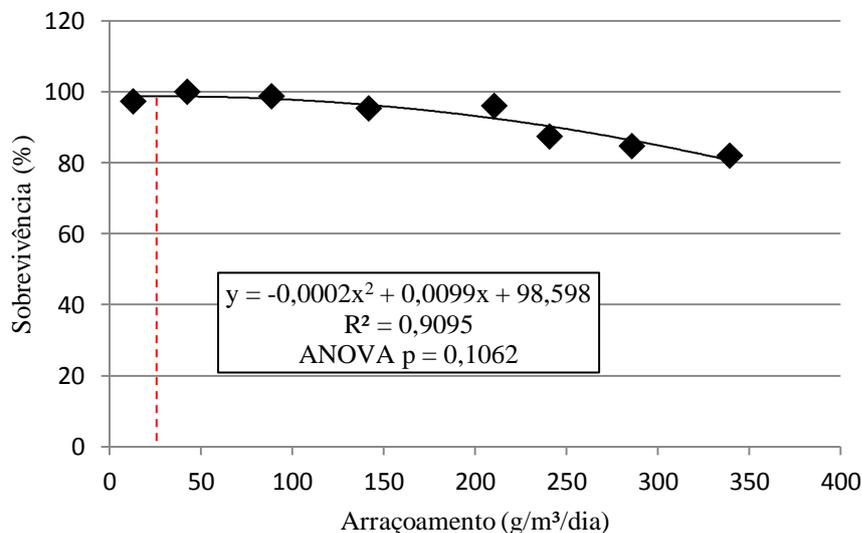
² Para cada variável, letras diferentes na mesma linha indicam que há diferença significativa entre as médias pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); Ausência de letras representa falta de significância estatística (ns: $p > 0,05$)

4.2 Desempenho zootécnico

4.2.1 Sobrevivência

A taxa ótima de arraçamento que resultou em uma maior sobrevivência foi de 24,8 g/m³/dia (Figura 7). De acordo com a regressão polinomial quadrática, essa taxa corresponde ao tratamento C-75, com sobrevivência igual a 100%. No entanto, não houve diferença significativa para sobrevivência entre os tratamentos experimentais ($p > 0,05$), os quais apresentaram resultados superiores a 80%. Embora não significativo, pode-se perceber uma clara tendência de queda da sobrevivência com o aumento do arraçamento. Portanto, taxas de arraçamento mais elevadas não contribuíram de forma significativa para mortalidade dos peixes. Marques *et al.* (2003) testaram taxas crescentes de arraçamento (4, 7, 10 e 13% do peso vivo) no cultivo de alevinos de tilápia do Nilo em tanques-rede e também não encontraram diferença significativa para sobrevivência, sendo esta maior que 90%. Uddin *et al.* (2009) observaram que a adição de substrato para desenvolvimento de perifíton, combinado com a oferta de alimento artificial resultou em maior sobrevivência de juvenis de tilápia do Nilo (76%). Neste trabalho, a presença de perifíton contribuiu para uma maior sobrevivência por oferecer maior oferta de alimento e diminuir a concentração de compostos tóxicos na água.

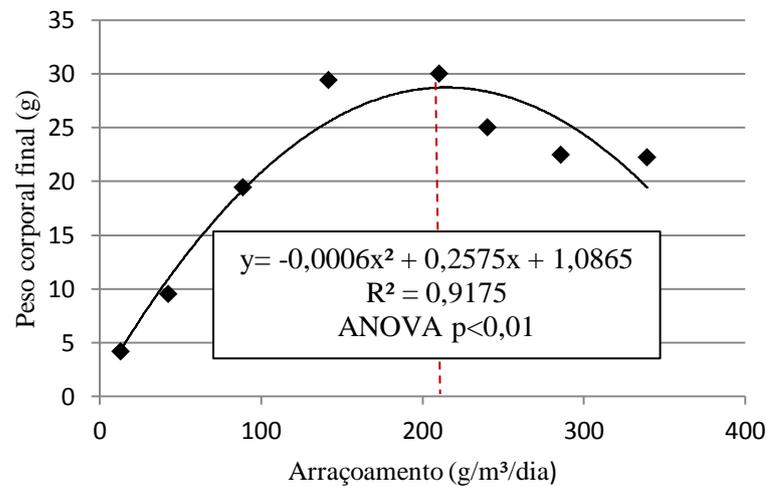
Figura 7 - Sobrevivência de juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* ($1,41 \pm 0,07$ g), cultivados por 10 semanas em tanques circulares de polietileno de 250L, submetidos a diferentes taxas de arraçamento em sistemas com substrato artificial.



4.2.2 *Peso corporal final*

O peso corporal final dos peixes dos tanques C-100, C-75 e C-50 foram iguais a $4,16 \pm 0,24$, $9,54 \pm 1,34$ e $19,44 \pm 3,07$ g, respectivamente, diferiu de modo significativo do peso dos peixes dos tanques C-25 ($29,44 \pm 4,77$ g), C ($30,0 \pm 4,07$ g), C+25 ($24,16 \pm 7,5$ g), C+50 ($22,47 \pm 10$ g) e C+75 ($22,24 \pm 9$ g). Não se observou diferença significativa para peso corporal final a partir do grupo C-25 em diante. Para determinação da taxa de arraçoamento ótima (ideal) de juvenis de tilápia do Nilo quando do uso de substratos artificiais, aplicou-se análise de regressão entre os resultados de peso corporal final e as taxas de arraçoamento. Com isso, a taxa ótima de arraçoamento foi de $215 \text{ g/m}^3/\text{dia}$ (Figura 8). Essa taxa corresponde ao praticado no tratamento C. Nos tanques do tratamento C, obteve-se peso corporal final médio de 30 g, valor máximo a partir do qual ocorre uma diminuição no crescimento dos animais cultivados. Tendo como referência os valores da tabela de alimentação empregada no presente trabalho, a taxa ótima de arraçoamento se inicia em 11,9% da biomassa estocada. Marques *et al.* (2003) concluíram que a taxa ideal de arraçoamento para alevinos de tilápia do Nilo (*O. niloticus*; $0,88 \pm 0,12$ g), mantidos a uma temperatura média da água de 23°C , foi igual a 11,55% do peso vivo. A taxa de arraçoamento encontrado na presente pesquisa foi um pouco mais elevada que a de Marques *et al.* (2003). Entretanto, vale ressaltar que a temperatura média encontrada na água de cultivo no presente trabalho variou de $28\text{-}30^\circ\text{C}$. Temperaturas mais elevadas aceleram o metabolismo dos peixes, fazendo com que haja maior consumo de alimento (BALDISSEROTO, 2002).

Figura 8 - Peso corporal final médio de juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, cultivados por 10 semanas em tanques circulares de polietileno de 250L, submetidos a diferentes taxas de arraçoamento em sistemas com substrato artificial.



As menores taxas de alimentação não possibilitaram uma ingestão adequada de nutrientes para o crescimento satisfatório dos juvenis de tilápia do Nilo. Além disso, as taxas superiores a 11,9% ocasionaram diminuição do ganho de peso (Figura 8). Marques *et al.* (2003) relataram que nas taxas alimentares acima de 12% da biomassa no cultivo convencional de tilápia em tanques-rede havia sobra de ração no fundo. Dessa forma, nos tanques onde a taxa de alimentação exógena foi maior que em C, houve desperdício de ração, a qual se depositou no fundo dos tanques, ocasionando piora na qualidade de água, com elevadas concentrações de NAT, ferro e diminuição da concentração de O₂D. Isso tudo causou mais estresse aos organismos confinados, inibindo o apetite dos peixes. Taxas alimentares abaixo do nível considerado ótimo podem levar ao aumento da heterogeneidade do lote pela competição direta pelo alimento entre os indivíduos (BARBOSA; NEVES; CERQUEIRA, 2011).

Os cultivos de organismos aquáticos, principalmente de espécies onívoras e herbívoras como as tilápias, baseados em substratos artificiais/naturais, proporcionam incremento no desempenho zootécnico dos peixes (KESHAVANATH *et al.*, 2001; AZIM *et al.*, 2001; HUCHETE *et al.*, 2000;). Nesses sistemas, pode haver diminuição no fornecimento de alimento exógeno (MILSTEIN, PERETZ, HARPAZ, 2009), visto que há uma maior disponibilização de alimento natural, por meio da comunidade perifítica. O perífíton é eficientemente consumido pelas tilápias, que, de acordo com Dempster, Beveridge e Baird (1993), pode ser ingerido até dez vezes mais que o fitoplâncton.

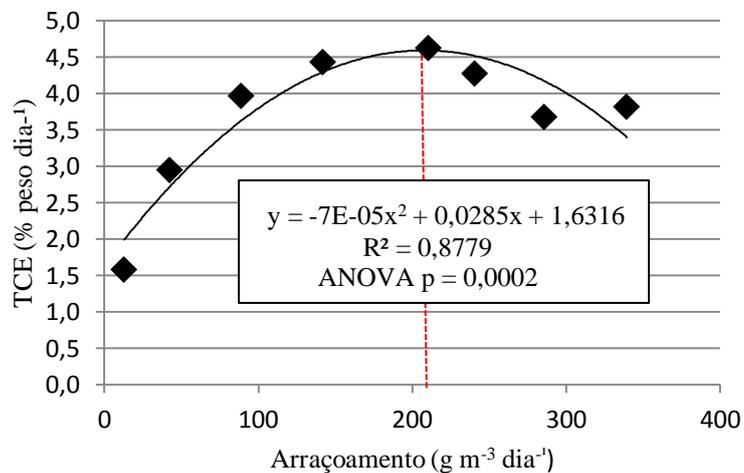
No entanto, deve-se empregar a taxa ótima de arraçoamento em sistemas baseados em substrato para se conseguir bons resultados zootécnicos, sem piora na qualidade de água,

nem aumento nos custos de produção. Outra alternativa para reduzir os custos de produção, sem que se faça uso de substratos submersos, é a inclusão da biomassa seca de perifíton na ração a ser ofertada aos peixes (ANAND *et al.*, 2013).

4.2.3 Taxa de crescimento específico

O aumento na quantidade de alimento disponível no tanque pode aumentar a taxa de crescimento específico (TCE) até determinado ponto. Acima deste nível, o peixe pode até ingerir mais alimento, mas diminuirá sua conversão alimentar, não havendo melhora na TCE. Nesse caso, haverá desperdício de alimento, pois é possível obter-se uma mesma TCE com uma quantidade menor de alimento (BALDISSEROTO, 2002). A TCE dos juvenis de tilápia do Nilo aumentou com a elevação da taxa de arraçoamento, sendo que a taxa ideal de arraçoamento foi calculada em 203 g/m³/dia. Essa taxa corresponde ao arraçoamento de 11,9% da biomassa estocada, o qual proporcionou a maior TCE observada, igual a 4,62 g.

Figura 9 – Taxa de crescimento específico (TCE) de juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, cultivados por 10 semanas em tanques circulares de polietileno de 250L, submetidos a diferentes taxas de arraçoamento em sistemas com substrato artificial.



Os peixes do tratamento C-100, que foram arraçoados somente nas duas semanas iniciais, apresentaram TCE igual $1,58 \pm 0,11$ % peso dia⁻¹, diferindo significativamente dos demais tratamentos, que receberam ração durante todo o período experimental. Uddin *et al.* (2009) obtiveram TCE igual a $2,50 \pm 0,05$ % peso dia⁻¹ para juvenis de tilápia do Nilo na presença de substrato e com alimentação artificial; $2,47 \pm 0,05$ % peso dia⁻¹ para tanques sem substrato e com fornecimento de ração e uma TCE igual a $2,40 \pm$

0,10 para as tilápias estocadas nos tanques sem alimento artificial, mas com substratos submersos. Esse último valor foi superior ao observado no presente trabalho, fato esse que pode ser explicado pela fertilização realizada nos tanques do trabalho de Uddin *et al.* (2009), a qual proporcionou maior disponibilidade de alimento natural aos peixes. Rahman, Verdegem e Wahab (2008) encontram valores de TCE para tilápia iguais a 1,50 e 1,16 (% peso corporal dia⁻¹), com e sem alimentação artificial, respectivamente.

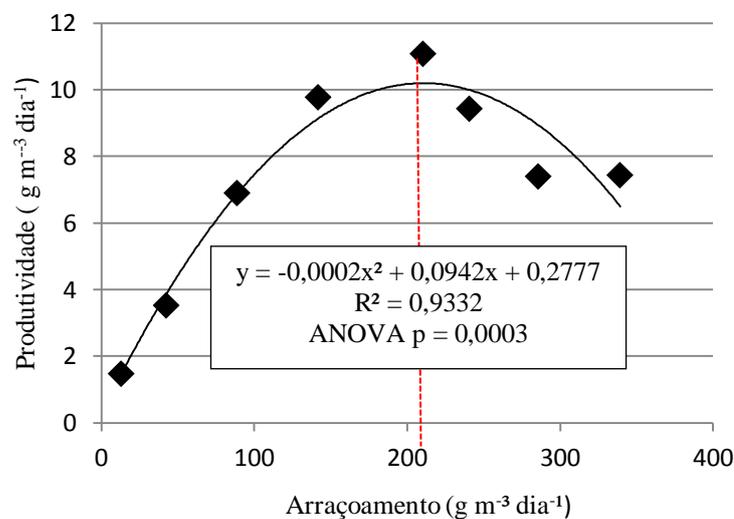
4.2.4 Produtividade

Na análise de produtividade dos tanques (g/m³/dia), foi observado diferença significativa entre as médias dos tratamentos (ANOVA $p < 0,05$). As médias de produtividade (g/m³/dia) dos tratamentos C-50 ($6,89 \pm 0,77$), C-25 ($9,77 \pm 1,5$), C ($11,43 \pm 1,0$), C+25 ($9,43 \pm 6,0$), C+50 ($7,39 \pm 5,5$) e C+75 ($7,43 \pm 4,3$), quando comparadas com C-100 ($1,48 \pm 0,09$) e C-75 ($3,52 \pm 0,5$), diferiram significativamente entre si. O tratamento C, que corresponde ao arraçoamento de 210 g/m³/dia, apresentou maior produtividade que os demais tratamentos, embora sem significância estatística. Pela análise de regressão realizada, a taxa ótima de arraçoamento correspondeu a 235,5 g/m³/dia, valor esse que se aproxima mais do praticado no tratamento C+25. Entretanto, os tanques do grupo C apresentaram maior produtividade, a partir da qual ocorreu queda nos demais tratamentos (Figura 10). Apesar da taxa ótima de arraçoamento ter sido apontado como a do tratamento C+25, para o produtor o importante é obter maior produtividade com menor custo com ração. Dessa forma, o tratamento C foi aquele que proporcionou a maior produtividade com menores gastos com alimentação, além de promover crescimento satisfatório do perifíton e melhor qualidade de água. Esses fatos não foram observados nos tanques do tratamento C+25.

Uddin *et al.* (2009) obtiveram maior produtividade de pescado no tratamento no qual havia adição de alimento e substrato (1.940 kg/ha), em relação ao tratamento com alimento mas sem substrato (1.594 kg/ha). Esses autores atribuíram a maior produtividade a presença do perifíton nos tanques. Azim *et al.* (2004) concluíram que qualquer área de substrato instalado nos tanques é capaz de aumentar a produção de peixe cultivado. Keshavanath *et al.* (2004) encontraram produtividade maior nos tratamentos com substrato e alimentação artificial (2.141,8 g em 25 m²), em relação aos tanques que não tinham substrato (1.225,7 g em 25 m²). Cavalcante *et al.* (2011) obtiveram maior produtividade de tilápia nos tanques com substratos e que receberam 50% da alimentação ($72,2 \pm 14,8$ g m⁻²) do que nos

tanques sem substrato e mesma quantidade de ração ($54,2 \pm 9,1 \text{ g m}^{-2}$). Dessa forma, pode-se afirmar que a presença de substratos submersos no tanque de cultivo contribui significativamente para a elevação da produtividade no cultivo de tilápia do Nilo, sendo necessário, no entanto, aplicar taxas adequadas de alimentação artificial para que se consiga melhor desempenho zootécnico.

Figura 10 – Produtividade de tanques de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, mantidos por 10 semanas em tanques circulares de polietileno de 250L, submetidos a diferentes taxas de arraçoamento em sistemas com substrato artificial.



4.2.5 Fator de Conversão Alimentar (FCA)

O fator de conversão alimentar (FCA) é calculado dividindo-se a quantidade total de ração fornecida aos peixes pelo ganho de peso corporal (KUBTIZA, 1999). Os valores de FCA aumentaram à medida que a taxa de arraçoamento aumentou (Figura 11). Os resultados de FCA para os tratamentos C-100, C-75, C-50, C-25 e C foram iguais a $0,84 \pm 0,07$, $0,88 \pm 0,11$, $0,86 \pm 0,06$, $0,97 \pm 0,21$ e $1,31 \pm 0,16$, respectivamente. Esses resultados de FCA não diferiram entre si ($p > 0,05$), mas divergiram significativamente dos grupos C+25, C+50 e C+75, que apresentaram FCAs iguais a $2,39 \pm 1,2$, $5,47 \pm 1,5$, $4,29 \pm 1,2$, respectivamente. De acordo com Kubitza (1999), o FCA para recria da tilápia em tanques com plâncton deve ficar entre 0,8-1,2. A taxa ótima de arraçoamento, de acordo com a análise de regressão realizada, que proporcionou menor FCA foi igual a $59,0 \text{ g/m}^3/\text{dia}$. Esse valor corresponde à taxa empregada para o grupo C-75 ($2,98\% \text{ peso dia}^{-1}$). O melhor FCA desse grupo, no entanto, não foi seguido pelos resultados de peso corporal final, TCE e produtividade maior. Assim, o

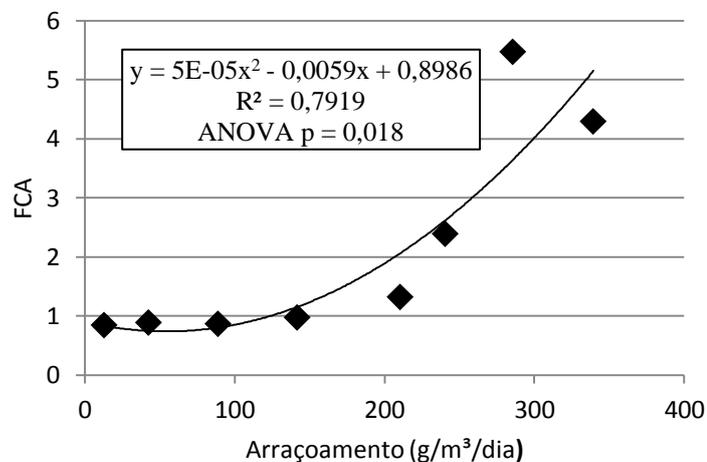
FCA do tratamento C, mesmo sendo maior (1,3:1) que do tratamento C-75, aproxima-se mais da realidade dos cultivos tradicionais de juvenis de tilápia.

Taxas excessivas de arraçoamento, mesmo que não levem a desperdício de ração, geralmente promovem uma maior velocidade de passagem do alimento no trato digestivo, o que reduz a sua digestão e assimilação, piorando o FCA (KUBTIZA, 1999).

Uddin *et al.* (2009) obtiveram um valor de FCA igual a 1,21 para juvenis de tilápia do Nilo cultivados em tanques com substratos e com alimentação (3%), contra um FCA de 1,32, para juvenis mantidos em tanques sem substrato e com ração. Esses resultados indicaram que perifíton complementa a alimentação administrada. Azim *et al.* (2003c) determinaram o FCA da tilápia, em tamanhos de 7g e de 24g, utilizando somente perifíton. Esses autores obtiveram um FCA para perifíton de 2,81 para matéria seca e de 1,34 para matéria seca livre de cinzas.

A presença de perifíton nos tanques de cultivo incrementa a quantidade e a qualidade de alimento natural nos mesmos, visto que os microrganismos presentes na biomassa perifítica possuem nutrientes importantes para o bom desenvolvimento dos peixes, tais como vitaminas, ácidos graxos poli-insaturados, carotenoides. Essa riqueza nutricional associada a melhoria das condições ambientais (UDDIN *et al.*, 2009; KESHAVANATH *et al.*, 2004; MILSTEIN *et al.*, 2003; THOMPSON, ABREU e WASIELESKY, 2000), contribuem para obtenção de excelentes resultados de crescimento, sobrevivência e de produtividade.

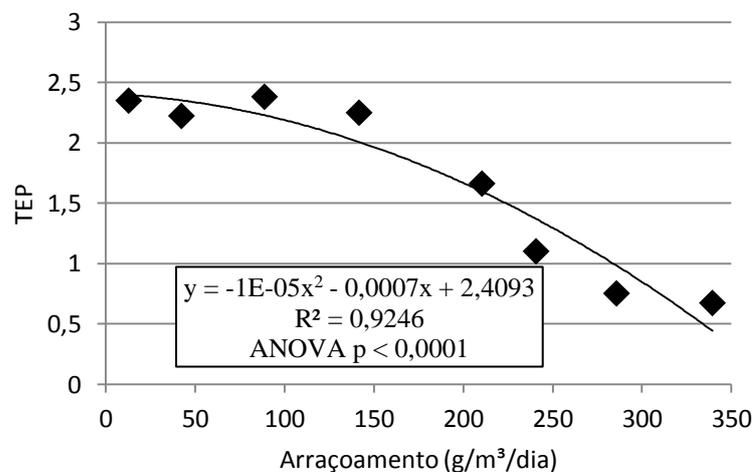
Figura 11 – Fator de conversão alimentar (FCA) de juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, cultivados por 10 semanas em tanques circulares de polietileno de 250L, submetidos a diferentes taxas de arraçoamento em sistemas com substrato artificial.



4.2.6 Taxa de Eficiência Proteica (TEP)

A taxa de eficiência proteica (TEP), que indica quanto da proteína bruta (PB) da dieta foi convertida em peso corporal (SÁ; FRACALOSSI, 2002), apresentou diminuição com o aumento na taxa de arraçamento (Figura 12). Esse resultado indica que o alimento exógeno não foi bem aproveitado pelos peixes nas maiores taxas de arraçamento. Avnimelech (2000) afirma que a presença de microrganismos nos tanques de cultivo aumenta a eficiência da conversão proteica de 20-25% para cerca de 45%. Isso porque esses microrganismos convertem o nitrogênio inorgânico presente na água e os disponibilizam aos organismos cultivados na forma de proteína microbiana. A ideia de que em cultivos baseados em substratos artificiais se faz necessário a diminuição da quantidade de ração ofertada aos animais foi comprovada no presente trabalho. A taxa ótima de arraçamento foi calculada em 35 g/m³/dia, correspondendo ao tratamento C-75 (2,9% peso corporal dia⁻¹).

Figura 12 – Taxa de Eficiência Proteica (TEP) de juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, cultivados por 10 semanas em tanques circulares de polietileno de 250L, submetidos a diferentes taxas de arraçamento em sistemas com substrato artificial.



Os tratamentos C-100, C-75, C-50, C-25 e C não diferiram entre si para TEP, apresentando valores para essa variável iguais a $2,35 \pm 0,39$; $2,22 \pm 0,30$; $2,38 \pm 0,16$; $2,25 \pm 0,41$ e $1,66 \pm 0,2$, respectivamente. A TEP do tratamento C-25 foi numericamente maior que o observado para os demais. Os tratamentos acima, excetuando-se o C, diferiram significativamente ($p < 0,05$) dos tratamentos C+25, C+50 e C+75, os quais apresentaram menores valores de TEP, respectivamente iguais a $1,10 \pm 0,61$; $0,75 \pm 0,5$ e $0,67 \pm 0,34$.

4.3 Qualidade de água

Segunda fase

4.3.1 Temperatura, pH e condutividade elétrica da água de cultivo

A temperatura da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo às 8h e às 16h foi em média igual a $27,05 \pm 0,36^\circ\text{C}$ e $29,78 \pm 0,94^\circ\text{C}$, respectivamente. Não houve diferença significativa ($p>0,05$) para temperatura nos tanques com diferentes densidades de estocagem, arraçoados com a taxa sub-ótima e ótima (Figura 13). Também não houve diferença entre as temperaturas da água nas diferentes taxas de arraçoamento em cada densidade de estocagem (Figura 14).

