

# PRODUÇÃO DE ALFACE (*Lactuca sativa*) EM EFLUENTES DE UM CULTIVO DE TILÁPIAS MANTIDAS EM SISTEMA BFT EM BAIXA SALINIDADE

Guilherme Luis LENZ<sup>1</sup>, Emerson Giuliani DURIGON<sup>2</sup>, Katt Regina LAPA<sup>1</sup>,  
Maurício Gustavo Coelho EMERENCIANO<sup>3</sup>

## RESUMO

No presente experimento verificou-se o efeito da salinidade no desempenho produtivo de diferentes cultivares de alface (*Lactuca sativa*) em um sistema de aquaponia utilizando a tecnologia de bioflocos. O experimento consistiu de dois sistemas independentes com duas salinidades: 0 ppt (DOCE) e 3 ppt (SAL). Foram estocados juvenis de tilápia (*Oreochromis niloticus*) em biomassa relativa de 6,1 kg m<sup>-3</sup>, e nas bancadas hidropônicas (tipo *floating*) foram mantidas três variedades de alface: roxa, lisa e crespa, na densidade de 20 plantas m<sup>-2</sup>. Os parâmetros zootécnicos dos peixes não apresentaram diferenças estatísticas entre os tratamentos, exceto o índice hepatossomático, que foi mais elevado em 3 ppt (4,35%) quando comparado ao registrado em 0 ppt (3,07%) (P<0,05). De maneira geral, a produtividade das variedades de alface foi superior em água doce (1,21 kg m<sup>-2</sup>) em relação à água salobra (0,8 kg m<sup>-2</sup>) (P<0,05). Considerando a maioria dos parâmetros fitotécnicos avaliados, os valores apresentados pela variedade roxa foi superior aos registrados para as variedades lisa e crespa. Já no tocante ao índice de qualidade de plantas (IQP), a variedade roxa em água salobra foi a que apresentou as melhores notas, com folhas mais íntegras e coloração mais intensa. Os resultados demonstraram que é possível integrar a criação de tilápia com a produção de alface roxa em sistemas de aquaponia com tecnologia de bioflocos e baixa salinidade.

**Palavras-chave:** aquicultura sustentável; integração de culturas; água salobra; aquaponia; sistema de recirculação aquícola (SRA)

# LETTUCE (*Lactuca sativa*) PRODUCTION WITH EFFLUENT FROM A TILAPIA CULTURE MAINTAINED IN BFT AND LOW SALINITY

## ABSTRACT

This experiment evaluated the effect of salinity on growth performance of different lettuce cultivars (*Lactuca sativa*) in an aquaponics system with biofloc technology. The device contained two independent systems with two different salinities 0 ppt and 3 ppt. Were stored, Juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus*) 6.1 kg m<sup>-3</sup> and three varieties of lettuce: red leaf, smooth and crisp 20 plants m<sup>-2</sup> in the floating system. All fish performance parameters showed no statistical differences, except for the hepatossomatic index, higher in 3 ppt (4.35%) versus (3.07%) in 0 ppt (P<0.05). In general, the productivity of lettuce cultivars were superior in fresh water (1.21 kg m<sup>-2</sup>) compare to brackish water (0.8 kg m<sup>-2</sup>) (P<0.05). In most phytotechnical parameters evaluated, the purple variety had better performance than the smooth and crisped varieties. In relation to plant quality index (IQP), purple variety in brackish water had the best score, presenting leaves with higher integrity and intense coloration. The results demonstrated that it is possible to integrate the production of red leaf variety in aquaponics systems with the technology of bioflocs in low salinity.

**Key words:** sustainable aquaculture; integration of cultures; brackish water; aquaponics; recirculating aquaculture systems; RAS.

**Nota Científica:** Recebido em 23/06/2017; **Aprovado em** 01/11/2017

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Departamento de Aquicultura, Laboratório de Camarões Marinhos – Setor Tratamento de Efluentes, Curso de Graduação em Engenharia de Aquicultura, Florianópolis-SC, Brasil.

<sup>2</sup> Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Laboratório de Aquicultura (LAQ), Laguna-SC, Brasil. Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia (PPGZOO/UDESC), Chapecó-SC, Brasil

<sup>3</sup> Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Departamento de Engenharia de Pesca, Laboratório de Aquicultura (LAQ), Laguna-SC, Brasil. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia (PPGZOO/UDESC), Chapecó-SC, Brasil. E-mail : mauricioemerenciano@hotmail.com (autor correspondente).