Os valores de temperatura da água obtidos no presente estudo estão dentro da faixa adequada para o cultivo de tilápia do Nilo. De acordo com El-Sayed e Kawanna (2008), a temperatura da água é um dos fatores mais importante para o sucesso do cultivo, pois afeta a fisiologia, o crescimento, a reprodução e o metabolismo dos peixes. Esses mesmos autores afirmaram que a temperatura da água de 28°C é aquela que proporciona maior crescimento e sobrevivência da tilápia nilótica, enquanto que em temperaturas abaixo de $24,0^\circ\text{C}$ e acima de $32,0^\circ\text{C}$ ocorre redução da taxa de crescimento e da eficiência da alimentar dos animais.

Figura 13- Temperatura da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo as 8h e 16h submetidos a quatro diferentes densidades de estocagem (3, 6, 9, e 12 peixes/tanque) e duas taxas de arraçoamento (sub-ótima-9% e ótima-12% biomassa/dia) em sistema com perifiton. Ausência de letras nas colunas indica que não houve diferença significativa pelo teste de Tukey ($>0,05$), da temperatura da água nas densidades de estocagem empregadas em relação a taxa de arraçoamento sub-ótima e ótima.

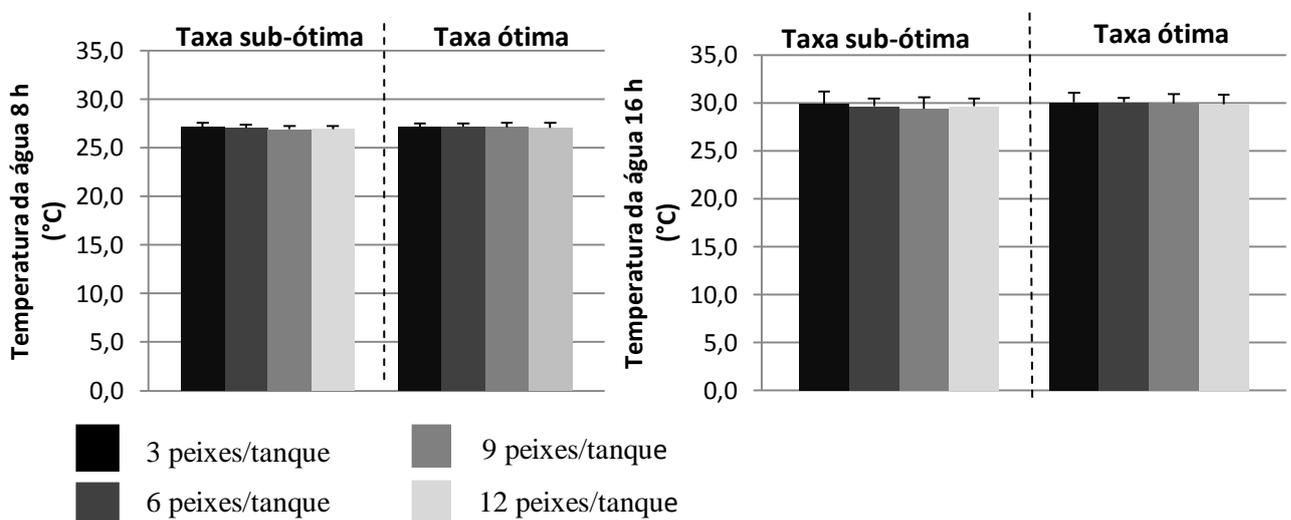
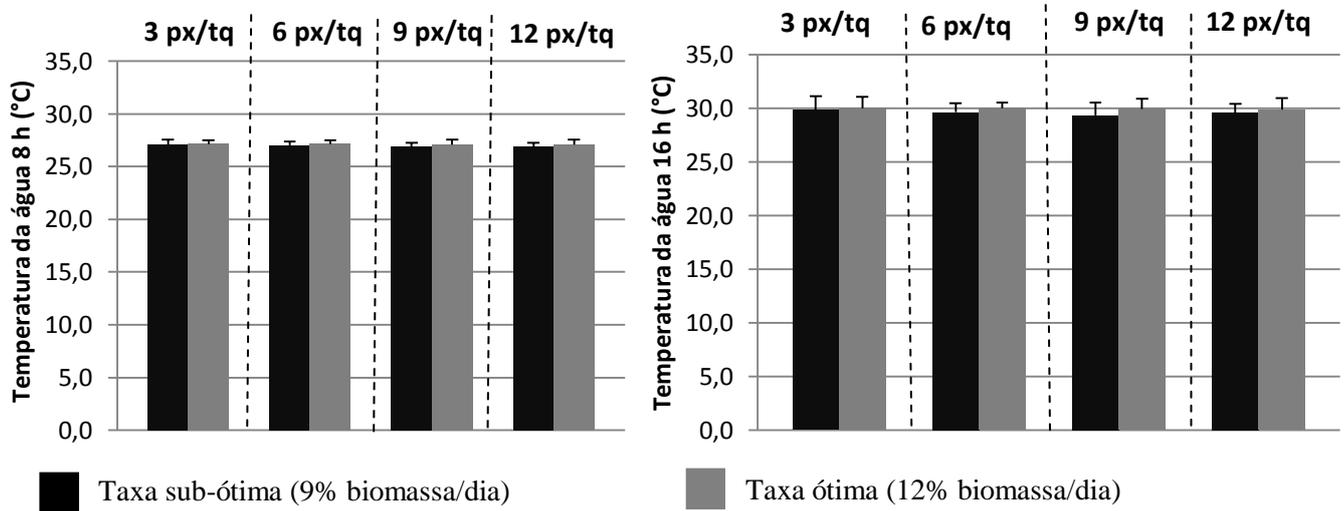


Figura 14- Temperatura da água de cultivo, 8:00 h e 16:00 h, de juvenis de tilápia do Nilo submetidos a duas taxas de arraçamento (sub-ótima-9% e ótima-12% biomassa/dia) e 4 densidades de estocagem (3, 6, 9, e 12 peixes/tanque) em sistema com perifiton. Ausência de letras nas colunas indica que não houve diferença significativa pelo teste de Tukey ($>0,05$) da temperatura da água dos tanques nas duas taxas de arraçamento em cada densidade de estocagem.



O pH da água de cultivo foi, em média, igual a $7,88 \pm 0,30$ a $8,83 \pm 0,46$, para o período da manhã e da tarde, respectivamente. Não houve diferença significativa entre as médias de pH de cada tratamento, independentemente do horário considerado. Não foi observado efeito das densidades de estocagem dos juvenis de tilápia, nem das duas taxas de arraçamento no pH da água (Figuras 15 e 16). Os valores de pH da água no presente trabalho foram satisfatórios para o cultivo da tilápia nilótica, cuja faixa ideal vai de 5 a 11 (Watanabe *et al.*, 2003). Zuanon, Assano e Fernandes (2004) não observaram diferença no pH da água de cultivo do *Trichogaster trichopterus* quando os animais foram estocados em três diferentes densidades (5, 10 e 15 peixes/aquário) e submetidos a três taxas de arraçamento (3, 6 e 9% biomassa dia⁻¹). Esses autores, entretanto, observaram diminuição do pH da água ao longo do cultivo para a maior densidade de estocagem e taxa de arraçamento.

Figura 15- pH da água de cultivo, 8:00 h e 16:00 h, de juvenis de tilápia do Nilo submetidos a 4 diferentes densidades de estocagem (3,6,9, e 12 peixes/tanque) e duas taxas de arraçamento (sub-ótima-9% e ótima-12% biomassa/dia) em sistema de perifiton. Ausência de letras indica que não houve diferença estatística significativa pelo teste de Tukey (>0,05) do pH da água dos tanques nas duas taxas de arraçamento em cada densidade de estocagem.

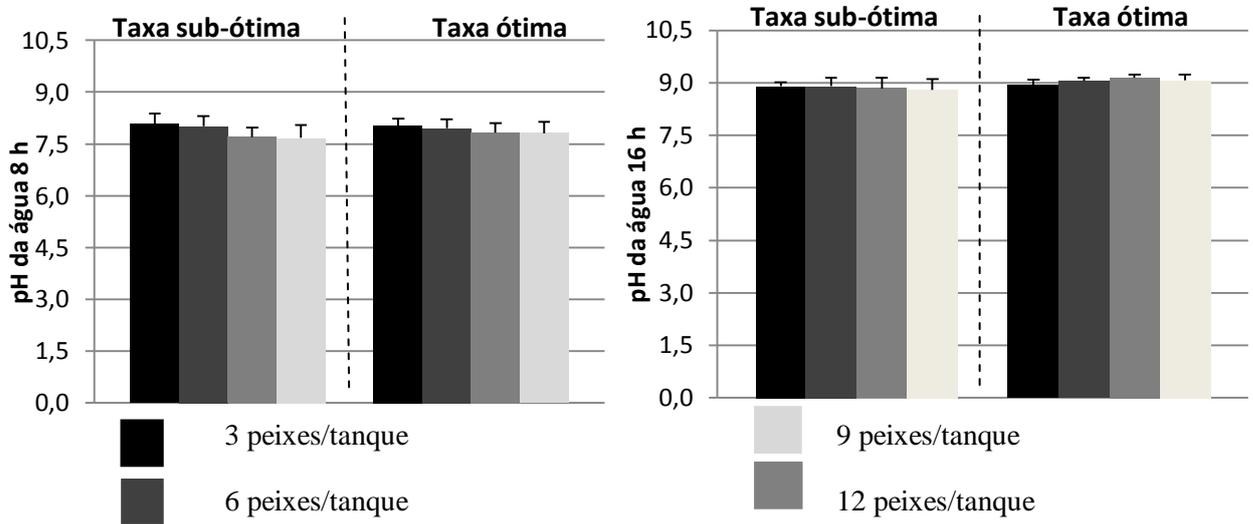
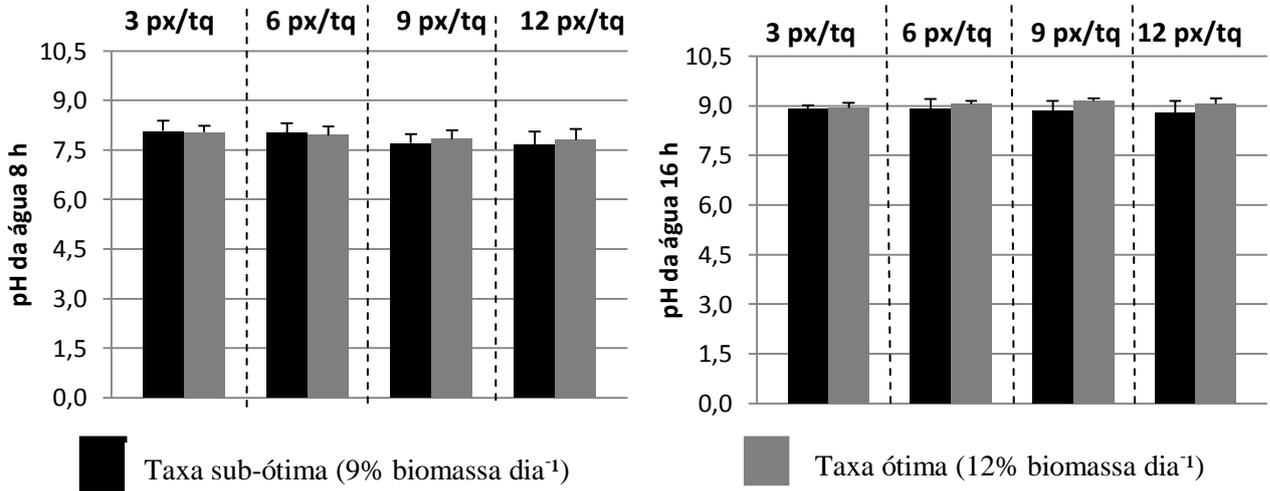


Figura 16- pH da água de cultivo, 8:00 h e 16:00 h, de juvenis de tilápia do Nilo e duas taxas de arraçamento (sub-ótima-9% e ótima-12% biomassa/dia) e submetidos a 4 diferentes densidades de estocagem (3, 6, 9, e 12 peixes/tanque) em sistema com perifiton. Ausência de letras indica que não houve diferença significativa pelo teste de Tukey (>0,05) do pH da água dos tanques nas duas taxas de arraçamento em cada densidade de



A condutividade elétrica (CE) da água se elevou durante o período experimental, iniciando com CE igual a $600 \mu\text{S cm}^{-1}$ chegando até valores acima de $1800 \mu\text{S cm}^{-1}$. Esses resultados elevados de CE foram devido às duas aplicações de sal grosso realizadas nas duas primeiras semanas experimentais. Realizou-se esse procedimento a fim de diminuir a mortalidade de peixes que estava acontecendo em todos os tratamentos. Kubtiza (2007) relata a importância da aplicação de sal comum (NaCl) para diversos fins na piscicultura, como prevenção e controle de doenças, alívio dos estresses relacionados às despescas, biometrias, amenizador de condições ambientais adversas (toxidez por nitrito), inflamação das brânquias. Além disso, a mineralização da matéria orgânica acumulada nos tanques contribuiu para o aumento nas leituras de CE da água de cultivo.

A salinidade da água de cultivo, antes da aplicação de sal comum à água, era igual a 0,32 g/L. Após duas semanas da aplicação de sal, a salinidade da água foi em média igual a 1,46 g/L. De acordo com Sá (2012), o aumento da salinidade da água implica em aumento na CE da água e vice-versa. Sendo assim, a aplicação de sal comum à água, juntamente com a decomposição dos restos de ração não-consumida e de matéria orgânica, além das elevadas taxas de evaporação, contribuíram para o aumento na concentração de íons inorgânicos dissolvidos na água que, conseqüentemente, elevou a CE da água. Apesar da elevação da CE da água, não houve diferença significativa entre as médias de CE dos tratamentos experimentais, observação válida tanto para período da manhã como da tarde (Figura 17 e 18).

Figura 17- Condutividade elétrica da água de cultivo, 8:00 h e 16:00 h, de juvenis de tilápia do Nilo submetidos a 4 diferentes densidades de estocagem (3, 6, 9, e 12 peixes/tanque) e duas taxas de arraçoamento (sub-ótima-9% e ótima-12% biomassa/dia) em sistema baseado em perifíton. Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey (>0,05).

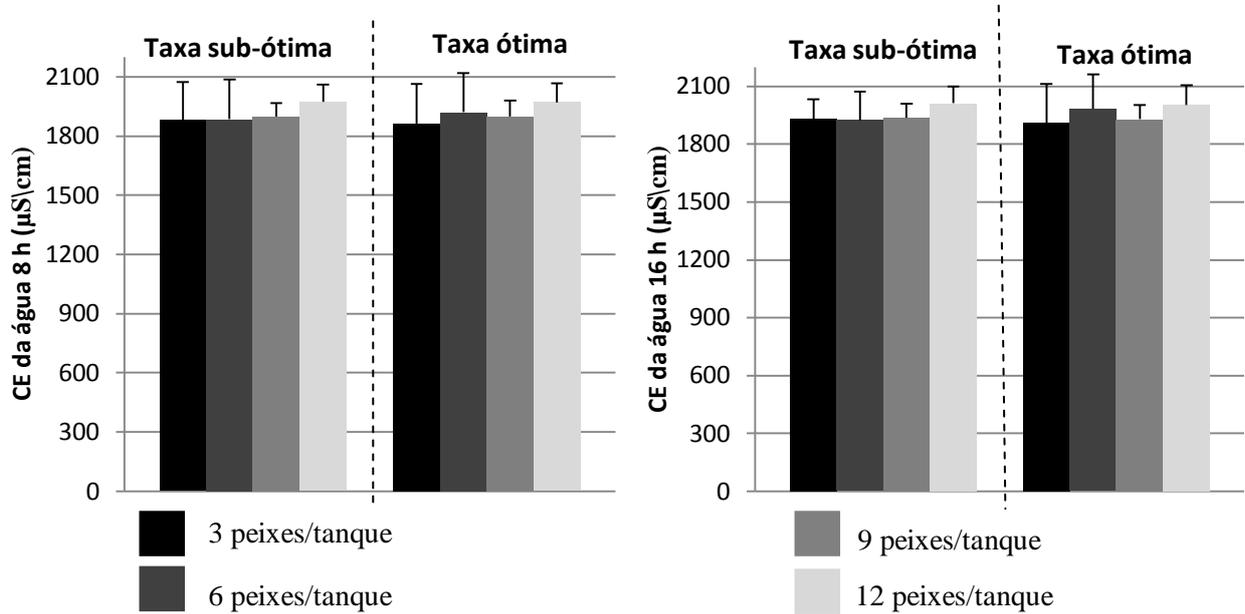
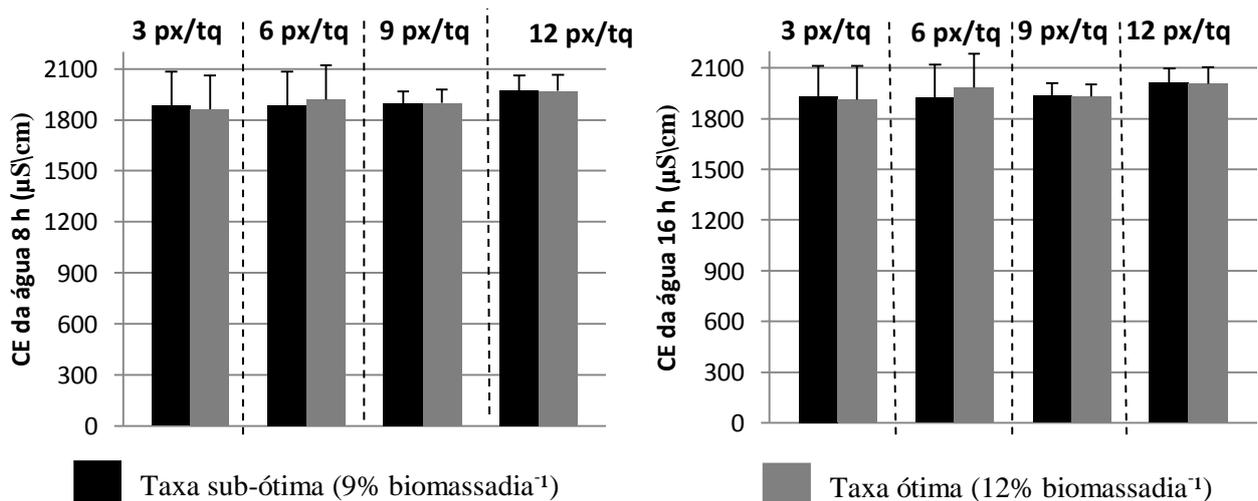


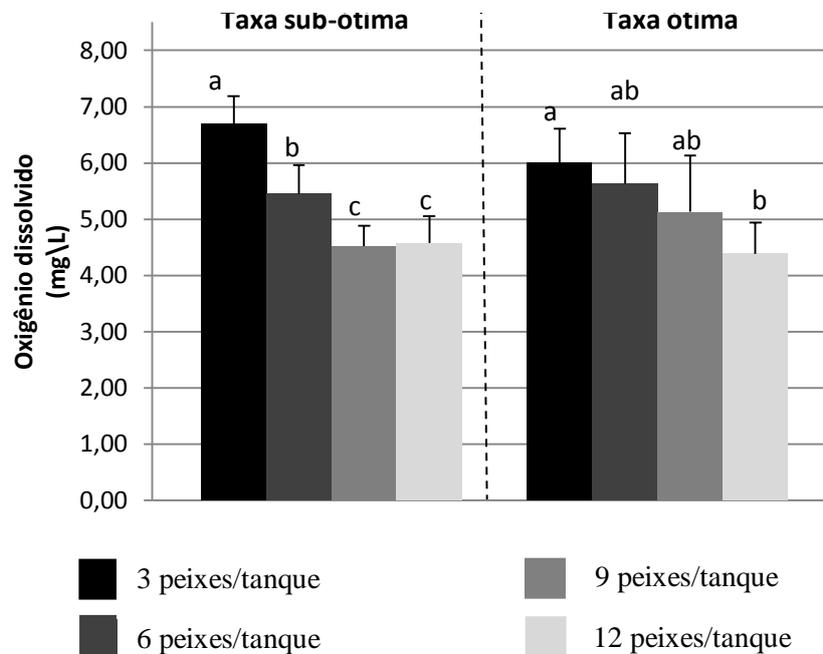
Figura 18- Condutividade elétrica da água de cultivo, 8:00 h e 16:00 h, de juvenis de tilápia do Nilo submetidos duas taxas de arraçoamento (sub-ótima-9% e ótima-12% biomassa/dia) e a 4 diferentes densidades de estocagem (3,6,9, e 12 peixes/tanque) em sistema baseado com perifíton. Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey (>0,05).



4.3.2 Oxigênio dissolvido e Dióxido de carbono livre

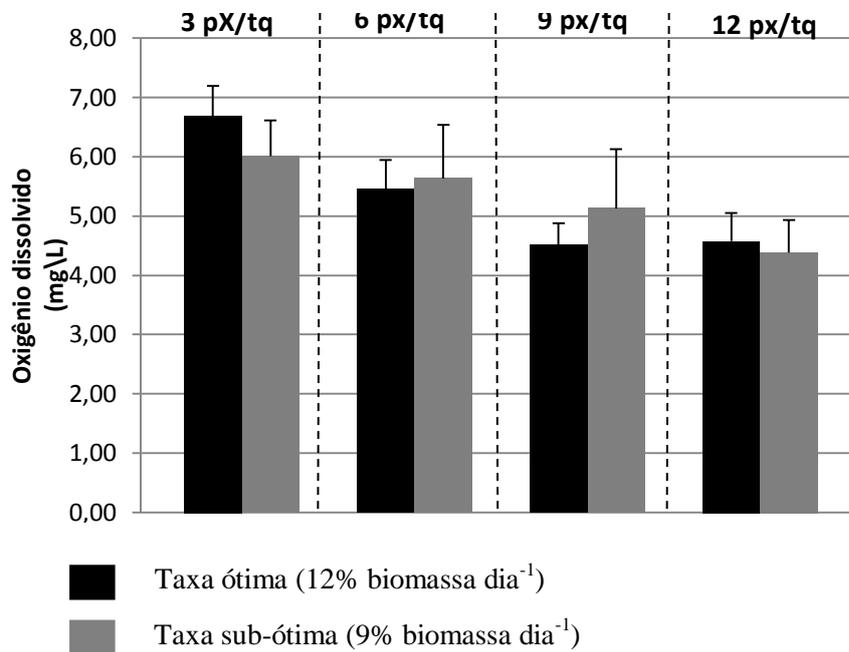
O aumento na densidade de estocagem de peixes nos tanques fez com que as concentrações de oxigênio dissolvido diminuíssem significativamente (Figura 19). Souza *et al.*, (1998) e Marengoni *et al.* (2008), trabalhando com diferentes densidades de estocagem de tilápia do Nilo, também observaram decréscimo nas concentrações de oxigênio dissolvido na água quando se aumentou a densidade de estocagem. No presente trabalho, foi observado efeito altamente significativo ($p < 0,0001$) das densidades de estocagem nas concentrações de O_2D na água de cultivo dos peixes. A concentração de O_2D nos tanques estocados com 3 juvenis de tilápia foi maior do que nos tanques de maior densidade, sendo iguais a $6,69 \pm 0,50$, e $6,01 \pm 0,60$ $mg L^{-1}$, utilizando-se a taxa sub-ótima e ótima, respectivamente. Os tanques de cultivo com 12 peixes/ m^3 e taxa ótima de arraçoamento (12%) apresentaram concentração de O_2D numericamente menor do que o observado nas densidades de 6 e 9 px/tq, sendo igual a $4,39 \pm 0,55$ $mg L^{-1}$. Nos tanques com 12 px/tq houve maior entrada de ração, conseqüentemente, maior carga de matéria orgânica oriunda de restos de ração não consumida, excretas dos peixes e de biomassa fitoplanctônica e perifítica morta. A decomposição bacteriana dessa matéria orgânica remove O_2D da água. Além dessa, há ainda a própria demanda dos peixes pelo O_2D para respiração. Isso tudo contribuiu para que se observasse os menores valores de O_2D nesse tratamento (12 px/tq). Os tanques com densidades maiores de estocagem, isto é 6, 9 e 12 px/tq, apesar de apresentarem menor concentração de O_2D em relação a menor densidade, apresentaram concentrações de O_2D na água superiores a $4,0$ $mg L^{-1}$, condição essa que não provavelmente trouxe prejuízo para o bom desenvolvimento e integridade dos peixes cultivados (SÁ, 2012). A presença dos substratos artificiais nos tanques talvez tenha possibilitado o estabelecimento de um ambiente mais normóxico. Azim *et al.* (2003) relataram que houve incremento significativo de oxigênio dissolvido na água à medida que havia maior quantidade de biomassa perifítica nos tanques de cultivo.

Figura 19- Oxigênio dissolvido da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos a quatro diferentes densidades de estocagem (3, 6, 9, e 12 peixes/tanque) e duas taxas de arraçamento (sub-ótima-9% e ótima-12% biomassa/dia) em sistema de perifíton. Colunas com letras minúsculas diferentes representam médias estatisticamente diferentes entre si, nas quatro densidades de estocagem empregadas (ANOVA $p < 0,05$; média \pm d.p.; $n=5$).



As taxas de arraçamento empregadas no presente trabalho, isto é, taxa sub-ótima (9%) e ótima (12%), não afetaram significativamente as concentrações de O_2D na água de cultivo dos juvenis de tilápia do Nilo (Figura 20). Isso sugere que na presença de substratos artificiais, o aumento na taxa de alimentação exógena de 9 para 12% biomassa dia^{-1} , no cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, não causou hipóxia no meio de cultivo, tendo o perifíton sido provavelmente responsável pela manutenção de concentrações adequadas de O_2D na água. Esses resultados mostram a eficiência da comunidade autotrófica do perifíton na ciclagem de nutrientes e na produção de O_2D . Nos sistemas baseados em perifíton, há estreita ligação entre os processos autotróficos e heterotróficos nos tapetes perifíton, acelerando a ciclagem de nutrientes e influenciando positivamente a qualidade da água (MILSTEIN *et al.*, 2003).

Figura 20 - Oxigênio dissolvido da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos a duas taxas de arraçoamento (sub-ótima-9% e ótima-12% biomassa/dia) e a quatro diferentes densidades de estocagem (3,6,9, e 12 peixes/tanque) em sistema baseado com perifíton. Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey ($>0,05$).



A concentração de dióxido de carbono (CO_2) na água apresentou padrão inverso ao do oxigênio dissolvido, elevando-se nos tanques com as maiores densidades de estocagem. Houve efeito significativo da densidade de estocagem nas concentrações de CO_2 livre na água (Figura 21), mas não se observou o mesmo em relação às taxas de arraçoamento empregadas no presente trabalho (Figura 22). As principais fontes de CO_2 nos sistemas aquaculturais são a respiração das algas, dos peixes e do zooplâncton, mas principalmente os processos microbiológicos de decomposição da matéria orgânica (KUBTIZA, 1999). De acordo com Boyd e Queiroz (1997), a concentração segura de CO_2 para peixes seria abaixo de 5 mg L^{-1} e longas exposições a esse gás, acima da concentração de 10 mg L^{-1} , devem ser evitadas. Com exceção dos tanques estocados com 3 peixes e arraçoados segundo a taxa sub-ótima, que apresentou concentração de CO_2 livre igual a $4,81 \pm 1,23 \text{ mg L}^{-1}$, os demais tanques apresentaram elevadas concentrações desse composto. De acordo com Piérri (2012), as bactérias heterotróficas liberam muito dióxido de carbono para água, sendo que em sistemas sem renovação de água esse dióxido de carbono se acumula. Com isso, há redução no pH da água e pode haver estresse aos organismos cultivados. No presente estudo, não foi verificado redução do pH da água devido ao aumento nas concentrações de CO_2 livre porque havia boa reserva alcalina na água e no solo dos tanques.

Figura 21- Concentração de CO₂ livre da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos a quatro diferentes densidades de estocagem (3,6,9, e 12 peixes/tanque) e duas taxas de arraçamento (sub-ótima-9% e ótima-12% biomassa/dia) em sistema de perífiton. Letras diferentes indicam que houve diferença estatística significativa pelo teste de Tukey (>0,05).

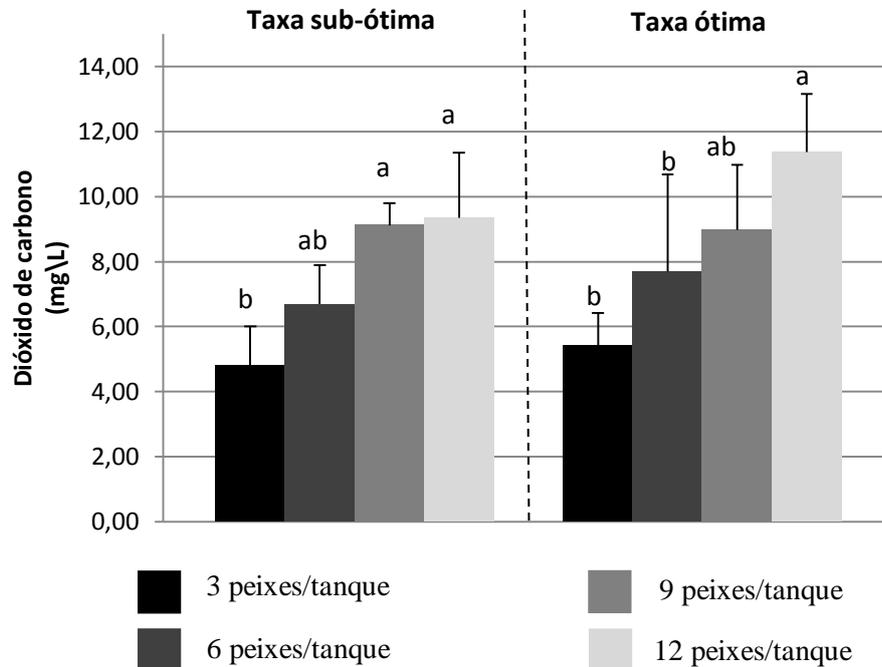
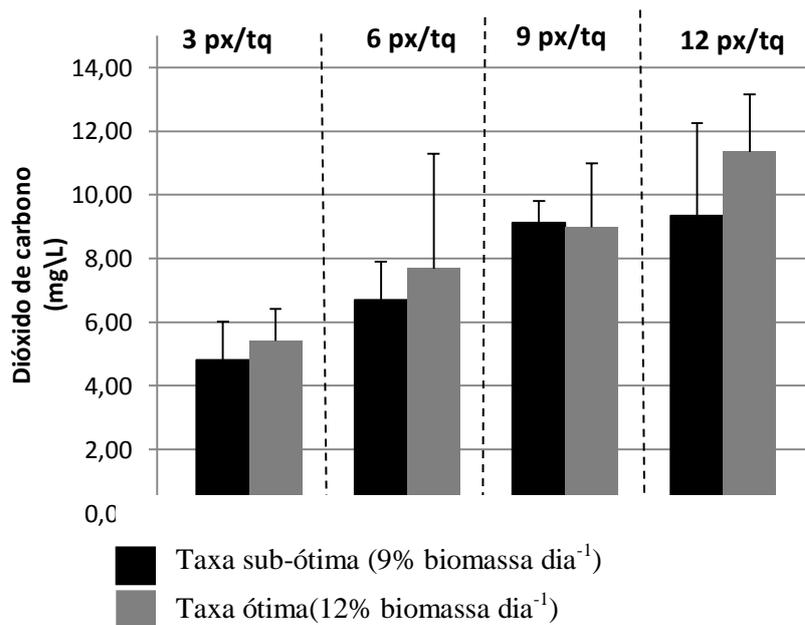


Figura 22- Concentração de CO₂ livre da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos duas taxas de arraçamento (sub-ótima-9% e ótima-12% biomassa/dia) e a quatro diferentes densidades de estocagem (3,6,9, e 12 peixes/tanque) em sistema baseado com perífiton. Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey (>0,05).



4.3.3 Alcalinidade total e dureza total

A alcalinidade total da água não foi afetada pelos dois fatores estudados no presente trabalho ($p > 0,05$), isto é, densidade de estocagem (3, 6, 9 e 12 px/tq) e taxa de arraçamento (9 e 12% biomassa dia⁻¹; Figuras 23 e 24). O mesmo foi verificado para os resultados de dureza total da água (Figuras 25 e 26).

Os valores de alcalinidade e de dureza total da água de cultivo foram, em geral, superiores a 70 mg de CaCO₃ L⁻¹ e 140 mg de CaCO₃L⁻¹, respectivamente. Essas concentrações são consideradas adequadas para o cultivo de peixes. Recomenda-se de 50-200 mg de CaCO₃L⁻¹ (BOYD, 1999) e 60-150 mg CaCO₃ L⁻¹ (SÁ, 2012) para alcalinidade e dureza, respectivamente. Azim *et al.* (2001) não observaram diferença significativa da alcalinidade da água no cultivo de duas espécies de carpa em diferentes densidades de estocagem, na presença de substrato artificial, ficando a alcalinidade total acima de 90 mg L⁻¹. Viau *et al.* (2012) observaram diferença entre a dureza total dos tanques de cultivo do lagostim *Cherax quadricarinatus* submetido ao tratamento que fornecia apenas alimento formulado, e aqueles constituídos apenas de biofilme de perifíton e o que continha ambos (alimento formulado + biofilme). Nesse trabalho, houve diminuição da dureza da água ao longo dos dias de cultivo. Já no presente trabalho, apesar de forma discreta, houve aumento da dureza total.

Figura 23- Alcalinidade total da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo mantidos em tanques experimentais de 250 L por 8 semanas, submetidos a quatro densidades de estocagem diferentes (3, 6, 9 e 12 peixes/tanque) e duas taxas de arraçamento (9 e 12% biomassa/dia). Ausência de letras indica que não houve diferença significativa entre os tratamentos (ANOVA $p > 0,05$; média \pm e.p.m; n=5).

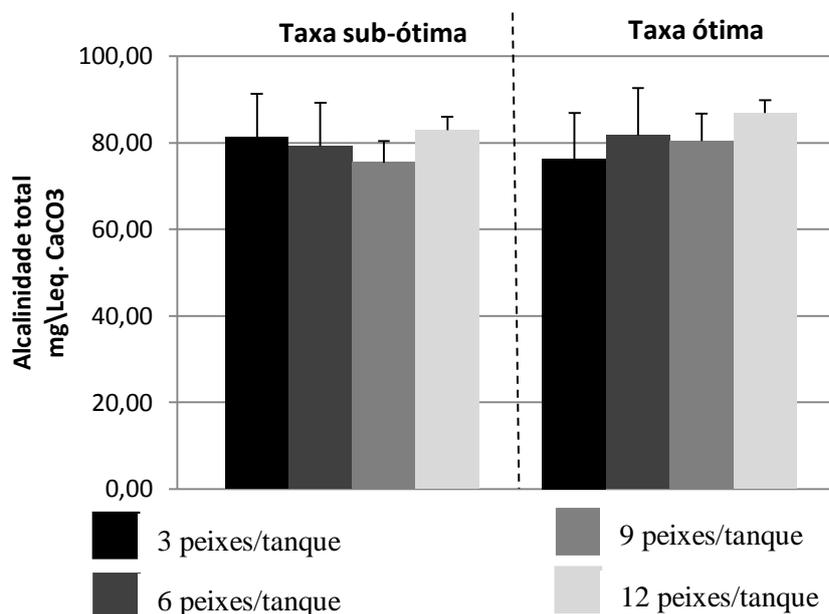


Figura 24- Alcalinidade total da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo mantidos em tanques experimentais de 250 L por 8 semanas, submetidos a duas taxas de arraçamento (9 e 12% biomassa/dia) e quatro densidades de estocagem diferentes (3, 6, 9 e 12 peixes/tanque em sistema baseado com perifíton. Ausência de letras indica que não houve diferença significativa entre os tratamentos (ANOVA $p>0,05$; média \pm e.p.m; $n=5$).

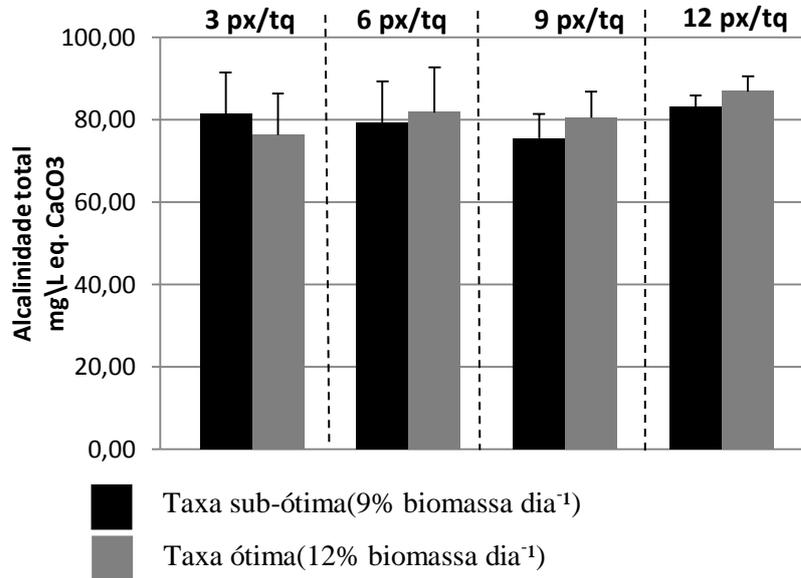


Figura 25- Dureza total da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo mantidos em tanques experimentais de 250 L por 8 semanas, submetidos a quatro densidades de estocagem diferentes (3, 6, 9 e 12 peixes/tanque) e duas taxas de arraçamento (9 e 12% biomassa/dia). Ausência de letras indica que não houve diferença significativa entre os tratamentos (ANOVA $p>0,05$; média \pm e.p.m; $n=5$).

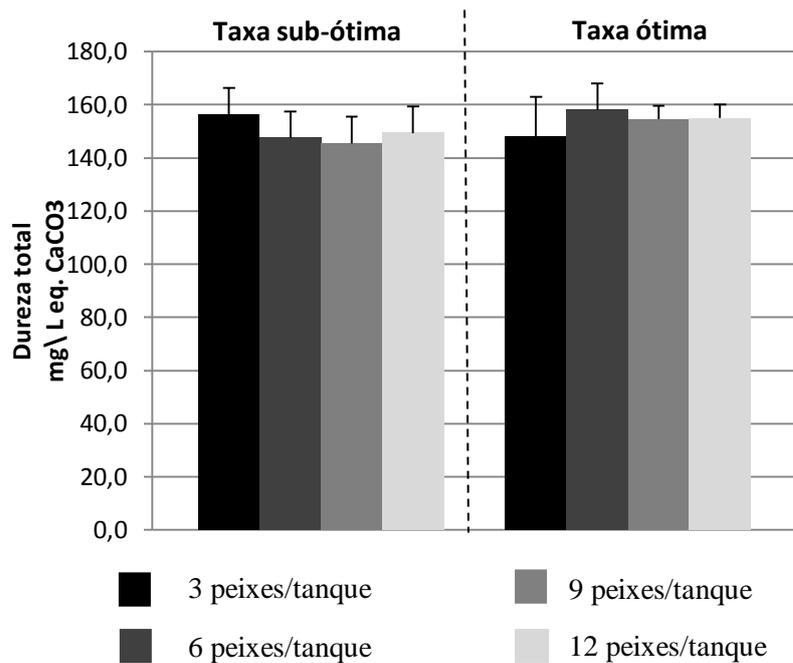
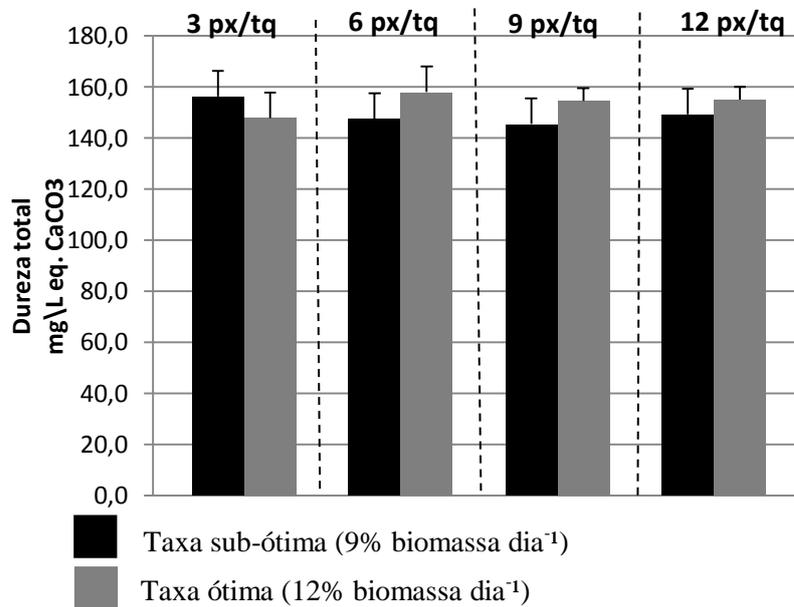


Figura 26- Dureza total da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos duas taxas de arraçoamento (sub-ótima-9% e ótima-12% biomassa/dia) e a 4 diferentes densidades de estocagem (3, 6, 9, e 12 peixes/tanque) em sistema baseado com perifíton. Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey (>0,05).



4.3.4 Produtividade primária fitoplanctônica, transmitância óptica 663 nm e transparência da água

A produtividade primária fitoplanctônica não foi afetada pelos tratamentos empregados no presente trabalho, ou seja, as diferentes densidades de estocagem em duas taxas de arraçoamento não tiveram efeito na produtividade dos tanques de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, na presença de substrato artificial para crescimento do perifíton. Entretanto, os tanques estocados com 12 peixes alimentados à taxa de 9%, e aqueles com 6 peixes e arraçoados com 12%, apresentaram maior produtividade primária bruta (PPB), iguais a $0,99 \pm 0,31$ e $1,06 \pm 0,05$ mg O₂/ L/ h, respectivamente, em relação aos demais tanques (Figura 27).

Os tanques arraçoados com taxa ótima, com exceção daqueles com 12 peixes, apresentaram maior PPB do que os tanques com peixes alimentados à taxa de 9%, apresentando valores de PPB maiores que 0,70 mg O₂/ L/ h (Figura 28). Como havia maior entrada de ração nos tanques arraçoados a taxa de 12% biomassa dia⁻¹, maior quantidade de nutrientes estavam presentes nos mesmos. Isso provavelmente influenciou o maior desenvolvimento das microalgas, as quais são as principais responsáveis pelo aumento da produtividade primária bruta. De acordo com Esteves (2012), a concentração de nutrientes na

água tem papel fundamental sobre a produção primária fitoplanctônica. Os tanques com 12 peixes e arraçoados à taxa de 12% apresentaram menor PPB do que os tanques das outras três densidades. Isso pode ter sido ocasionado pela maior competição por nutrientes entre a comunidade perifítica e fitoplanctônica, levando a uma queda na PPB fitoplanctônica. Asaduzzaman *et al.* (2010) observaram que a adição de substratos submersos para crescimento de perifíton diminuiu o biovolume de plâncton na coluna de água em 14%. Supõe-se que se a determinação da PPB tivesse sido realizada no perifíton, possivelmente maiores valores teriam sido obtidos. O'Reilly (2006) encontrou maior produtividade do fitoplâncton presente na comunidade perifítica, por unidade de área, do que em relação ao fitoplâncton presente na coluna de água do lago estudado. Outra explicação possível para a menor PPB dos tanques com 12 peixes e alimentados a taxa de 12% seria o auto-sombreamento causado pela elevada biomassa de microalgas presente na água de cultivo. Esse fato pode ser constatado pela menor transmitância óptica registrada nesses tanques.

Figura 27- Produtividade primária fitoplanctônica bruta da água de cultivo de juvenis de Tilápia do Nilo submetidos a quatro densidades de estocagem diferentes (3, 6, 9 e 12 peixes/tanque) e duas taxas de arraçoamento (9 e 12% biomassa/dia). Ausência de letras indica que não houve diferença significativa entre os tratamentos (ANOVA $p > 0,05$; média \pm e.p.m; $n=5$).

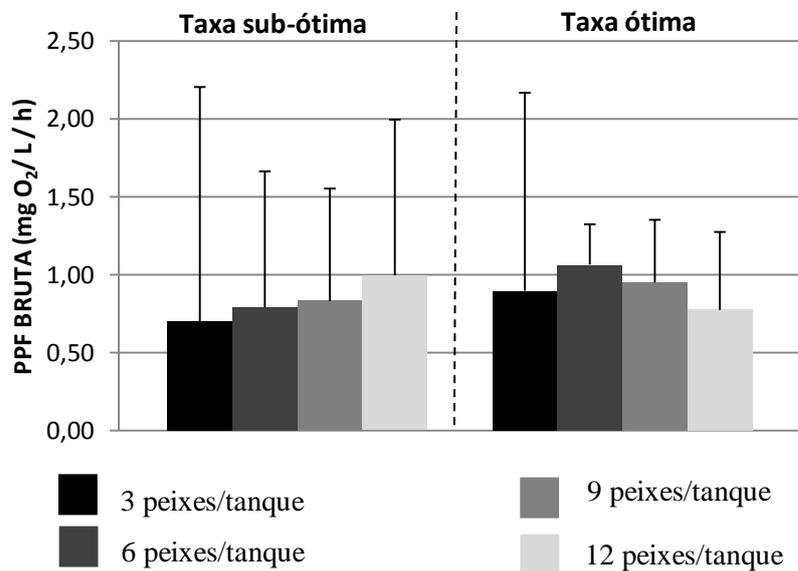
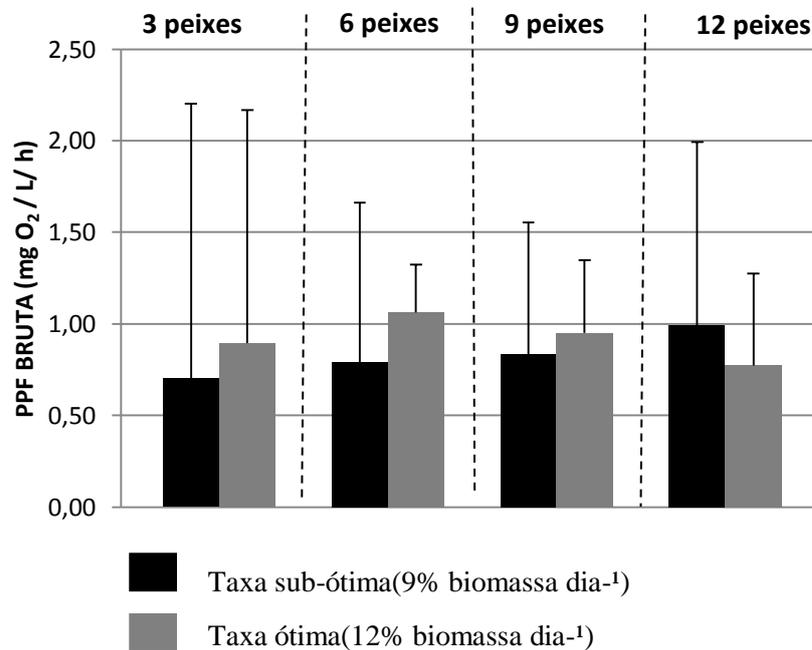


Figura 28- PPF bruta da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos duas taxas de arraçoamento (sub-ótima - 9% e ótima - 12% biomassa/dia) e a quatro diferentes densidades de estocagem (3, 6, 9, e 12 peixes/tanque) em sistema baseado com perifíton. Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey (>0.05).



No presente trabalho, com o aumento na densidade de estocagem, na taxa de arraçoamento de 9%, observou-se crescimento da produtividade primária líquida (PPL; Figura 29). No entanto, as diferenças observadas entre os tratamentos não foram significativas. Quando se aumenta a densidade de estocagem de peixes, há um maior aporte de nutrientes, mesmo utilizando-se taxa de arraçoamento igual, visto que se eleva a biomassa de peixes por unidade de área ou volume. Com isso, há maior desenvolvimento de microalgas e outros organismos na água. Sendo assim, a concentração de microrganismos, principalmente de microalgas, provavelmente se elevou na proporção em que se aumentou a densidade de estocagem de peixes, explicando, desse modo, os maiores valores de PPL. Os maiores valores de PPL foram observados nos tanques arraçados à taxa de 12%, com exceção dos tanques com doze peixes (Figura 30).

Figura 29- Produtividade primária fitoplanctônica (PPF) líquida da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos duas taxas de arraçamento (sub-ótima-9% e ótima-12% biomassa/dia) e a quatro diferentes densidades de estocagem (3,6,9 e 12 peixes/tanque) em sistema baseado com perifíton. Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey ($>0,05$).

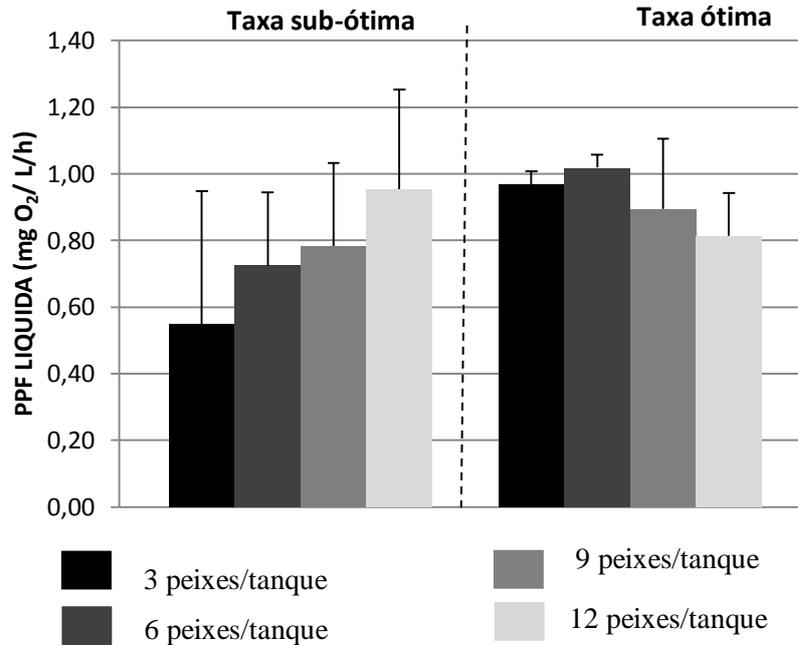
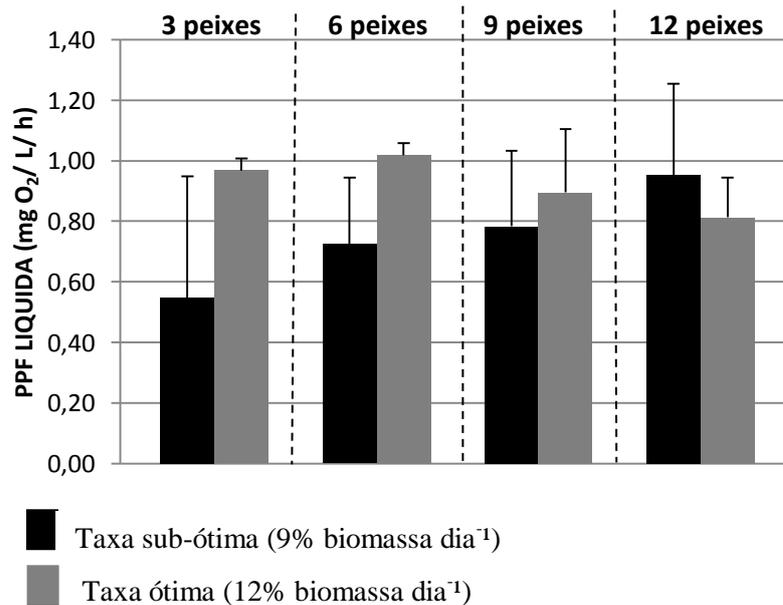


Figura 30- Produtividade primária fitoplanctônica (PPF) líquida da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos duas taxas de arraçamento (sub-ótima - 9% e ótima - 12% biomassa/dia) e a quatro diferentes densidades de estocagem (3, 6, 9 e 12 peixes/tanque) em sistema baseado com perifíton. Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey ($>0,05$).



A variável “taxa de respiração” do método do frasco claro e escuro indica o consumo de oxigênio respirado pelo plâncton no intervalo de tempo considerado (SÁ, 2012). No presente trabalho, os resultados de taxa de respiração não diferiram entre os tratamentos. No entanto, os tanques com densidade de estocagem de três peixes e taxa de arraçoamento de 9% apresentaram elevada taxa de respiração. O mesmo se verificou nos tanques com doze peixes e arraçoados à taxa de 12%. Esses tanques apresentaram menor produtividade primária, conseqüentemente, o que foi produzido de O₂D pelas microalgas foi consumido de forma intensa pelos microrganismos presentes na coluna d’água (a própria comunidade fitoplanctônica, zooplâncton e bactérias; Figuras 31 e 32).

Figura 31- Taxa de respiração da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos a duas taxas de arraçoamento (sub-ótima - 9% e ótima - 12% biomassa/dia) e a quatro diferentes densidades de estocagem (3, 6, 9 e 12 peixes/tanque) em sistema baseado com perifiton. Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey (>0,05).

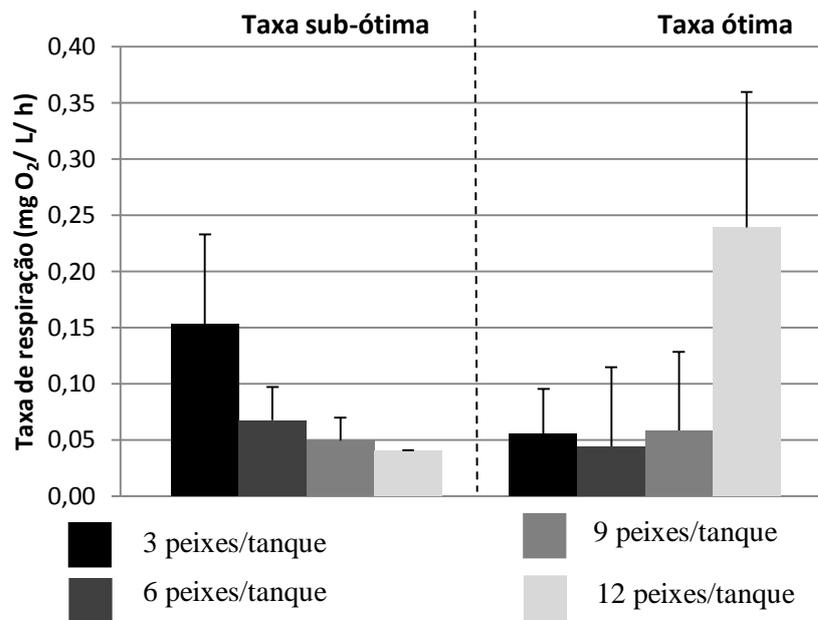
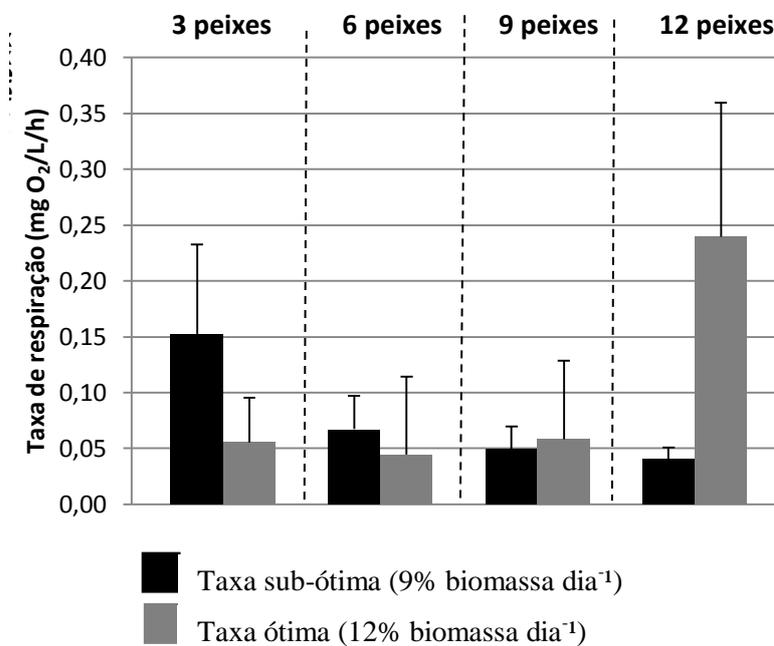


Figura 32- Taxa de respiração da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos a duas taxas de arraçamento (sub-ótima-9% e ótima-12% biomassa/dia) e a quatro diferentes densidades de estocagem (3,6,9 e 12 peixes/tanque) em sistema baseado com perifiton. Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey ($>0,05$).



Houve interação significativa entre densidade de estocagem e taxa de arraçamento para a variável transmitância óptica da água a 663 nm (Figuras 33 e 34). Com o aumento da densidade de estocagem de peixes nos tanques houve diminuição na transmitância óptica da água. Essa resposta foi observada nos tanques com 12 peixes, arraçados à taxa de 9%, e nos tanques com 9 ou 12 peixes, alimentados à 12% biomassa/dia (Figura 33).

Para a taxa ótima de arraçamento, (12% biomassa/dia), observou-se efeito significativo sobre a transmitância da água (Figura 34). Para a mesma, foram observados menores valores de transmitância óptica da água nos tanques com 9 ou 12 peixes, os quais apresentaram valores de transmitância iguais a $85,53 \pm 6,13\%$ e $79,63 \pm 0,84\%$, respectivamente.

Com o aumento da densidade de estocagem e consequente maior biomassa de peixes, torna-se necessário incrementar o fornecimento de alimento exógeno. Dessa forma, a intensificação do cultivo, associada ao aumento na taxa de arraçamento, contribuíram para diminuição da transmitância óptica da água. O aumento na concentração de matéria orgânica no meio de cultivo elevou a disponibilidade de nutrientes na água. Estes, ao serem absorvidos pelas microalgas, diminuem a transmitância óptica da mesma.

Em sistemas de aquicultura, as principais partículas suspensas na água, que absorvem ativamente a radiação luminosa a 670 nm, são as algas verdes (DRAPCHO; BRUNE, 2000). Além disso, nos tanques com densidades de estocagem mais elevadas houve maior movimentação da água por conta da maior natação dos peixes. Esse fato proporcionou maior ressuspensão do sedimento e desprendimento das porções não fixas do perifíton, contribuindo, desse modo, para o aumento na concentração de partículas na coluna d'água.

Figura 33- Transmitância óptica a 663 nm da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos duas taxas de arraçamento (sub-ótima - 9% e ótima - 12% biomassa/dia) e a quatro diferentes densidades de estocagem (3, 6, 9, e 12 peixes/tanque) em sistema baseado com perifíton. Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey ($>0,05$).

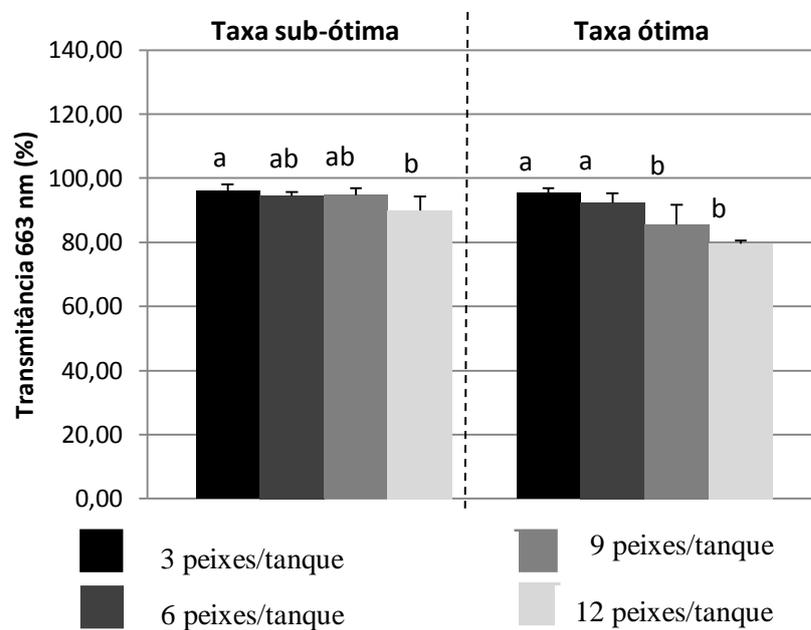
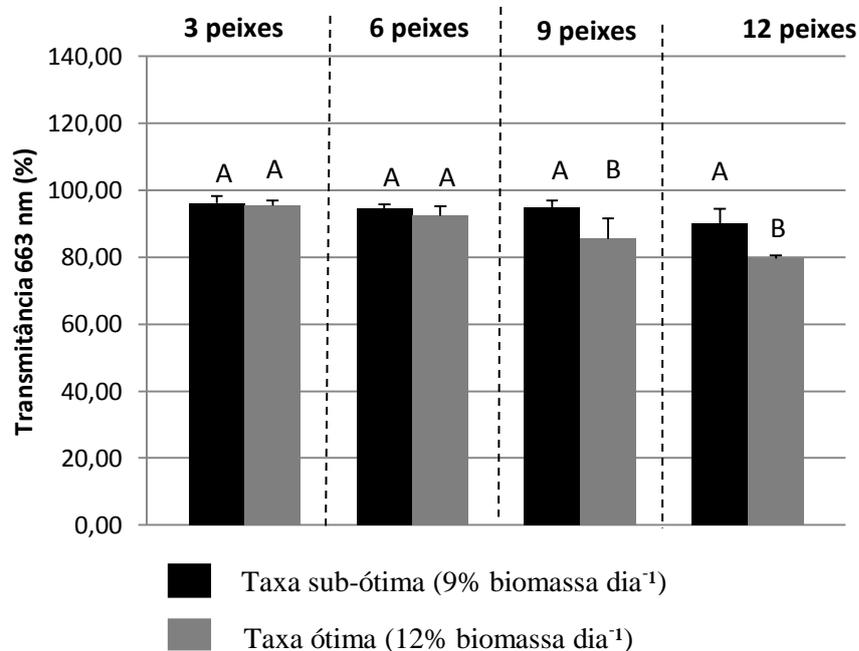


Figura 34- Transmitância óptica a 663 nm da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos duas taxas de arraçamento (sub-ótima-9% e ótima-12% biomassa/dia) e a quatro diferentes densidades de estocagem (3,6,9, e 12 peixes/tanque) em sistema baseado com perifíton. Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey ($>0,05$).



A transparência da água de cultivo foi afetada somente pela densidade de estocagem ($p < 0,05$; Figura 35). A transparência da água nos tanques com 12 peixes foi significativamente menor que nos tanques com 3 peixes, arraçados à taxa de 9% biomassa/dia. Já os tanques com densidades de estocagem intermediárias (6 e 9 peixes) não diferiram entre si para transparência da água, apresentando em média 35 cm da profundidade de Secchi. Não houve diferença significativa entre as densidades de estocagem quando a taxa de alimentação era de 12% (Figura 35). Com o aumento na densidade de estocagem do tanque, ocorre maior entrada de ração. Assim, as decomposições do excesso de alimento e dos resíduos provenientes da excreção dos peixes podem prejudicar a qualidade da água (JOBILING *et al.*, 1993). Nessa situação, há maior disponibilidade de nutrientes no meio, como nitrogênio e fósforo, os quais são prontamente absorvidos pelo fitoplâncton, causando um aumento dessa comunidade e conseqüente maior turbidez na água.

Figura 35- Transparência da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos a duas taxas de arraçoamento (sub-ótima - 9% e ótima - 12% biomassa/dia) e a quatro diferentes densidades de estocagem (3, 6, 9, e 12 peixes/tanque) em sistema baseado com perifíton. Letras diferentes indicam diferença estatística ($p < 0,05$). Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey ($> 0,05$).

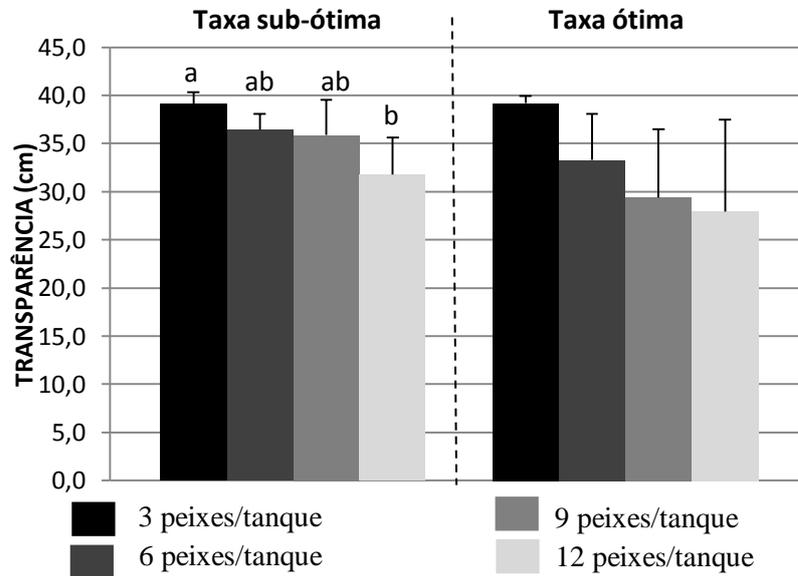
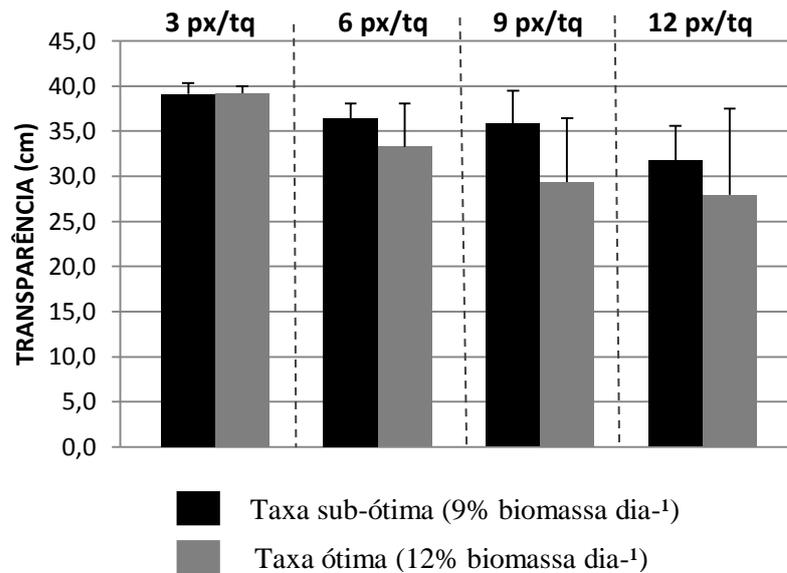


Figura 36- Transparência da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos a duas taxas de arraçoamento (sub-ótima - 9% e ótima - 12% biomassa/dia) e a quatro diferentes densidades de estocagem (3, 6, 9, e 12 peixes/tanque) em sistema baseado com perifíton. Letras diferentes indicam diferença estatística ($p < 0,05$). Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey ($> 0,05$).



4.3.5 Variáveis de qualidade de solo (carbono orgânico e pH)

As variáveis de qualidade de solo monitoradas no presente trabalho, concentração de carbono orgânico e pH, não foram afetadas pelos tratamentos empregados. A concentração de carbono orgânico foi igual, em média, a 0,40%. Biswas *et al.* (2013), trabalhando com diferentes densidades de estocagem da espécie *Etroplus suratensis*, na ausência de substratos artificiais, não observaram diferença estatística para concentração de carbono orgânico do solo nas densidades empregadas, sendo a mesma, em média, igual a 0,60%. A adição de substratos submersos, naturais ou sintéticos em tanques leva à adsorção de matéria orgânica em suspensão sobre essas superfícies verticais ou a menor sedimentação e acumulação de matéria orgânica no fundo do tanque (AVNIMELECH *et al.*, 2008). No presente trabalho, nos tanques com 6 peixes e taxa alimentar ótima (12%) apresentaram maior concentração de carbono orgânico, igual a 0,50% (Figura 37). Já para tanques com três peixes, a taxa de arraçoamento não interferiu nas concentrações de carbono orgânico no solo, sendo iguais a 0,41% (Figura 38). Enquanto, nos tanques com 6 peixes, a taxa alimentar ótima elevou a concentração de matéria orgânica no solo, contabilizada como carbono orgânico. Finalmente, nas densidades de 6 e 9 peixes/tanque, arraçados à taxa de alimentação a 9%, foram observadas maiores concentrações de carbono orgânico no solo. Provavelmente, essa taxa de arraçoamento não possibilitou um bom desenvolvimento da comunidade perifítica, ocasionando, assim, menores taxas de mineralização dos detritos nos substratos artificiais, o que contribuiu para uma maior deposição de matéria orgânica no solo.

Figura 37- Concentração de carbono orgânico no solo do tanque de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos duas taxas de arraçoamento (sub-ótima-9% e ótima-12% biomassa/dia) e a quatro diferentes densidades de estocagem (3,6,9, e 12 peixes/tanque) em sistema baseado com perifíton. Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey ($>0,05$).

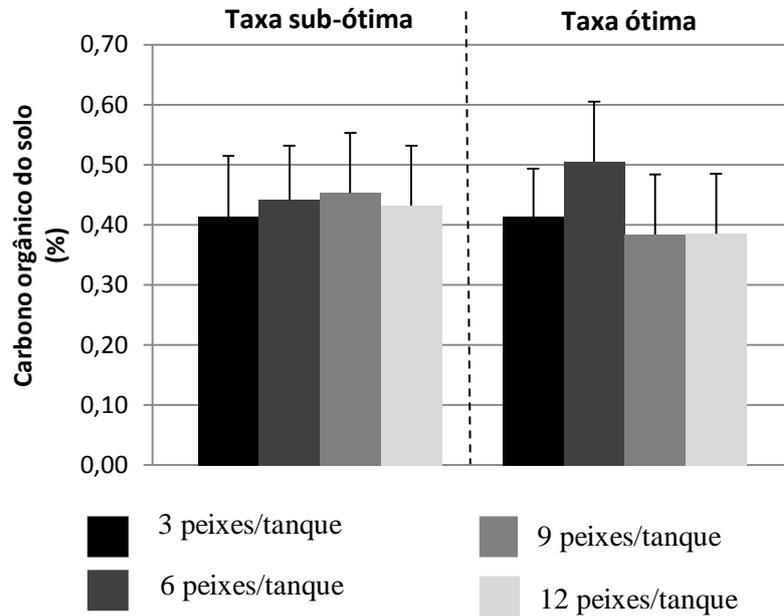
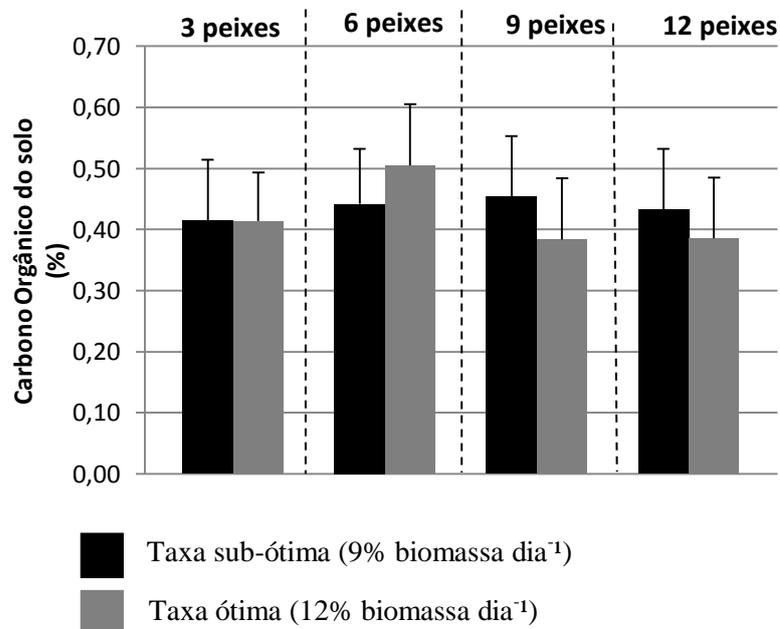


Figura 38- Concentração de carbono orgânico do solo do tanque de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos duas taxas de arraçoamento (sub-ótima - 9% e ótima - 12% biomassa/dia) e a quatro diferentes densidades de estocagem (3, 6, 9 e 12 peixes/tanque) em sistema baseado com perifíton. Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey ($>0,05$).



O pH do solo dos tanques não diferiu significativamente entre os tratamentos. Os tanques com 9 ou 12 peixes apresentaram valores de pH do solo numericamente menores do que o observado nos tanques com 3 ou 6 peixes (Figura 39). Biswas *et al.* (2013) observaram pH do solo mais elevado nos tanques com menor densidade de estocagem do peixe *Etroplus suratensis*. Esses autores atribuíram esse resultado ao menor acúmulo de matéria orgânica no solo que resultou em condições menos ácidas.

As duas taxas de arraçoamento influenciaram o pH do solo, mas não de forma significativa ($p > 0,05$; Figura 40). A taxa alimentar de 9% resultou em pH do solo maior que 8,0 para as densidades de estocagem de 3 e 6 peixes por tanque. Já a taxa alimentar de 12% proporcionou um pequeno aumento no pH do solo para as densidades de 6 e 9 peixes por tanque.

Figura 39- pH do solo do tanque de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos a duas taxas de arraçoamento (sub-ótima - 9% e ótima - 12% biomassa/dia) e a quatro diferentes densidades de estocagem (3, 6, 9, e 12 peixes/tanque) em sistema baseado com perifíton. Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey ($>0,05$).

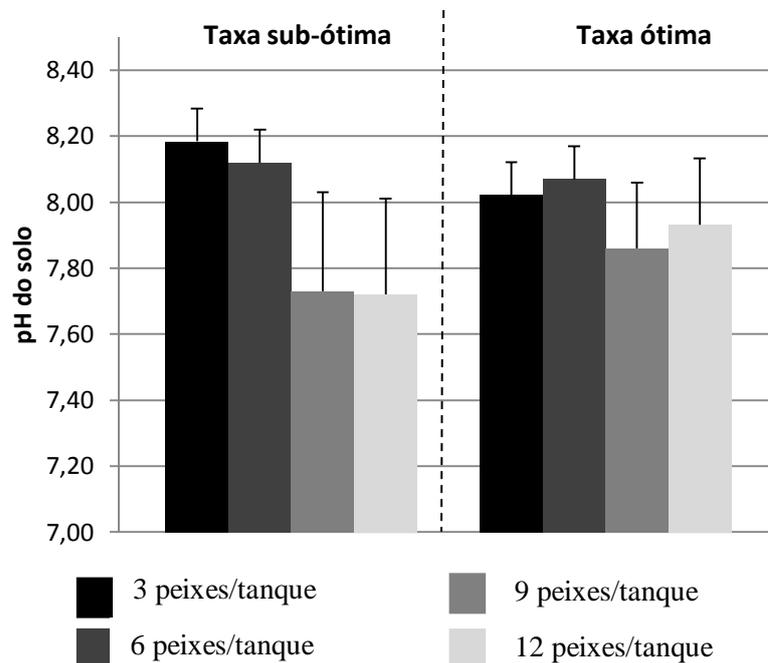
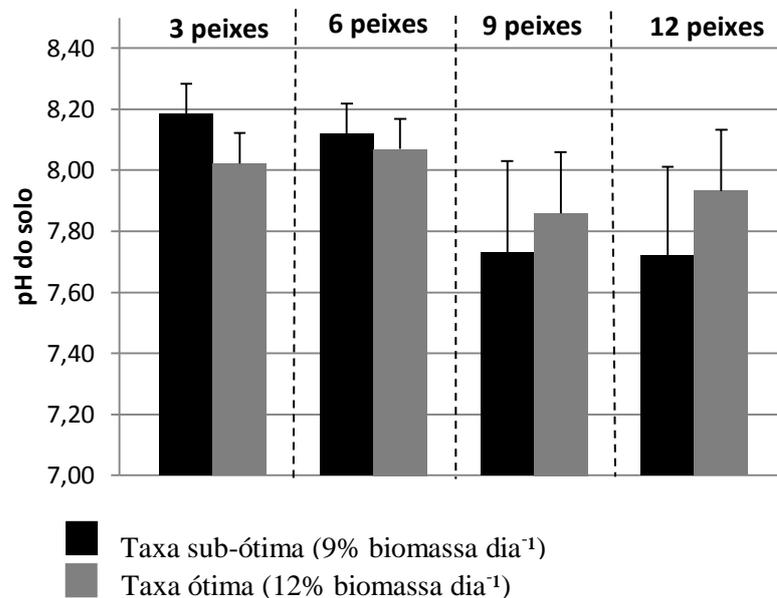


Figura 40- pH do solo do tanque de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos duas taxas de arraçoamento (sub-ótima - 9% e ótima - 12% biomassa/dia) e a quatro diferentes densidades de estocagem (3, 6, 9 e 12 peixes/tanque) em sistema baseado com perifiton. Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey ($>0,05$).



4.3.6 Compostos nitrogenados inorgânicos: nitrogênio amoniacal total (NAT), amônia não-ionizada (NH₃) e nitrito.

Houve efeito significativo da densidade de estocagem sobre a concentração de NAT da água de cultivo no presente estudo onde as concentrações de NAT aumentaram à medida que as densidades de estocagem foram intensificadas (Figura 41). Aumento na densidade de estocagem implica em maior quantidade de animais confinados no tanque que, conseqüentemente, aumenta a demanda por alimentação exógena. Como resultado, há maior liberação de fezes no meio. Esses detritos orgânicos, ao serem decompostos, liberam para água, dentre outros compostos, amônia, uma vez que as rações para peixes possuem elevado teor proteico. Além disso, com o adensamento dos animais no tanque ocorre maior quantidade de excreção oriunda do metabolismo dos peixes, que também incrementa a concentração de amônia na água. A concentração máxima recomendável de NAT na água de cultivo de peixes é de 0,5 mg L⁻¹. Concentrações superiores podem causar prejuízos ao cultivo, podendo levar mesmo à morte dos organismos cultivados (BOYD; TUCKER, 1998).

No presente estudo, os tanques com 12 peixes e taxas de arraçoamento de 9 ou 12%, juntamente com os tanques com 9 peixes e alimentados à taxa de 9%, excederam o

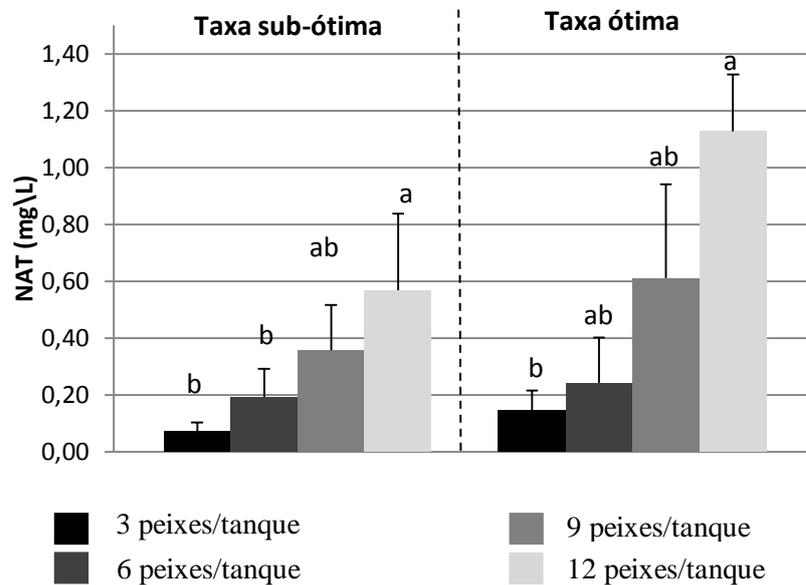
limite de segurança para o NAT, apresentando concentrações iguais a, $0,57 \pm 0,27$; $1,13 \pm 0,98$ e $0,61 \pm 0,33$ mg L⁻¹, respectivamente

A transformação biológica da amônia em nitrato ocorre de forma aeróbia, sendo esse o processo denominado de nitrificação. Para que a nitrificação ocorra eficientemente a água deve ter elevadas concentrações de O₂D. Além disso, devem estar presentes bactérias do gênero *Nitrosomonas*, as quais convertem a amônia em nitrito, e bactérias do gênero *Nitrobacter*, que finalizam o processo, transformando nitrito em nitrato (PEREIRA; MERCANTE, 2005). No presente trabalho, pode-se correlacionar essa maior concentração de amônia nos tanques citados anteriormente com a menor concentração de oxigênio dissolvido nesses mesmos tanques ($4,57 \pm 0,48$; $4,39 \pm 0,55$ e $4,52 \pm 0,36$ mg L⁻¹, respectivamente). Portanto, o processo de nitrificação não ocorreu de forma eficiente nos tanques de maiores concentrações de NAT, devido, provavelmente, às baixas concentrações de O₂D e/ou a insuficiência de bactérias nitrificantes, nessas unidades.

Souza, Castagnolli e Kronka (1998) trabalharam com três densidades de estocagem de alevinos de tilápia (16,3 g) em sistema de cultivo com e sem aeração. Esses autores verificaram aumento na concentração de amônia na água com a elevação da densidade de estocagem. Por outro lado, Voltolina *et al.* (2013) não encontraram diferença significativa nas concentrações de amônia da água de cultivo do camarão *L. vannamei* submetidos a quatro densidades de estocagem (8, 16, 24 e 32 animais m⁻²). Esses autores atribuíram esse resultado à assimilação da amônia pelas microalgas e à atividade metabólica das bactérias presentes no perifíton.

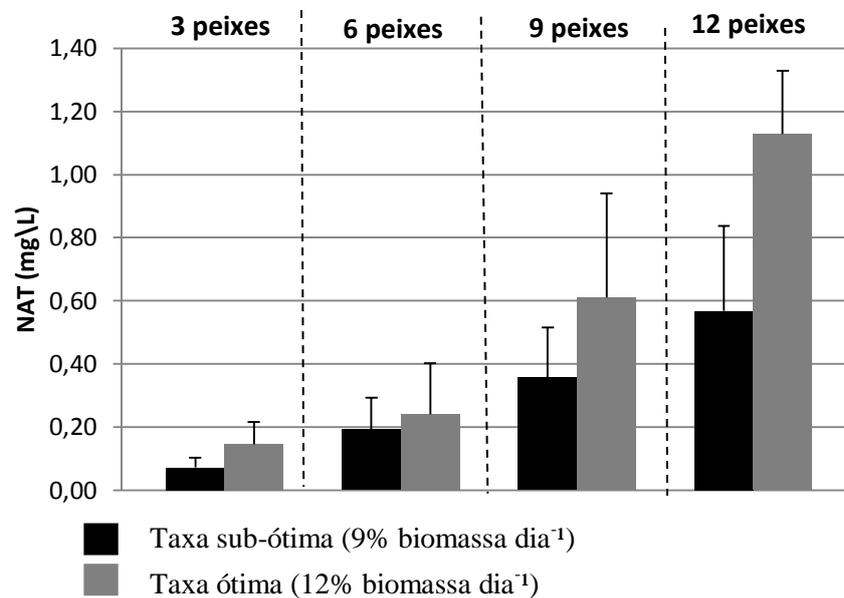
Azim *et al.* (2002b) observaram baixas concentrações de amônia nos tanques com substratos (bambus, *jutestick*, *kanchi*) para crescimento de perifíton em comparação aos tanques do tratamento controle (apenas fertilização) e aos tanques em que houve suplementação de ração, mas ausência de substrato. Esses autores explicaram as menores concentrações de amônia nos tanques com substrato pelo aumento nas taxas de nitrificação nos mesmos. Azim *et al.* (2002b) afirmam que o perifíton pode ser vantajoso ao cultivo em maiores densidades de estocagem de peixes. Declaram, ainda, que ao colocar-se substratos na coluna de água, compartimento do meio onde o oxigênio dissolvido está mais disponível, o processo de nitrificação é reforçado, em oposição aos cultivos tradicionais, onde o sedimento é a principal área de superfície para realização da nitrificação. Nesse último compartimento, entretanto, o O₂D é geralmente escasso.

Figura 41- Nitrogênio amoniacal total (NAT) da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos duas taxas de arraçoamento (sub-ótima - 9% e ótima - 12% biomassa/dia) e a quatro diferentes densidades de estocagem (3, 6, 9 e 12 peixes/tanque) em sistema baseado com perifíton. Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey ($>0,05$).



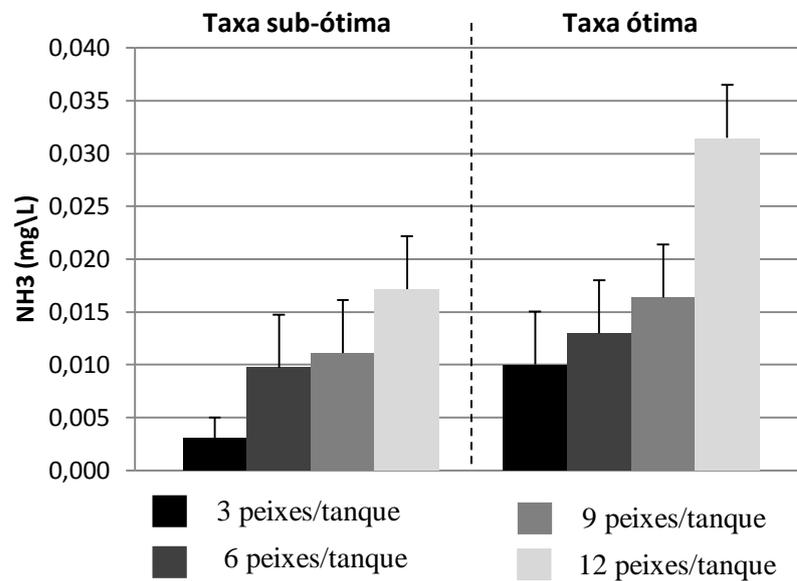
A taxa de arraçoamento dos peixes não causou efeito nas concentrações de NAT da água. Esse resultado está provavelmente relacionado à presença de substratos artificiais nos tanques. Audelo-Naranjo, Voltolina e Romero-Beltrán (2012), em trabalho com cultivo de camarão em sistema de perifíton, confirmaram a importância da microbiota aderida às superfícies submersas na utilização de nutrientes dissolvidos e de partículas presentes na coluna de água para o seu crescimento e desenvolvimento. Esses autores concluíram que o perifíton manteve a qualidade da água dentro de padrões aceitáveis e forneceu, ainda, alimentos para a alimentação dos camarões. Os mesmos autores afirmaram que as baixas concentrações finais de amônia na água e de nitrogênio nos sedimentos provam que o metabolismo do perifíton evitou a deterioração do ambiente de cultivo. No presente trabalho, entretanto, a taxa alimentar de 12% causou uma pequena elevação na concentração de NAT em todas as densidades de estocagem (Figura 42). O maior pico de NAT foi registrado para taxa de arraçoamento de 12%, nos tanques com 12 peixes.

Figura 42- Nitrogênio amoniacal total (NAT) da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos a duas taxas de arraçoamento (sub-ótima - 9% e ótima - 12% biomassa/dia) e a quatro diferentes densidades de estocagem (3, 6, 9 e 12 peixes/tanque) em sistema baseado com perifíton. Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey ($>0,05$).



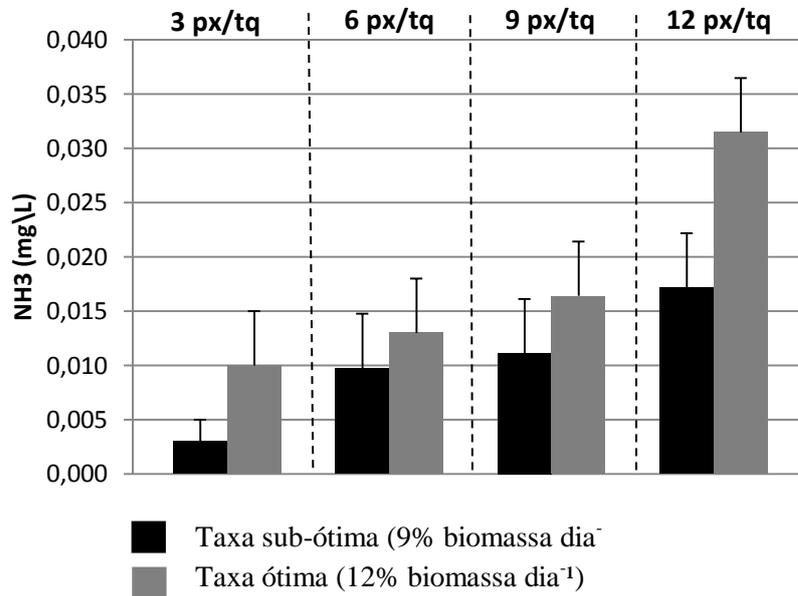
Não houve efeito da densidade de estocagem e nem da taxa de arraçoamento na concentração de amônia não-ionizada na água de cultivo (Figuras 43 e 44). No entanto, a concentração de NH_3 seguiu o mesmo comportamento observado para o NAT, ou seja, elevação na medida em que a densidade de estocagem aumentava (Figura 43). De acordo com Pereira e Mercante (2005), a razão $[\text{NH}_3]/[\text{NH}_4^+]$ depende do pH da água e do valor de uma constante de equilíbrio (K), sendo esta uma função da temperatura e da composição iônica da água. No presente trabalho, o pH da água se manteve acima de 7,5 durante o período da manhã, turno no qual se realizava as determinações de NAT. A partir da concentração de NAT, do pH e da temperatura da água, pode-se calcular a concentração de NH_3 , através da fórmula de Emerson (EL-SHAFAI *et al.*, 2004). Com exceção dos tanques estocados com 12 peixes e que foram alimentados segundo à taxa ótima, que apresentaram concentração média de NH_3 igual a $0,031 \pm 0,01 \text{ mg L}^{-1}$, os demais tanques apresentaram concentrações de NAT inferiores a $0,02 \text{ mg L}^{-1}$. Essa última é a concentração aceitável de amônia não-ionizada para aquicultura. No entanto, maiores concentrações de NH_3 se formaram na água de cultivo no período da tarde, uma vez que se verificou pH da água maior que 8,5, nesse turno. Acima desse valor de pH, observa-se maior proporção de NH_3 em detrimento da amônia-ionizada (NH_4^+ ; PEREIRA; MERCANTE, 2005; KUBTIZA, 1999; SÁ, 2012).

Figura 43- Amônia não-ionizada (NH_3) da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos a duas taxas de arraçamento (sub-ótima - 9% e ótima - 12% biomassa/dia) e a quatro diferentes densidades de estocagem (3, 6, 9 e 12 peixes/tanque) em sistema baseado com perifíton. Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey ($>0,05$).



A concentração de NH_3 na água de cultivo foi mais elevada nos tanques que receberam a taxa alimentar ótima (12%), apesar de diferenças não terem sido significativas ($p>0,05$; Figura 44). Nesses tanques também foi observado as maiores concentrações de NAT. Voltolina *et al.* (2013) observaram comportamento similar da amônia não ionizada, em relação a amônia total, no cultivo de camarão em quatro diferentes densidades, na presença de perifíton. Esses autores estimaram que a forma NH_3 representou aproximadamente 12% do nitrogênio amoniacal total.

Figura 44- Amônia não-ionizada (NH_3) da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos a duas taxas de arraçoamento (sub-ótima-9% e ótima-12% biomassa/dia) e a quatro diferentes densidades de estocagem (3,6,9, e 12 peixes/tanque) em sistema baseado com perifíton. Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey ($>0,05$).



O nitrito (NO_2^-) é um metabólito intermediário do processo de nitrificação, durante o qual a amônia é oxidada a nitrato (NO_3^-), através de ação de bactérias do gênero *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*. Concentrações baixas de oxigênio dissolvido na água prejudicam o desempenho das bactérias nitrificantes, favorecendo o acúmulo de nitrito na água (KUBITZA, 1998). No presente trabalho, as densidades de estocagem de 3 e 6 peixes não apresentaram diferença significativa para as concentrações de nitrito, em ambas taxas de alimentação (sub-ótima e ótima), apresentando concentrações inferiores a $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 45). Já os tanques estocados na densidade de 12 peixes, alimentados segundo a taxa sub-ótima, apresentaram as maiores concentrações de nitrito, iguais, em média, a $0,74 \pm 0,45 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 46). Essa concentração de nitrito ultrapassa o limite de segurança para peixes que é de $0,3 \text{ mg L}^{-1}$ (SÁ, 2012). Rebouças *et al.* (2012) também observaram aumento na concentração de nitrito nos tanques de tilápia aos quais se forneceu alimentação de forma restrita. Esses autores atribuíram esse resultado ao processo de nitrificação que ocorreu provavelmente de forma incompleta, por causa das baixas concentrações de O_2D existentes na água. No presente trabalho, as concentrações de O_2D nos tanques com 12 peixes também foram baixas, igual, em média, a $4,5 \pm 0,5 \text{ mg L}^{-1}$. Dessa forma, também pode ter ocorrido nesses tanques nitrificação incompleta, ocasionando acúmulo de nitrito no meio.

As concentrações de nitrito na água dos tanques que receberam a taxa ótima de alimentação não diferiram entre si, independentemente da densidade de estocagem empregada (Figura 45). No entanto, os tanques com densidade de 3 e 6 peixes apresentaram concentrações de nitrito menores que as observadas nos tanques estocados com 9 ou 12 peixes. Asaduzzaman *et al.* (2009) não observaram efeito da densidade de estocagem de tilápia do Nilo (0, 0,5 e 1 juvenil m²) sobre a concentração de nitrito da água. Esses autores verificaram que houve diminuição da concentração de nitrito da água ao longo do cultivo, atribuindo esse declínio à adição de fontes de C orgânico à água, que levam ao aumento da biomassa bacteriana, que imobilizam o NAT. Os tanques com 12 peixes apresentaram concentrações baixas de nitrito, apesar de suas menores concentrações de O₂D, sendo igual, em média, a 4,3 ± 0,5 mg L⁻¹. De acordo com Trussel (1972) *apud* Pereira e Mercante (2005), são necessários 4,3 mg L⁻¹ de O₂D para oxidar 1,0 mg de íon amônia.

Figura 45- Concentração de nitrito da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos a duas taxas de arraçamento (sub-ótima-9% e ótima-12% biomassa/dia) e a quatro diferentes densidades de estocagem (3, 6, 9 e 12 peixes/tanque) em sistema baseado com perifiton. Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey (>0,05).

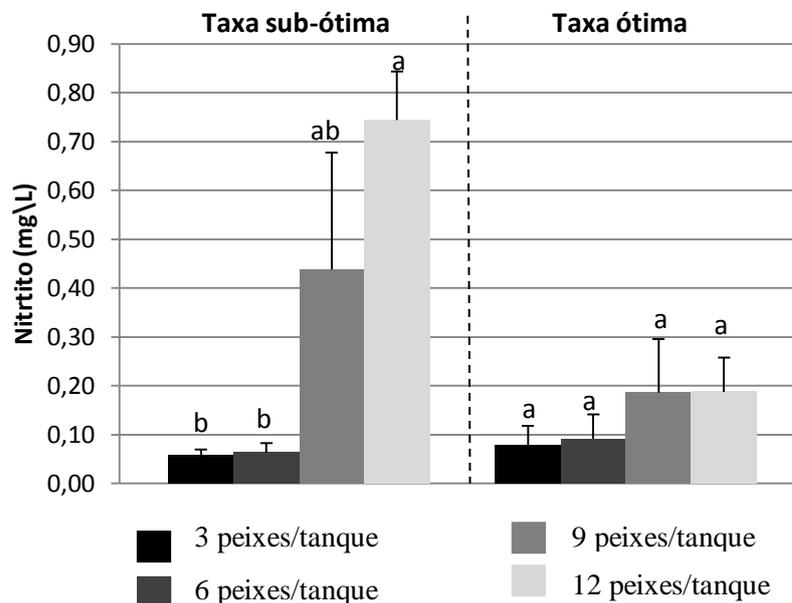
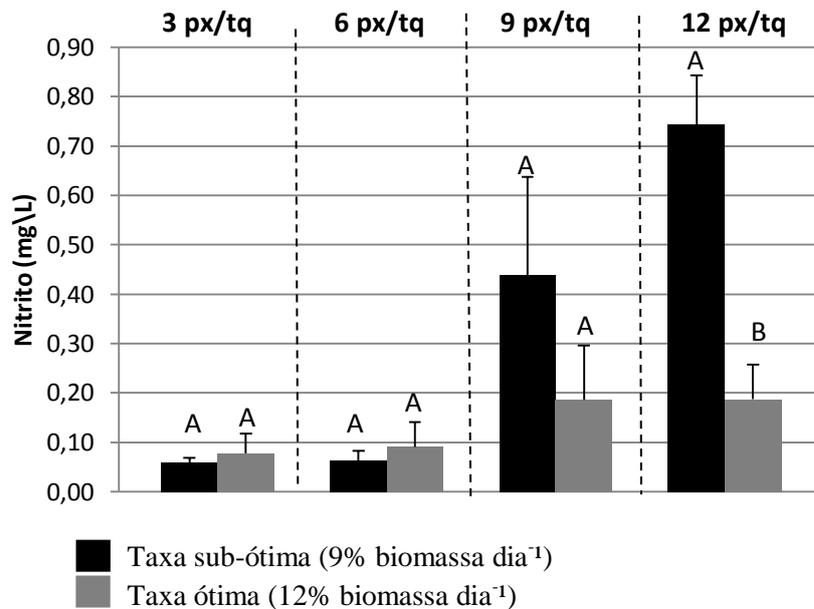


Figura 46- Concentração de nitrito da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos a duas taxas de arraçamento (sub-ótima-9% e ótima-12% biomassa/dia) e a 4 diferentes densidades de estocagem (3, 6, 9 e 12 peixes/tanque) em sistema baseado com perifíton. Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey ($>0,05$).



4.3.7 Fósforo reativo, ferro dissolvido e gás sulfídrico

A concentração de fósforo reativo na água em todos os tanques foram inferiores ao nível máximo aceitável que é igual a $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ (BOYD; TUCKER, 1998). De acordo com Thompson *et al.* (2002), a presença de biofilme de perifíton reduz a eutrofização nos corpos d'água que recebem efluentes da aquicultura por captação eficiente de fosfato. As concentrações de fósforo reativo não foram significativamente afetadas pelas densidades de estocagem empregadas, quando os peixes foram arraçados de acordo com a taxa sub-ótima (Figura 47). No entanto, os tanques estocados com 3 peixes alimentados com 12% de ração biomassa dia⁻¹ diferiram significativamente dos tanques com densidades mais elevadas, apresentando concentração inferior de fósforo reativo. Na aquicultura, a principal fonte de fósforo para o meio de cultivo é o alimento exógeno, ou seja, a ração artificial (FILBRUN; REYNOLDS; CULVER, 2013). Dessa forma, a menor concentração de fósforo reativo nos tanques acima foi devida às menores quantidades de ração ofertada aos peixes. Como parte da ração não é aproveitada pelos peixes, sendo lançada no meio, há liberação de vários nutrientes

para água após decomposição. Dentre eles, há liberação de fósforo para a água. A fração inorgânica dissolvido desse fósforo é prontamente absorvida pelo perifíton e fitoplâncton.

A quantidade de fósforo reativo na água se elevou com o aumento na densidade de estocagem (Figura 47). Mercante *et al.* (2011) também observaram que, houve gradativo aumento nas concentrações de nutrientes dissolvidos na água com o incremento da biomassa de peixes. Esse fato está associado ao aumento na quantidade de ração fornecida aos animais cultivados, que promoveu incremento nas concentrações de nitrogênio e fósforo na água. Azim *et al.* (2001) realizaram trabalho com o objetivo de determinar qual a melhor densidade de estocagem de duas espécies de carpas, em tanques de cultivo com substratos submersos. Esses autores observaram incremento das concentrações de fósforo ao longo do período de cultivo, independentemente da densidade de estocagem.

No presente trabalho, a taxa de arraçoamento dos peixes afetou as concentrações de fósforo reativo na água, apesar de o efeito não ter sido significativo ($p < 0,05$; Figura 48). Para a taxa sub-ótima de alimentação, as concentrações de fósforo reativo foram iguais a $0,025 \pm 0,034$ e $0,081 \pm 0,066$ mg L⁻¹, nas densidades de 3 e 9 peixes, respectivamente. Já a taxa ótima de alimentação nos tanques com 6 e 12 peixes, apresentaram concentrações de fósforo reativo iguais a $0,013 \pm 0,007$ e $0,036 \pm 0,021$ mg L⁻¹, respectivamente.

Figura 47- Concentração de fósforo reativo na água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos a duas taxas de arraçoamento (sub-ótima-9% e ótima-12% biomassa/dia) e a quatro diferentes densidades de estocagem (3,6,9, e 12 peixes/tanque), em sistema baseado com perifíton. Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey ($>0,05$).

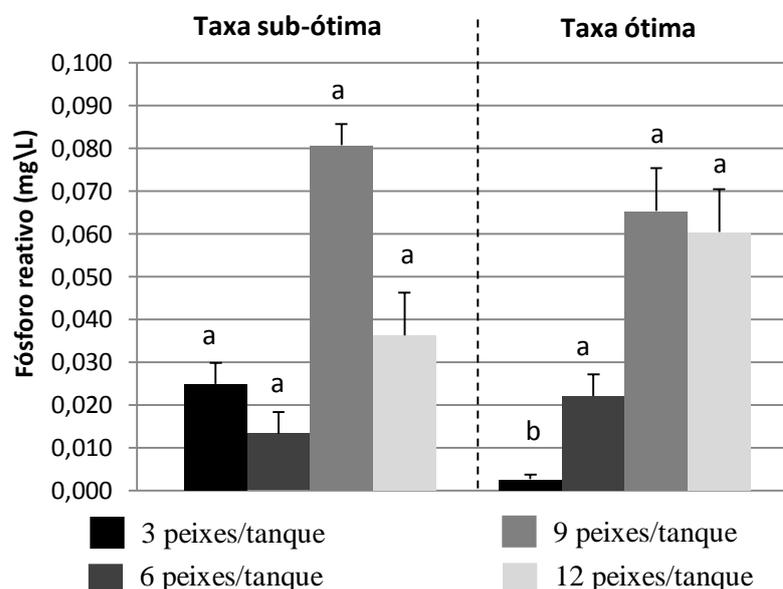
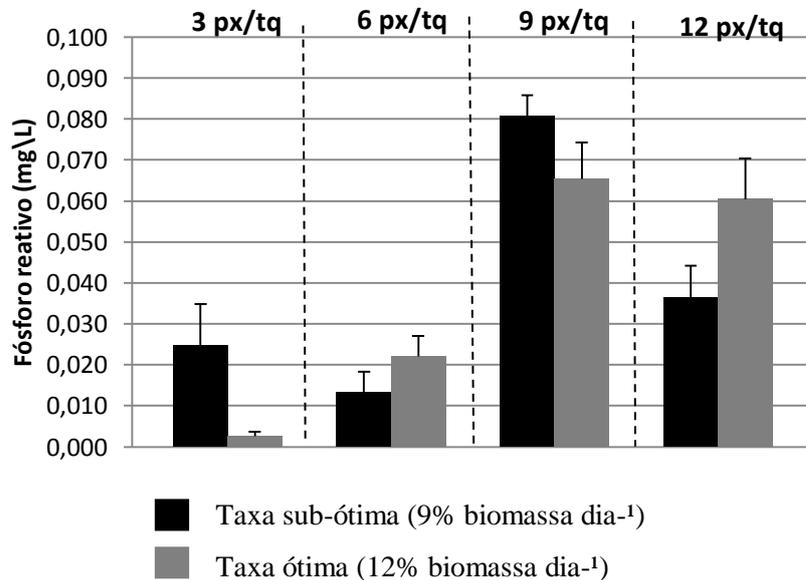


Figura 48-Concentração de fósforo reativo na água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos a duas taxas de arraçoamento (sub-ótima - 9% e ótima - 12% biomassa/dia) e a quatro diferentes densidades de estocagem (3, 6, 9, e 12 peixes/tanque), em sistema baseado com perifíton. Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey ($>0,05$).



A densidade de estocagem influenciou significativamente as concentrações de ferro dissolvido na água de cultivo dos juvenis de tilápia. As densidades de estocagem de 9 e 12 peixes apresentaram concentrações de ferro superiores ao observado nos tanques com 3 peixes, independentemente da taxa de arraçoamento empregada. Já a concentração de ferro dissolvido nos tanques com 6 peixes não diferiram entre si, nas densidades citadas acima (Figura 49). As concentrações de ferro dissolvido na água, em todos os tratamentos, foram superiores nível máximo aceitável que é de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ (SÁ, 2012).

A taxa de arraçoamento ótima (12%) promoveu maior concentração de ferro dissolvido em todas as densidades de estocagem empregadas no presente trabalho. No entanto, somente foi possível observar diferença significativa para a densidade de 3 peixes/tanque (Figura 50).

As elevadas concentrações de ferro dissolvido na água observadas nos tanques de maiores densidades de estocagem estão relacionadas com a elevação da quantidade de ração ofertada nos mesmos. Nesses tanques, houve maior entrada de ferro no meio a partir da dieta dos peixes. Outra possibilidade para explicar a grande quantidade de ferro seria existência desse elemento na água ou no solo utilizados no cultivo.

Figura 49-Concentração de ferro dissolvido na água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos a duas taxas de arraçoamento (sub-ótima - 9% e ótima - 12% biomassa/dia) e a quatro diferentes densidades de estocagem (3, 6, 9 e 12 peixes/tanque), em sistema baseado com perifíton. Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey ($>0,05$).

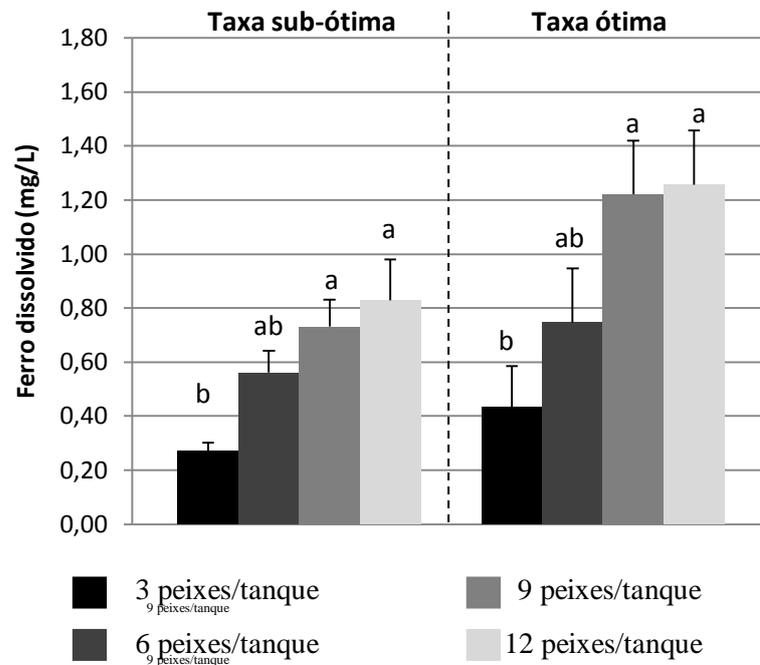
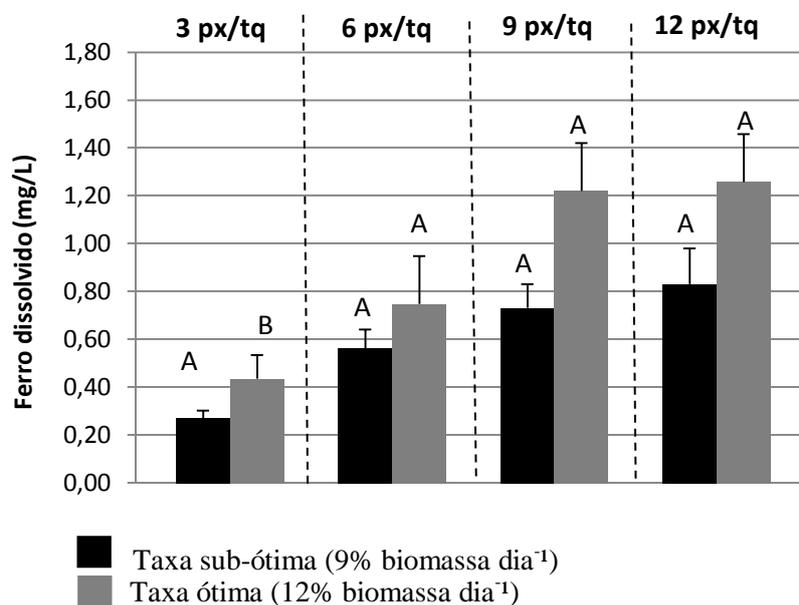


Figura 50-Concentração de ferro dissolvido na água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos a duas taxas de arraçoamento (sub-ótima - 9% e ótima - 12% biomassa/dia) e a quatro diferentes densidades de estocagem (3, 6, 9 e 12 peixes/tanque), em sistema baseado com perifíton. Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey ($>0,05$).



Mesmo pequenas concentrações de gás sulfídrico podem ser altamente tóxicas para os organismos aquáticos e devem ser evitado em aquicultura comercial (LAHAV *et al.*, 2004). Sá (2012) relata que a meta na aquicultura é que não se tenha gás sulfídrico (H_2S) no meio. Já Boyd (1998) fixa que o valor máximo aceitável é de 0,0002 mg H_2S -S/L para cultivo de peixes e para a vida aquática. De acordo com Macêdo (2007), baixas concentrações de H_2S , como 0,01 mg L^{-1} , podem ser letais para algumas espécies de peixes, embora existam espécies que suportam maiores concentrações, até 5 mg L^{-1} . As concentrações de H_2S encontradas no presente trabalho ficaram todas acima do taxa aceitável, sendo maior que 3,0 mg L^{-1} . Essas concentrações foram bem toleradas pelos juvenis de tilápia do Nilo, embora possa ter havido algum comprometimento no desempenho zootécnico dos mesmos. Isso porque o H_2S é um potente inibidor da respiração aeróbia, interferindo no metabolismo oxidativo, evitando a produção de ATP e desviando o metabolismo para a produção de ácido láctico (KIEMER *et al.*, 1995). Além disso, o H_2S de compromete o transporte eficiente de gases pela hemoglobina, levando os organismos à morte.

As concentrações de H_2S não diferiram significativamente ($p>0,05$) entre os tratamentos (Figuras 51 e 52). Com o aumento na densidade de estocagem, tem-se maior produção de matéria orgânica nos tanques, visto que se eleva a quantidade de ração ofertada aos peixes. Uma das consequências do acúmulo de matéria orgânica no fundo dos tanques de cultivo, associado à condição anaeróbia provocada por ela, é exatamente o surgimento do H_2S (ARANA, 2004).

Figura 51-Concentração de gás sulfídrico na água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos a duas taxas de arraçamento (sub-ótima - 9% e ótima - 12% biomassa/dia) e a quatro diferentes densidades de estocagem (3, 6, 9 e 12 peixes/tanque), em sistema baseado com perifíton. Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey (>0,05).

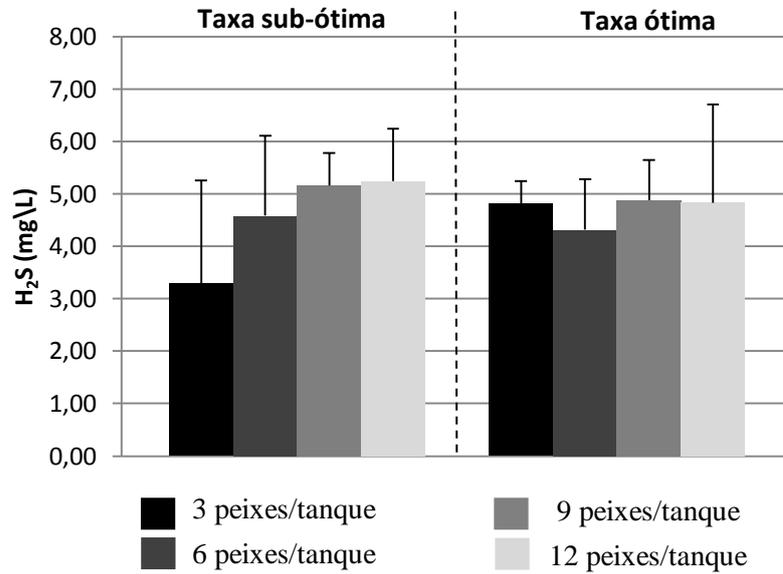
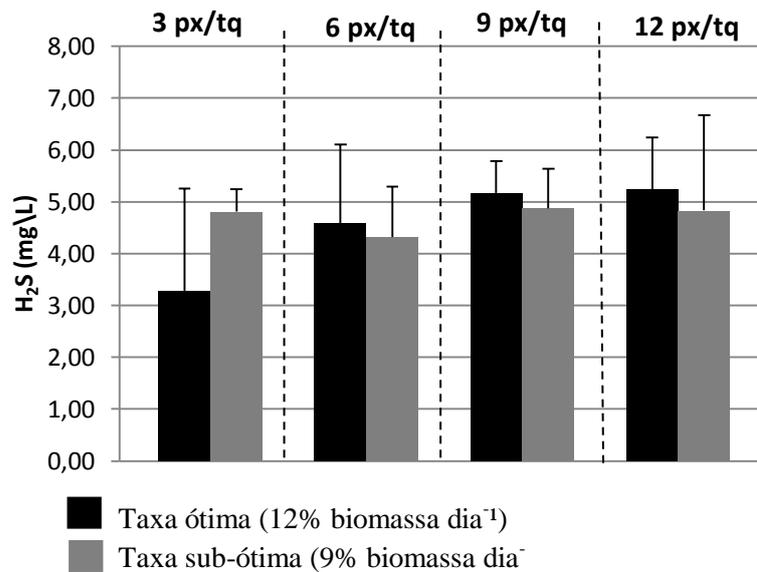


Figura 52-Concentração de gás sulfídrico na água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos a duas taxas de arraçamento (sub-ótima - 9% e ótima - 12% biomassa/dia) e a quatro diferentes densidades de estocagem (3, 6, 9 e 12 peixes/tanque), em sistema baseado com perifíton. Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey (>0,05).



4.3.8 Biomassa perifítica

A biomassa inicial de perifíton, obtida após duas semanas de cultivo, em termos de matéria seca (mg m^{-2}), não diferiu de modo significativo entre os tratamentos ($p > 0,05$), apesar de ter sido incrementada com o aumento da densidade de estocagem (Figura 53). Além disso, as taxas de arraçamento empregadas não tiveram efeito ($p > 0,05$) sobre a densidade do perifíton (Figura 54). No entanto, pode-se observar que os tanques com 12 peixes e taxa alimentar ótima apresentaram a maior quantidade de perifíton, igual a $0,20 \text{ mg cm}^{-2}$. Isso foi devido, provavelmente, ao baixo consumo de perifíton nesse período, uma vez que os juvenis eram alimentados com ração em pó, de mais fácil consumo que a obtida pela raspagem dos substratos. Além disso, a fina camada de perifíton formada nas garrafas nesse período era insuficiente e dispersa. De acordo com Thompson, Abreu e Wasielesky (2002), a formação do biofilme se inicia com o acúmulo de moléculas orgânicas sobre qualquer superfície submersa, havendo, em pouco tempo, o estabelecimento de bactérias sobre a mesma. Após 4-5 dias do início do experimento, esses autores observaram o aparecimento de diatomáceas e cianobactérias, as quais atingiram valores máximos somente 2 semanas depois. O mesmo pode ter ocorrido nesse estudo, uma vez que após 15 dias de início do experimento observaram-se pequenas quantidades de perifíton.

Figura 53- Biomassa perifítica inicial no cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos a duas taxas de arraçamento (sub-ótima - 9% e ótima - 12% biomassa/dia) e a quatro diferentes densidades de estocagem (3, 6, 9, e 12 peixes/tanque), em sistema baseado com perifíton. Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey ($> 0,05$).

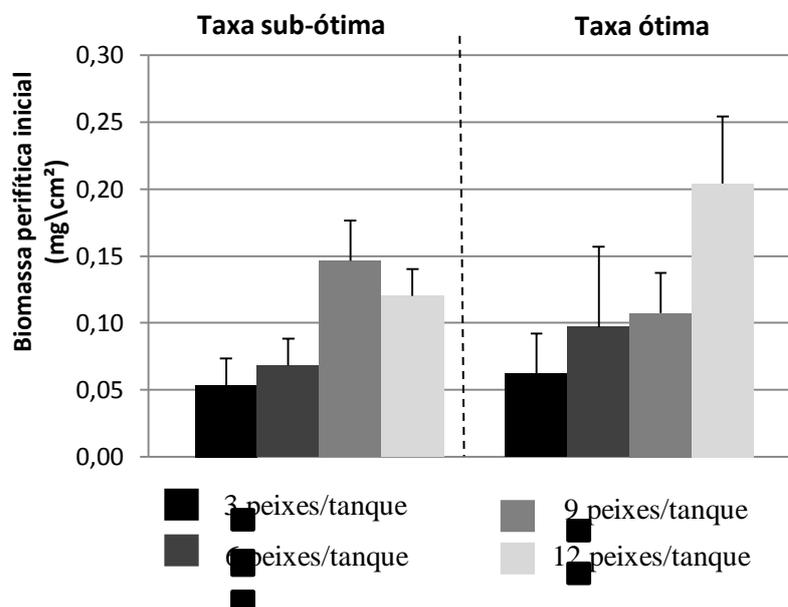
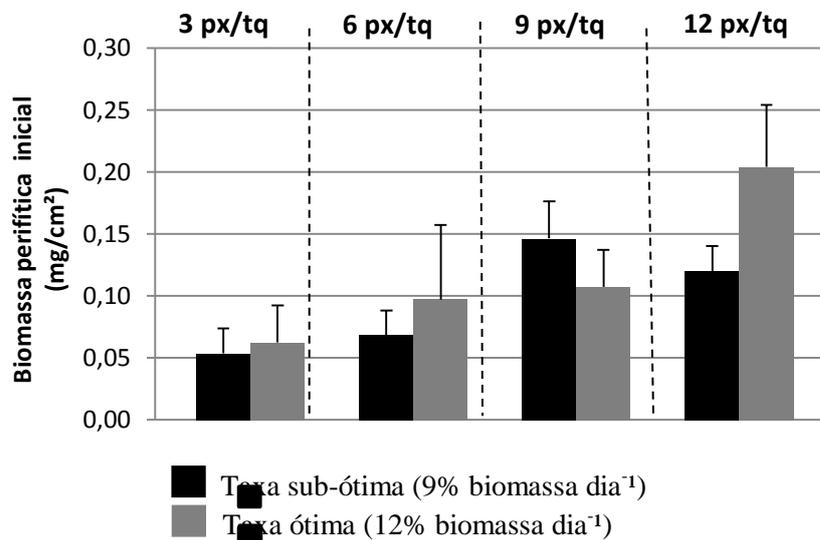


Figura 54- Biomassa perifítica inicial do cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos a duas taxas de arraçoamento (sub-ótima - 9% e ótima - 12% biomassa/dia) e a quatro diferentes densidades de estocagem (3, 6, 9, e 12 peixes/tanque), em sistema baseado com perifíton. Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey ($>0,05$).



A presença de mais indivíduos em um mesmo espaço físico, competindo pelas mesmas condições no tanque, não influenciou de modo significativo a biomassa final de perifíton, independentemente das densidades de estocagem e das taxas de arraçoamento empregadas (Figura 55). De igual modo, AZIM *et al.* (2003b) relataram que a biomassa perifítica foi semelhante em todos tanques, independentemente da densidade de estocagem empregada, indicando que a mesma atingiu um taxa limiar que não foi afetado por pressão de pastejo. Já Uddin *et al.* (2007) observaram diminuição significativa da biomassa perifítica com o tempo. Esses autores atribuíram esse resultado ao aumento da pressão de pastejo dos juvenis de tilápia, em todas as densidades de estocagem, sendo que a biomassa do perifíton foi ainda menor nas densidades mais elevadas. Isso indicou que o perifíton foi consumido de forma mais intensa nas maiores densidades. No presente trabalho, apesar de não ter havido diferença significativa entre os valores de biomassa seca de perifíton, em relação à densidade de estocagem, os tanques com 12 peixes, independentemente da taxa de arraçoamento empregada, apresentaram menores quantidades de perifíton, iguais a $0,41 \pm 0,18$ e $0,53 \pm 0,23$ mg cm⁻², respectivamente (Figura 56). O mesmo foi observado por Richard *et al.* (2010) que não constatarem diferença na biomassa perifítica, em relação à densidade de estocagem de peixes da espécie *Liza aurata*. No presente trabalho, os tanques com 6 e 9 peixes alimentados à taxa de 12% apresentaram valores iguais para densidade de perifíton, igual a $0,56 \pm 0,19$ mg

cm². Nesses tanques, o perifíton foi usado como fonte de alimento pelos peixes, onde os juvenis suplementaram a sua dieta artificial (ração) com dieta natural (perifíton). Regularmente, os juvenis de tilápia eram vistos raspando os substratos artificiais.

Figura 55- Biomassa perifítica final no cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos a duas taxas de arraçoamento (sub-ótima-9% e ótima-12% biomassa/dia) e a quatro diferentes densidades de estocagem (3, 6, 9 e 12 peixes/tanque), em sistema baseado com perifíton. Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey (>0,05).

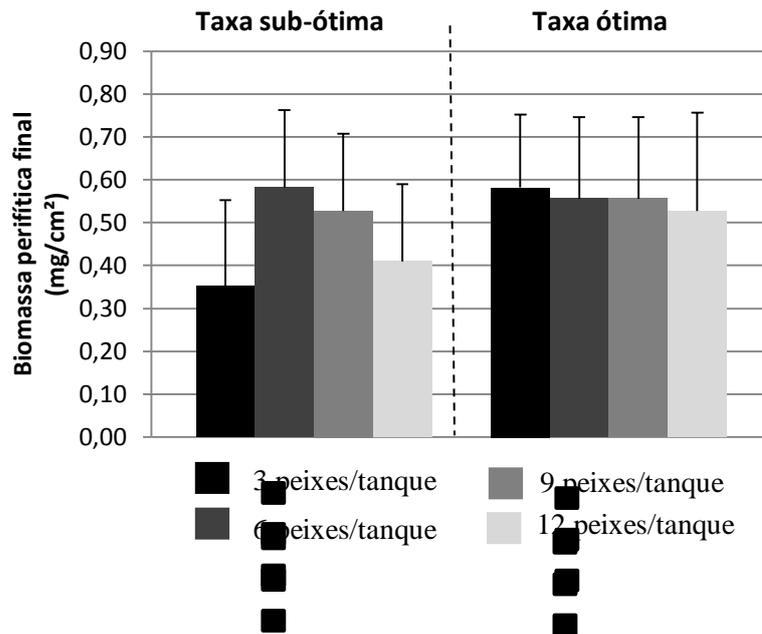
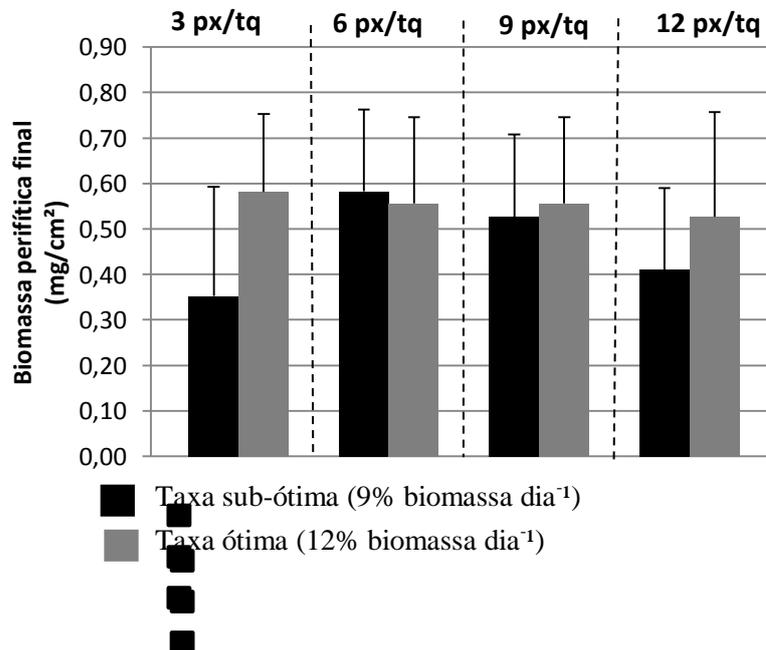


Figura 56- Biomassa perifítica final no cultivo de juvenis de tilápia do Nilo submetidos a duas taxas de arraçoamento (sub-ótima - 9% e ótima - 12% biomassa/dia) e a quatro diferentes densidades de estocagem (3, 6, 9, e 12 peixes/tanque), em sistema baseado com perifíton. Ausência de letras indica falta de significância estatística pelo teste de Tukey (>0,05).



4.4. Desempenho zootécnico de juvenis de tilápia do Nilo

A sobrevivência dos peixes não foi afetada pela densidade de estocagem e nem pela taxa de arraçamento (sub-ótima e ótima), apresentando valores superiores a 80%. De acordo van Dam *et al.* (2002), o efeito positivo de substratos sobre a sobrevivência dos peixes, provavelmente está relacionada com a redução do estresse desses animais. Uddin *et al.* (2007) encontraram sobrevivência menor na densidade de estocagem mais elevada de tilápia do Nilo cultivada em sistema baseado em substrato.

A diminuição da taxa de arraçamento de 12 para 9% não afetou o peso corporal final dos juvenis de tilápia do Nilo, independentemente da densidade de estocagem empregada (Tabela 9). No entanto, o peso final dos peixes estocados na densidade mais elevada (12 px/tq), e alimentados de acordo com a taxa ótima, foi significativamente menor do que o peso dos juvenis estocados nas outras densidades. A qualidade de água nesses tanques (12 px/tq + 12% de arraçamento) prejudicou o crescimento satisfatório dos juvenis, visto havia elevadas concentrações de compostos nitrogenados, CO₂ e de ferro dissolvido na água.

Os pesos corporais finais dos peixes estocados nos tanques nas densidades 3, 6 e 9 px/tq e arraçados a 12% biomassa dia⁻¹ não diferiram estatisticamente entre si, sendo, em média, iguais a 25g ± 2,5. A presença do alimento natural nos tanques (perifíton) atendeu parte das exigências nutricionais dos juvenis de tilápia do Nilo, possibilitando o aumento da densidade de estocagem de 6 para 9 peixes/tq, sem prejuízo zootécnico. Assim, a densidade de estocagem de nove peixes/tanque de 250 L (36 peixes m⁻³), alimentados a taxa inicial da 12% biomassa dia⁻¹, pode ser utilizada em sistemas de cultivo baseados em substrato, sem causar prejuízos zootécnicos.. Azim *et al.* (2002c) afirmaram que o aumento da produtividade do policultivo dos peixes rohu e catla foi devido à instalação de substratos submersos para desenvolvimento de perifíton.

Densidades de estocagem de peixes muito reduzidas, além de proporcionarem desperdício de alimento natural (perifíton e fitoplâncton), ainda prejudicam o crescimento animal por, provavelmente, estimular interações comportamentais antagonistas entre os peixes. A presença de substratos submersos nos tanques de cultivo parece reduzir o estresse dos animais, agindo como abrigo ou esconderijo, além de aumentar a oferta de alimento (KESHAVANATH *et al.*, 2002). Além disso, os substratos proporcionam um ambiente físico-químico mais estável, uma vez que o aumento da densidade provoca muitas vezes a deterioração da qualidade de água (JOBBLING, 1994).

Em oposição aos resultados encontrados no presente estudo, Azim *et al.* (2003b) obtiveram maior produção de peixe nos tanques baseados em substratos estocados na menor das densidades testadas (4 peixes/tanque). Voltolina *et al.* (2013) também obtiveram maior crescimento do camarão marinho *L. vannamei* nas menores densidades testadas (8 e 16 camarões m²).

Vários autores destacam a importância do perifíton como importante fonte complementar na alimentação de peixes e camarões (UDDIN *et al.*, 2009; KESHAVANATH *et al.*, 2004), devido à presença de microrganismos no mesmo. Esses microrganismos fornecem nutrientes essenciais aos peixes, tais como ácidos graxos poli-insaturados (PUFA), esteróis, aminoácidos, vitaminas e pigmentos que ajudam em melhor desenvolvimento dos organismos criados (THOMPSON *et al.*, 2002; SILVA *et al.*, 2008). Isso permite diminuir a taxa de alimentação exógena, sem prejuízo zootécnico (MILSTEIN *et al.*, 2006; KESHAVANATH *et al.*, 2002). Por fim, pode favorecer melhora significativa da qualidade de água de cultivo (GANGADHAR; KESHAVANATH, 2012).

No presente trabalho, a taxa de crescimento específico (TCE) dos peixes não foi afetada pela densidade de estocagem ($p > 0,05$), somente pela taxa de arraçamento empregada. Esse resultado contraria o encontrado por El-Sayed (2002) que observou correlação negativa entre a TCE e o aumento da densidade de estocagem de tilápia do Nilo. No entanto, vale ressaltar que o trabalho de El-Sayed (2002) não foi realizado na presença de substrato artificial. Azim *et al.* (2003b), testando duas densidades de estocagem de tilápia do Nilo (4 e 8 px/tq), na presença ou ausência de substrato, encontraram a maior TCE na menor densidade com perifíton. No presente trabalho, a taxa alimentar ótima proporcionou maior valor de TCE do que a taxa sub-ótima. Na densidade de estocagem de 3px/tq, a TCE foi igual a 5,36%; na densidade de 9 px/tq, a TCE foi de 5,16%. Já nas densidades de 6 px/tq e 12 px/tq, não houve diferença significativa para os resultados de TCE, sendo inferiores aos valores observados nas outras densidades. El-Sayed (2002), na segunda etapa do seu trabalho, testou taxas crescentes de arraçamento na densidade determinada como ótima, tendo observado que o aumento na taxa de arraçamento incrementou a TCE. Azim *et al.* (2002b), em um policultivo de rohu (*Labeorohita*), catla (*Catla catla*) e kalbaush (*L. calbasu*), encontraram resultados de TCE significativamente maiores para catlas criadas em viveiros de terra com substrato do que em viveiros aos quais se forneceu apenas alimentação suplementar.

O fator de conversão alimentar (FCA) e a taxa de eficiência proteica (TEP) não foram afetados pelas densidades de estocagem empregadas ($p > 0,05$), somente pelas taxas de arraçamento (Tabela 9). A taxa alimentar ótima influenciou negativamente o FCA dos peixes

estocados na densidade de 12px/tq, o qual apresentou valor de 1,16. Nesses tanques, houve ainda um pior aproveitamento da proteína da dieta, indicada pelo o valor da TEP de 2,04. Os tanques estocadas com 9 peixes e alimentadas à taxa de 12% apresentaram FCA de 1,0, embora esse resultado não tenha sido significativamente diferente do observado nas outras densidades. No entanto, observa-se que o melhor resultado de FCA foi obtidos nos tanques arraoados a 12% ao dia, contendo nove peixes. Provavelmente, a maior disponibilidade de alimento natural na forma de perifíton favoreceu uma menor demanda de ração artificial e, desse modo, melhor conversão alimentar (BRATVOLD; BROWDY, 2001). Maeda *et al.* (2010) encontraram valores de TEP menores que o observado no presente estudo, em média de 1,6, quando avaliaram a densidade de estocagem na alevinagem de tilápia do Nilo, cultivados em tanques-redes, na ausência de perifíton.

O comprimento final não foi afetado pelas densidades de estocagem testadas, o que significa dizer que as maiores densidades não afetaram de forma significativa desenvolvimento dos juvenis de tilápia do Nilo. Na densidade de 9 peixes/tanque sendo utilizado a taxa ótima de arraçoamento, pode-se verificar um comprimento maior. O mesmo não foi observado para as demais densidades, as quais não diferiram significativamente. Dessa forma, o aumento da densidade de 6 para 9 peixes/tanque utilizando a taxa ótima possibilitou um maior crescimento dos juvenis.

A produtividade de pescado foi afetada tanto pelas densidades empregadas quanto pelas duas taxas de arraçoamento, sendo que para densidade de 9 peixes/tanque utilizando a taxa ótima de arraçoamento foi possível obter uma maior produtividade. Confirmando com resultado de peso final, a densidade de 9 peixes/tanque arraoados a 12% proporcionou maior quantidade de pescado por volume, com maior peso e comprimento final. Dessa forma, o uso de substrato artificial como indutor para crescimento do perifíton possibilitou nas condições laboratoriais aumentar a densidade de estocagem sem que houvesse prejuízos zootécnicos.

Tabela 9- Desempenho zootécnico de juvenis de tilápia do submetidos a quatro densidades de estocagem diferentes (3, 6, 9 e 12 peixes/tanque) e duas taxas de arraçoamento (9 e 12% biomassa/dia) por 8 semanas (média \pm d.p; n = 5).

Variável	Experimental						
	Taxa de arraçoamento	Densidade de estocagem (Peixes/tanque de 250 L)					
		3	6	9	12		
Peso final (g)	C-25	16,42 \pm 2,01 B	19,67 \pm 1,52 A	17,55 \pm 1,85 B	20,50 \pm 1,76 A		
	C	24,97 \pm 2,99 Aa ¹	25,43 \pm 2,55 Aa	24,99 \pm 2,05 Aa	20,86 \pm 3,06 Ab		
Comprimento final(cm)	C-25	10,82 \pm 0,63 A	10,88 \pm 0,63 A	10,33 \pm 0,52 B	10,53 \pm 0,32 A		
	C	11,23 \pm 0,88 A	11,50 \pm 0,39 A	11,15 \pm 0,35 A	10,64 \pm 0,52 A		
Sobrevivência (%)	C-25	80,00 \pm 29,82	87,50 \pm 7,22	82,22 \pm 6,09	83,33 \pm 10,21		
	C	93,33 \pm 14,91	86,67 \pm 21,73	91,11 \pm 12,17	88,33 \pm 13,94		
TCE (%PC dia ⁻¹)	C-25	4,67 \pm 0,19 B	4,61 \pm 0,25 A	4,25 \pm 0,23 B	4,50 \pm 0,19 A		
	C	5,36 \pm 0,63 A	5,05 \pm 0,60 A	5,16 \pm 0,20 A	4,75 \pm 0,27 A		
FCA	C-25	0,86 \pm 0,02 A	0,86 \pm 0,06 A	0,97 \pm 0,09 A	0,91 \pm 0,04 B		
	C	1,00 \pm 0,28 A	1,10 \pm 0,28 A	1,00 \pm 0,05 A	1,16 \pm 0,11 A		
TEP	C-25	2,50 \pm 0,53 A	2,75 \pm 0,21 A	2,42 \pm 0,22 A	2,57 \pm 0,14 A		
	C	2,50 \pm 0,55 A	2,24 \pm 0,13 A	2,37 \pm 0,13 A	2,04 \pm 0,19 B		
Produtividade (g m ⁻² dia ⁻¹)	C-25	3,57 \pm 0,44 Bd	7,49 \pm 0,60 Bc	9,45 \pm 1,24 Bb	14,01 \pm 1,31 Aa		
	C	5,15 \pm 1,27 Ab	10,83 \pm 1,46 Ab	14,77 \pm 0,86 Aa	15,86 \pm 1,73 Aa		
ANOVA bifatorial p							
Fator	Peso	Comp.	Sobrev.	TCE	FCA	TEP	Prod.
Densidade de estocagem	0,0232	ns	ns	ns	ns	ns	<0,0001
Taxa de arraçoamento	0,0001	<0,001	ns	<0,0001	0,0016	0,018	<0,0001
Dens. X Ração.	0,0018	ns	ns	ns	ns	ns	0,005

¹Para cada variável, letras diferentes na mesma linha indicam que há diferença significativa para o fator da densidade de estocagem, pelo teste de Tukey (<0,05). Para cada variável, letras diferentes na mesma coluna apresentam diferença significativa para o fator taxa de arraçoamento (C e C-25) para Tukey (<0,05).

4.4.1 Índice de uniformidade dos juvenis de tilápia

A uniformidade corporal em peixes pode ser relacionada ao bem-estar do cultivo, de tal forma que índices de uniformidade corporal acima de 80% indicam menores níveis de antagonismos e competição entre os peixes (QUARESMA, 2013). No presente estudo, os resultados de índice de uniformidade ficaram abaixo de 80%. No entanto, não houve diferença para esse índice entre as diferentes densidades de estocagem empregadas, o que pode significar que o bem-estar dos juvenis não foi afetado pelas densidades maiores (9 e 12 px/tq) (Figura 57). Tachibana *et al.* (2009) concluíram, em trabalho com juvenis de tilápia, que as maiores densidades de estocagem poderiam ter provocado a quebra do *status* social de dominância, o que permitiu que todos os peixes se alimentassem e crescessem de maneira uniforme. De acordo com Wallace e Kolbeinshaun (1988), quando o alimento não é limitante e a densidade de estocagem é alta, o surgimento de hierarquias na população é reduzido.

No presente trabalho, as taxas de arraçoamento empregadas não tiveram efeito na uniformidade corporal dos juvenis (Figura 58). De acordo com Marques *et al.* (2003), o emprego de maiores taxas alimentares pode reduzir a concorrência entre os indivíduos cultivados. Isso acarretaria em uma menor variação entre os pesos corporais e, consequentemente, uma maior uniformidade.

Portanto, a densidade de estocagem de nove peixes/tanque 250 L (34 peixes m⁻³), quando alimentados a taxa inicial de 12% da biomassa estocada/dia, em sistema baseado em substrato, foi aquela densidade para a qual se obteve os melhores resultados de desempenho zootécnico.

Figura 57- Índice de uniformidade corporal de juvenis de tilápia do Nilo submetidos a diferentes densidades de estocagem (3, 6, 9 e 12 peixes/tanque) e a duas taxas de arraçoamento (sub-ótima e ótima- 9% e 12%, respectivamente) em sistema baseado em substrato artificial para crescimento de perifíton, durante 8 semanas de cultivo. Não há diferença significativa entre os tratamentos (ANOVA $P > 0,05$).

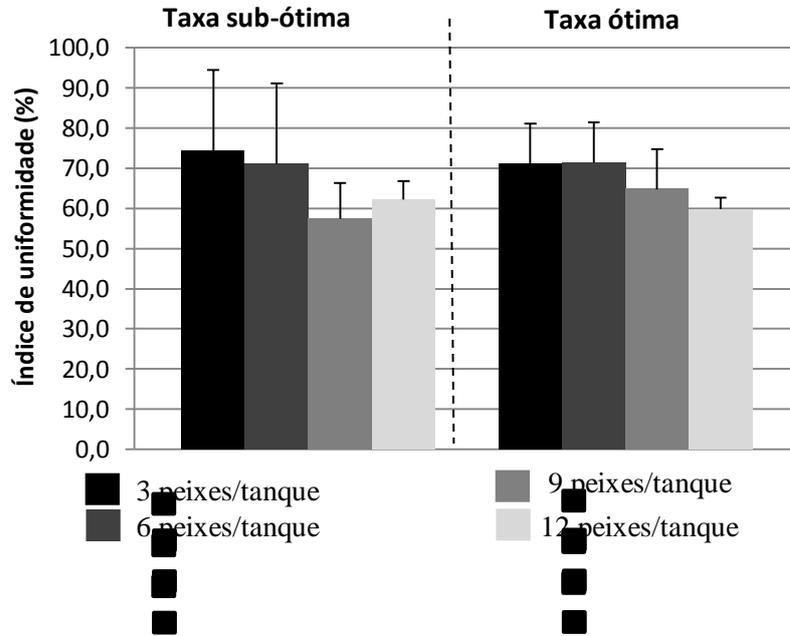
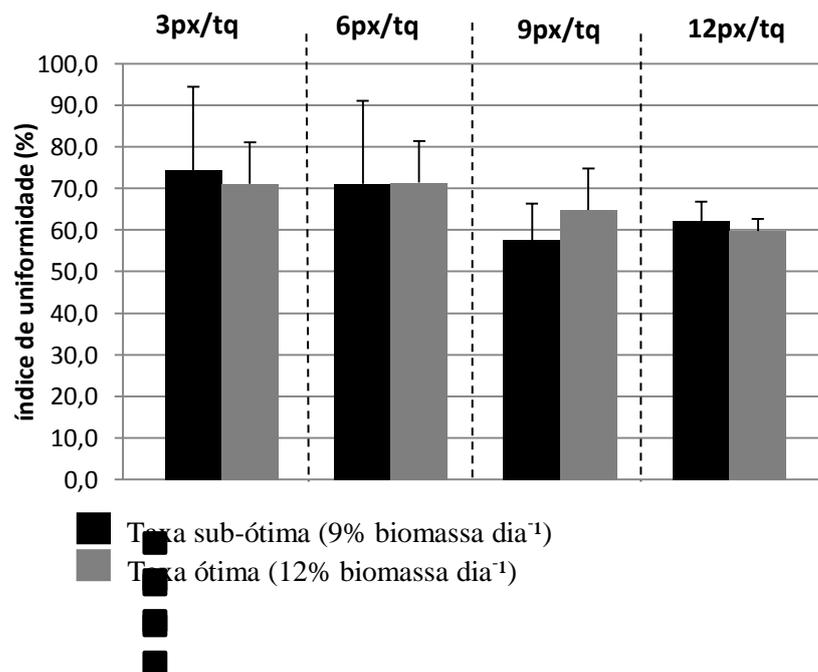


Figura 58- Índice de uniformidade corporal de juvenis de tilápia do Nilo submetidos a diferentes densidades de estocagem (3, 6, 9 e 12 peixes/tanque) e a duas taxas de arraçoamento (sub-ótima e ótima- 9% e 12%, respectivamente) em sistema baseado em substrato artificial para crescimento de perifíton, durante 8 semanas de cultivo. Não há diferença significativa entre os tratamentos (ANOVA $P > 0,05$).



5 CONCLUSÕES

1. As taxas ótimas de arraçoamento no cultivo de tilápia do Nilo, na fase de recria, em sistema baseado em substrato, tanto do ponto de vista zootécnico como de qualidade de água, são as apresentadas abaixo:

Peso do juvenil (g)	% biomassa dia ⁻¹	Nº de tratos dia ⁻¹	Granulometria da ração (mm)	% PB ração
1,0 - 1,5	11,9	4	< 0,5	50
1,5 - 2,0	10,5	4	< 0,5	50
2,0 - 2,5	9,8	4	< 0,5	50
2,5 - 3,0	9,1	4	< 0,5	50
3,0 - 3,5	8,4	4	< 0,5	50
3,5 - 4,5	7,7	4	< 0,5	50
4,5 - 5,5	7,0	4	< 0,5	50
5,5 - 7,0	6,3	4	< 0,5	50
7,0 - 9,0	5,6	4	< 0,5	50
9,0 - 16,0	5,3	4	2 - 3	40
16,0 - 20,0	4,9	4	2 - 3	40
20,0 - 25,0	4,2	4	2 - 3	40
25,0 - 30,0	3,5	4	2 - 3	40
30,0 - 35,0	3,5	3	2 - 3	40
35,0 - 40,0	3,5	3	2 - 3	40

2. Na fase 1, não foi possível se observar o efeito do perifíton na diminuição da concentração de NAT na água, nos tratamentos com maiores taxas de oferta de ração. No entanto, as baixas concentrações de NAT se tornaram evidentes nos demais tratamentos.
3. A eficiência do perifíton na remoção de nitrito e fósforo da água foi evidente, tanto na fase 1 como na fase 2, mantendo baixas as concentrações desses compostos.

4. A biomassa perifítica foi consumida ativamente pelos juvenis de tilápia do Nilo, sendo que as taxas restritivas de alimentação induziram ao maior aproveitamento do alimento natural. Já as taxas mais elevadas de arraçoamento promoveram subaproveitamento do perifíton e conseqüente desperdício de ração, resultando na deterioração da qualidade de água e no aumento dos custos de produção.

5. A melhor densidade de estocagem de juvenis de tilápia do Nilo alimentados sob as taxas otimizadas de arraçoamento é de 9 peixes/tanque 250 L ou 36 peixes m³. Densidades de estocagem abaixo (6 peixes/tanque) ou acima (12 peixes/tanque) daquela não trouxeram nenhum benefício ao cultivo, seja na qualidade de água e solo, seja no desempenho zootécnico dos animais cultivados.

REFERÊNCIAS

- ABREU, P. C. *et al.* Importance of biofilm as food source for shrimp (*Farfantepenaeus paulensis*) evaluated by stable isotopes ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$). **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, Amsterdam, v.347, p.88–96, 2007.
- ANAND, P. S. S. *et al.* Effect of dietary supplementation of periphyton on growth performance and digestive enzyme activities in *Penaeus monodon*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 392–395, p.59–68, 2013.
- ASADUZZAMAN, M. *et al.* Effects of addition of tilapia *Oreochromis niloticus* and substrates for periphyton developments on pond ecology and production in C/N controlled freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* farming systems. **Aquaculture**, Amsterdam, v.287, p.371-380, 2009.
- ASADUZZAMAN, M.*et al.* Effects of C/N ratio and substrate addition on natural food communities in freshwater prawn monoculture ponds. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 306, p. 127-136, 2010.
- ASADUZZAMAN, M. *et al.* C/N ratio control and substrate addition for periphyton development jointly enhance freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* production in ponds. **Aquaculture**, Amsterdam, v.280, p.117–123, 2008.
- AUDELO-NARANJO, J.M.; VOLTOLINA, D.; ROMERO-BELTRÁN, E. Culture of white shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931) with zero water exchange and no food addition: an eco-friendly approach. **Latim American Journal of Aquatic Research**, Valparaiso, v. 40(2): p. 441-447, 2012.
- AVNIMELECH, Y, 2000, Protein utilization in aquaculture systems. Inter. Conf. AQUA 2000, Nice, France, May 2-6, p.41, 2000.
- AVNIMELECH, Y.*et al.* Sustainable Land-based Aquaculture: Rational Utilization of Water, Land and Feed Resources. **Mediterranean Aquaculture Journal**, v.1(1), p. 45-54, 2008.
- AZIM, M. E. *et al.* Ingestion and utilization of periphyton grown on artificial substrates bi Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. **Aquaculture Research**, Oxford, v.34, p.85-92, 2003c.
- AZIM, M. E. *et al.* A comparison of fertilization, feeding and three periphyton substrates for increasing fish production in freshwater pond aquaculture in Bangladesh, **Aquaculture**, Amsterdam, v.212, p.227–243, 2002b.
- AZIM, M. E.*et al.* The effects of periphyton substrate and fish stocking density on water quality, phytoplankton, periphyton and fish growth. **Aquaculture Research**, Oxford, v.34, p.685-695., 2003b.
- AZIM, M. E.*et al.* The effects of artificial substrates on freshwater pond productivity and water quality and the implications for periphyton-based aquaculture. **Aquatic Living Resources**, Montrouge, França, v. 15, p.231–241, 2002a.

AZIM, M.E. *et al.* Periphyton and aquatic production: an introduction. In: AZIM, M.E.; VERDEGEM, M.C.J.; VAN DAM, A.A.; BEVERIDGE, M.C.M. (Ed.) **Periphyton – ecology, exploitation and management**. CABI Publishing: Cambridge, 2005.

AZIM, M.E. *et al.* Evaluation of polyculture of Indian major carps in periphyton-based ponds. **Aquaculture**, Amsterdam, v.213, p.131– 149, 2002c.

AZIM, M.E.; LITTLE D.E. Intensifying aquaculture production through new approaches to manipulating natural food. **CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources** v.1, p.1- 23, 2006. Also <<<http://www.cababstractsplus.org/cabreviews>>>

AZIM, M.E. *et al.* Periphyton–water quality relationships in fertilized fish ponds with artificial substrates. **Aquaculture**, Amsterdam, v.228, p.169-187, 2003a.

AZIM, M.E. *et al.* Optimization of stocking ratios of two Indian major carps, rohu (*Labeorohita* Ham.) and catla (*Catla catla* Ham.) in a periphyton-based aquaculture system. **Aquaculture**, Amsterdam, v.203, p.33–49, 2001.

BALDISSEROTTO, B. **Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 212p, 2002.

BARBOSA, M. C.; NEVES, F. F.; CERQUEIRA, V. R. Taxa alimentar no desempenho de juvenis de robalo-peva em tanque-rede. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 33, n. 4, p. 369-372, 2011.

BEVERIDGE, M.C.M.; BAIRD, D.J. Diet, feeding and digestive physiology. Chap. 3. In: Beveridge, M.C.M., Baird, D.J. (Eds.), **Tilapias: Biology and Exploitation**. Kluwer Academic Publishing, Dordrecht, pp. 59– 87, 2000.

BISWAS, G. *et al.* Effects of stocking density and presence or absence of soil base on growth, weight variation, survival and body composition of pearl spot, *Etroplus suratensis* (Bloch) fingerlings. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 44, p.1266–1276, 2013.

BOYD, C. E. Ammonia Toxicity Degrades Animal Health, Growth. **Global aquaculture advocate**, v.16 , p.40-43, 2013.

BOYD, C. E.; TUCKER, C. S. **Ponds aquaculture water quality management**. Springer: Keuwer Academic Publishers, p. 700, 1998.

BOYD, C.E. Bottom soil and water quality management in shrimp ponds. **Journal of Applied Aquaculture**, v.13, n.1-2, p.11-33, 2003.

BOYD, C.E. Bottom Soils, Sediment and Pond Aquaculture. Chapman and Hall, New York, 348 pp, 1995.

BOYD, C.E. Water quality. An introduction. Boston: Kluwer Academic Publishers, 330 p., 2000.

BOYD, C.E.; QUEIROZ, J. Manejo do solo e da qualidade da água em viveiro para aquicultura. Trad. Eduardo Ono. Campinas: **ASA – Associação Americana de Soja**. 55p, 1997.

BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura. **Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura**. Brasília, 60 p., 2011.

CALDINI, N.N. Ritmo circadiano sincronizado pelo alimento em juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*. Monografia (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia de Pesca, Curso de Engenharia de Pesca, Fortaleza, 2012.

CAVALCANTE, D. H.; SÁ, M. V. C. Effect of photosynthesis on Nile tilapia culture water's alkalinity. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 1, p. 67-72, 2010.

CAVALCANTE, D. H. *et al.* Lab-scale periphyton-based system for fish culture. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.12, p.2177-2182, dez, 2011.

COLT, J.; WATTEN, B.; RUST, M. Modeling carbon dioxide, pH, and un-ionized ammonia relationships in serial reuse systems. **Aquacultural Engineering**, v.40, n.1, p.28-44, 2009.

CYRINO, J. E. P. *et al.* A piscicultura e o ambiente – o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. **Revista Brasileira Zootecnia**, Brasília, v.39, p.68-87, (supl. especial), 2010.

DEMPSTER P.W.; BEVERIDGE M.C.M.; BAIRD D.J. Herbivory in the tilapia *Oreochromis niloticus*: a comparison of feeding rates on phytoplankton and periphyton. **Journal of Fish Biology**, British Isles, v. 43, p.385-392, 1993.

DEMPSTER, P.; BAIRD, D.J.; BEVERIDGE, M.C.M. Can fish survive by filter-feeding on microparticles? Energy balance in tilapia grazing on algal suspensions. **Journal of Fish Biology**, British Isles, v.47, p.7-17, 1995.

DRAPCHO, C. M.; BRUNE, D. E. The partitioned aquaculture system: impact of design and environmental parameters on algal productivity and photosynthetic oxygen production. **Aquacultural engineering**, v. 21, n. 3, p. 151-168, 2000.

DUQUE, S. E. M. *et al.* Efectos del perifiton sobre los parámetros físico químicos del agua en estanques con policultivo de tilápia *Oreochromis niloticus* y Bocachico *Prochilodus magdalenae*. **REVISTA LASALLISTA DE INVESTIGACIÓN**, Vol. 9, No. 1, p.41-52, 2012.

EGNA, H. S.; BOYD, C. E. Dynamics of pond aquaculture. 1ed. Flórida, p.136, 1997.

EL-SAYED, A. F. M. Alternative dietary protein sources for farmed tilapia, *Oreochromis* spp. **Aquaculture**, Amsterdam, v.179, n.2, p.149-168, 1999.

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**, Oxford, v.33, p.621-626, 2002.

EL-SAYED, A. F. M.; KAWANNA, M. Optimum water temperature boosts the growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry reared in a recycling system. **Aquaculture Research**, Oxford, v.39, p.670-672, 2008.

EL-SHAFI, S.A. *et al.* Chronic ammonia toxicity to duckweed-fed tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, Amsterdam, v.232, p.117-127, 2004.

ESTEVEZ, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 826p. 2011.

FAO – Food and Agricultural Organization. The State of world fisheries and aquaculture - SOFIA. Roma: FAO, 2010.

FAO. Food and Agricultural Organization. The State of world fisheries and aquaculture-SOFIA. Roma: FAO, 2012.

FILBRUN, J. E.; REYNOLDS, A.; CULVER, D. A. Effects of Feeding Rate on Habitat Quality in Fish Rearing Ponds. **JOURNAL OF THE WORLD AQUACULTURE SOCIETY**, Vol. 44, No. 2, 2013.

GANGADHAR, B.; KESHAVANATH, P. Growth performance of rohu, *Labeo rohita* (Ham.) in tanks provided with different levels of sugarcane bagasse as periphyton substrate. **Indian J. Fish**, India, v.59 (3), p.77-82, 2012.

GONZALEZ, J. J. G.; LONDOÑO, G. A. C.; PARDO-CARRASCO, S. C. Phytoplankton and periphyton in ponds with Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and bocachico (*Prochilodus magdalenae*). **Rev Colomb Cienc Pecu**, v.25, p.603-614, 2012.

GROSS, A.; BOYD, C. E.; WOOD, C. W. Nitrogen transformations and balance in channel catfish ponds. **Aquaculture Engineering**, v.24, p.1-14, 2000.

HAYASHI C. *et al.* Uso de diferentes graus de moagem dos ingredientes em dietas para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.) na fase de crescimento. **Acta Scientiarum**, v. 21, n.03, p. 733-737, 1999.

HISANO, H.; PORTZ, L. Redução de custos de rações para tilápia: a importância da proteína. Bahia Agric., Bahia, v.8, n.1, nov.2007.

HUCHETTE, S. M. H. *et al.* The impacts of grazing by tilapias (*Oreochromis niloticus* L.) on periphyton communities growing on artificial substrate in cages. **Aquaculture**, Amsterdam, v.186, p. 45–60, 2000.

JUN, Q. *et al.* Combined effect temperature, salinity and density on the growth and feed utilization of Nile tilapia juveniles (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture Research**, Oxford, v.43, p.1344-1356, 2012.

KESHAVANATH, P. *et al.* The effect of periphyton and supplemental feeding on the production of the indigenous carps *Tor khudree* and *Labeo fimbriatus*. **Aquaculture**, Amsterdam, v.213, p.207–218, 2002.

KESHAVANATH, P. *et al.* Effects of bamboo substrate and supplemental feeding on growth and production of hybrid red tilapia fingerlings (*Oreochromis mossambicus* x *Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, Amsterdam, v.235, p.303–31, 2004.

KESHAVANATH, P. *et al.* Use of artificial substrates to enhance production of freshwater herbivorous fish in pond culture. **Aquaculture Research**, Oxford, v.32, p.189-197, 2001.

- KHATOON, H. *et al.* Formation of periphyton biofilm and subsequent biofouling on different substrates in nutrient enriched brackish water shrimp ponds. **Aquaculture**, Amsterdam, v.273, p.470–477, 2007.
- KIEMER, M. C. B. *et al.* The effects of chronic and acute exposure to hydrogen sulphide on Atlantic salmon (*Salmosalar L.*). **Aquaculture**, Amsterdam, v.135, p.311-327, 1995.
- KUBITZA, F. A versatilidade do sal na piscicultura. **Panorama da AQUICULTURA**, p.14-23, setembro/outubro 2007.
- KUBITZA, F. Qualidade da água na produção de peixes. Jundiaí: CIP-USP Editora, 1999.
- KUBITZA, F. Qualidade da água na produção de peixes. Parte I, Vol. 8, n.45, jan/fev 1998.
- KUBITZA, F. Tilápia: tecnologia e planejamento na produção comercial. Jundiaí: Fernando Kubitza, p.289, 2000.
- LACHI, G. B.; SIPAÚBA-TAVARES, L. H. Qualidade da água e composição fitoplanctônica de um viveiro de piscicultura utilizado para fins de pesca esportiva e irrigação. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v.34, n.1, p.29 – 38, 2008.
- LAHAVA, O. *et al.* The potential of using iron-oxide-rich soils for minimizing the detrimental effects of H₂S in freshwater aquaculture systems. **Aquaculture**, v.238, p.263–281, 2004.
- LIM, C.; WEBSTER, C. D. **Tilapia: biology, culture, and nutrition**. Binghamton, NY, 2006.
- MAEDA, H. *et al.* DENSIDADE DE ESTOCAGEM NA ALEVINAGEM DE TILÁPIA-DO-NILO EM TAN QUE-REDE. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 11, n. 3, p. 471-476, jul./set. 2010.
- MARENGONI, N.G. Produção de tilápia do nilo *oreochromis niloticus* (linhagem chitralada), cultivada em tanques-rede, sob diferentes densidades de estocagem. **Arcihivo Zootecnia**, v.55 (210), p.127-138. 2006.
- MARQUES, N. R.; HAYASHI, C.; SOARES, C. M. Taxas Diárias de Arraçamento para Alevinos de Tilápia do Nilo (*Oreochromis Niloticus*, L.) Cultivados em Baixas Temperaturas. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, Londrina, v. 24, p. 97-104, jan./dez., 2003.
- MERCANTE, C.T.J. *et al.* A. Qualidade da água em viveiro de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*): Caracterização diurna de variáveis físicas, químicas e biológicas, São Paulo, Brasil. **Biokos**, Campinas, v.21, n.2, p.79-88, jul-dez., 2007.
- MEURER, F. *et al.* Taxa de Arraçamento para Alevinos de Lambari-do-Rabo-Amarelo (*Astyanax bimaculatus*). **Revista Brasileira Zootecnia**, v.34, n.6, p.1835-1840, 2005.
- MILSTEIN, A *et al.* The effects of periphyton fish and fertilizer dose on biological processes affecting water quality in earthen fish ponds. **Environmental Biology of Fishes**, v.68, p.247–260, 2003.

MILSTEIN, A.; PERETZ, Y.; HARPAZ, S. Culture of organic tilapia to market size in periphyton-based ponds with reduced feed inputs. **Aquaculture Research**, Oxford, v.40, p.55-59, 2009.

MILSTEIN, A.; JOSEPH, D.; PERETZ, Y.; HARPAZ, S. **Increasing natural food and reducing added feeds in organic tilapia nursery ponds**. (European Aquaculture Society), AQUA2006, Abstracts: 614. Also in: <http://www.was.org/meetings/AbstractData.asp?AbstractId=10637>, 2006.

NANDEESHA, M.C. Substrate based aquaculture systems. Farmer innovation withstands scientific scrutiny and proves robust. **Aquaculture Asia**, v.8, n.3, p.24-27, 2003.

NUNES, Cesar Antunes Rocha. **Influência do uso de substratos artificiais na criação do camarão *Litopenaeus vannamei***. 2010.60f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal)- Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Bahia, 2010.

O'REILLY, C. M. Seasonal dynamics of periphyton in a large tropical lake. **Hydrobiologia**, 553:293–301, 2006.

OSTRESNKY, A.; BORGHETTI, J. R.; SOTO, D. **Aqüicultura no Brasil: o desafio é crescer**, 276 p, Brasília, 2008.

PEREIRA, L. P. F.; MERCANTE, C. T. J. A AMÔNIA NOS SISTEMAS DE CRIAÇÃO DE PEIXES E SEUS EFEITOS SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA. UMA REVISÃO. **Boletim Instituto de Pesca**, São Paulo, v.31, n.1, p.81 - 88, 2005.

PIÉRRI, V. Efeito da alcalinidade sobre o cultivo de *Litopenaeus vannamei* em sistema de bioflocos. 2012. 48 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) - Programa de Pós-Graduação em Aquicultura. Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2012.

PISCICULTURA NO BRASIL. Disponível em <www.investmentosalagoas.al.gov.br> Acessado em 17 de Julho 2012.

POMPÊO, M.L.M.; MOSCHINI-CARLOS, V. Perifíton: estrutura, dinâmica e métodos de estudos. In: POMPÊO, M.L. M; MOSCHINI-CARLOS, V. **Macrófitas aquáticas e perifíton – Aspectos ecológicos e metodológicos**. São Carlos: RiMa, p.63-85, 2003.

QUEIROZ, J. F.; BOEIRA, R.C. Recomendações Práticas para o Manejo de Sedimentos do Fundo dos viveiros de Aquicultura. **Comunicado técnico 37**. Jaguariúna, SP, 2006.

RAHMAN, M. M.; VERDEGEM, M.; WAHAB, A. Effects of tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) stocking and artificial feeding on water quality and production in rohu–common carp bi-culture ponds. **Aquaculture Research**, Oxford, v.39, p.1579-1587, 2008.

REBOUÇAS, V. T.; CALDINI, N. N.; CAVALCANTE, D. H.; SILVA, J. R.; SÁ, M. V. C. Interaction between feeding rate and area for periphyton in culture of Nile tilapia juveniles. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 34, n. 2, p. 161-167, Apr.-June, 2012.

SÁ, M. V. C.; FRACALLOSSI, D. M. Exigência Protéica e Relação Energia/Proteína para Alevinos de Piracanjuba (*Brycon Orbignyanus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.1, p.1-10, 2002.

SÁ, Marcelo V. C. **Linnocultura**: limnologia para aquicultura. Fortaleza: Edições UFC, 2012. 218 p.

SAIKIA, S. K.; DAS, D. N. Potentiality of Periphyton-based aquaculture technology in Rice-fish Environment. **J. Sci. Res.**, v.1, n.3, p.624-634, 2009.

SHEARER, K. D. Experimental design, statistical analysis and modeling of dietary nutrient requirement studies for fish: a critical review. **Aquaculture Nutrition**, v.6, p.91-102, 2000.

SILVA, C. F.; BALLESTER, E.; MONSERRAT, J.; GERACITANO, L.; WASIELESKY JR, W.; ABREU, P. C. Contribution of microorganisms to the biofilm nutritional quality: protein and lipid contents. **Aquaculture Nutrition**, 14, 507-514, 2008.

SIQUEIRA, N. S.; RODRIGUES, L. BIOMASSA PERIFÍTICA EM TANQUES-REDE DE CRIAÇÃO DE TILÁPIA DO NILO –*Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758). **Boletim Instituto de Pesca**, São Paulo, v.35, n.2, p. 181-190, 2009.

SOUZA, M. L. R.; CASTAGNOLLI, N.; KRONKA, S. N. Influência das densidades de estocagem e sistemas de aeração sobre o peso e características de carcaça da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1757). **Acta Scientiarum**, v.20, n.3, p.387-393, 1998.

TACHIBANA, L.; GERVÁSIO, A. F.; CORRÊA, C. F. SAES, L.A. Densidades de estocagens de pós-larvas de tilápia-do-Nilo submetidas à inversão sexual. **Bioikos**, Campinas, v.23, n.2, p.77-82, jul./dez., 2009.

TAYLOR, W. D.; BENTZEN, E.; MILLARD, E.S. The importance of dissolved organic phosphorus to phosphorus uptake by limnetic plankton. **Limnology and Oceanography**, Illinois, v.37, n.2, p.217-231, 1992.

THOMPSON, F. L.; ABREU, P. C.; WASIELESKY, W. Importance of biofilm for water quality and nourishment in intensive shrimp culture. **Aquaculture**, Amsterdam, v.203, p.263–278, 2002.

TRUSSEL, R.P. The percent un-ionized ammonia in aqueous ammonia solutions at different pH level and temperatures. **J. Fish. Res. Board Can.**, v.29, p.10, 1972.

UDDIN M. S.; RAHMAN, S. M. S.; AZIM, M. E.; WAHAB, M. A.; VERDEGEM, M. C. J.; VERRETH, J. A. J. Effects of stocking density on production and economics of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) polyculture in periphyton-based systems. **Aquaculture Research**, Oxford, v.38, p.1759-1769, 2007.

UDDIN, M. S.; AZIM, M. E.; WAHAB, M. A.; VERDEGEM, M. C. J. Effects of substrate addition and supplemental feeding on plankton composition and production in tilapia (*Oreochromis niloticus*) and freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) polyculture. **Aquaculture**, Amsterdam, v.297, p.99–105, 2009.

VIAU, V. E.; OSTERA, J. M.; TOLIVIA, A.; BALLESTER, E. L. C.; ABREU, P. C.; RODRÍGUEZ, E. M. Contribution of biofilm to water quality, survival and growth of juveniles of the freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* (Decapoda, Parastacidae) **Aquaculture**, Amsterdam, v.324-325, p.70–78, 2012.

VINATEA ARANA, Luis. Princípios químicos de qualidade da água em aquicultura: uma revisão para peixes e camarões. 2.ed. ver. e amp., Florianópolis, p.231, 2004.

WALLACE, J. C.; KOLBEINSHAUN, A. G. The effect of size grading on subsequent growth in fingerling Arctic Charr, *Salvelinus alpinus* (L), **Aquaculture**, Amsterdam, v. 73, p. 97-100. 1988.

WASIELESKY Jr. W.; PERSH, L.H., L.; JENSEN, A. B. Effect of stocking density on pen reared pink shrimp *Farfantepenaeus paulensis* (Pérez-Farfante, 1967) (Decapoda, Penaeidae). **Nauplius**. V. 9, p.163-167, 2001.

WATANABE, W. O.; LOSORDO, T. M.; FITZSIMMONS, K.; HANLEY, F. Tilapia production system in the americas: technological advances, trends, and challenges. **Reviews in Fisheries Science** [on line], v. 10, n. 384, p. 465-598, 2003.

ZUANON, J. A. S.; ASSANO, M.; FERNADES, J. B. K. Desempenho de *Trichogaster* (*Trichogaster trichopterus*) submetido a Diferentes Taxas de Arraçoamento e Densidades de Estocagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.6, p.1639-1645, 2004.