## INTRODUÇÃO

Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística indicam produção total de 483,2 mil toneladas de peixes de água doce em 2015 (IBGE, 2015). Grande parte da produção provém de sistemas semi-intensivos, que necessitam de renovação contínua de água. A preservação da qualidade da água é uma das tendências de novos procedimentos em relação às regulamentações ambientais. São previstos o limite mínimo de consumo e as condições adequadas em que o efluente deve ser lançado ao meio ambiente, sendo um dos principais objetivos a redução da emissão de nitratos e ortofosfatos (HAMLIN, 2006; COLLAÇO *et al.*, 2015). Segundo BOYD (2003), registram-se diversos impactos ambientais provenientes da aquicultura: destruição de sítios naturais; disseminação de doenças; decréscimo de populações naturais de peixes nativos com a introdução de espécies exóticas; e poluição dos corpos d'água de superfície e subsolo. Neste contexto, percebe-se que a piscicultura de água doce pode ser considerada uma atividade poluidora quando seus efluentes são lançados diretamente em corpos d'água sem o devido tratamento.

Sendo assim, existe uma necessidade de gestão e manejo ecologicamente corretos dos meios de produção piscícolas (AZIM e LITTLE, 2008). A expansão da aquicultura sustentável depende do desenvolvimento e aplicações de novas tecnologias que intensifiquem os cultivos, maximizem a utilização de água e nutrientes, assim como minimizem os impactos ambientais (HU *et al.*, 2015). O aumento dessa produção e a consequente redução de impactos ambientais, além da integração entre sistemas produtivos e a diminuição do uso do solo e de químicos são alguns dos princípios que deverão nortear a aquicultura (PANTANELLA, 2008; BARBIERI *et al.*, 2014).

Sistemas de recirculação, em inglês "recirculating aquaculture system" (RAS), e a tecnologia de produção em sistema de bioflocos, em inglês conhecido por "biofloc technology" (BFT), são métodos alternativos de produção intensiva considerados de baixo impacto ambiental. O BFT é visto como um sistema alternativo eficiente, que se baseia no crescimento de micro-organismos em meio da cultura, com nutrientes sendo continuamente reciclados e reutilizados e com geração zero ou mínima de efluentes (EMERENCIANO *et al.*, 2013). Segundo AVNIMELECH (2012), o sistema de produção

em bioflocos permite intensificar a produção da aquicultura sem aumentar significativamente o uso de recursos naturais, principalmente água e terra.

No cultivo de peixes somente uma pequena proporção da ração oferecida (25-30%) é convertida em energia útil (RAKOCY *et al.*, 2006) e conseqüentemente em biomassa animal. Neste sentido, e visando melhorar o aproveitamento dos nutrientes incluídos no sistema produtivo bem como diminuir as perdas para o meio externo, existe a possibilidade de integrar sistemas de aquicultura com a produção de plantas, conhecido como aquaponia (DIVER, 2006). A produção integrada de alimentos em sistemas aquapônicos é exatamente o rumo que o mercado está tomando, no qual os novos consumidores exigem alimentos seguros, produzidos de maneira ambientalmente responsável.

Existe a possibilidade de realizar a integração de sistemas de bioflocos com aquaponia. De acordo com PINHO *et al.* (2017), um sistema de aquaponia utilizando a tecnologia de bioflocos, em comparação com um sistema de aquaponia em água clara, produziu plantas visualmente mais saudáveis e melhorou a produtividade dos peixes e das alfaces. Integrar o sistema de produção que utiliza bioflocos com um sistema de aquaponia pode potencializar o emprego de insumos inseridos no sistema, reduzir custos e produzir culturas rentáveis de maneira sustentável. No entanto, algumas atenções devem ser dadas, por exemplo, aos sólidos suspensos presentes no sistema, que poderiam afetar as raízes das plantas (RAKOCY *et al.* 2006).

Águas salobras e salinas não apresentam condições para consumo humano e sua utilização na agricultura é limitada pela grande quantidade de sais, e seu uso pode acarretar distúrbios fisiológicos nas plantas e no próprio ecossistema em razão da deposição de resíduos salinos no solo (AYERS e WESTCOT, 1999). Neste contexto, a cultura da alface já demonstrou tolerância à presença de sais e produtividade em soluções de cultivo hidropônicos, porém com menores taxas de crescimento (PAULUS *et al.*, 2010; RODRIGUES, 2002; SOARES, 2007). Paralelamente, existem amplas áreas aptas para cultivos aquapônicos nas cercanias de regiões estuarinas que tradicionalmente cultivaram, por exemplo, camarões marinhos (NATORI *et al.*, 2011). Assim, a possibilidade de diversificar a produção aquícola com hortaliças folhosas poderia tornar-se uma alternativa para estes produtores, gerando renda extra e maiores oportunidades de mercado.

Neste contexto, o presente estudo foi realizado com o intuito de verificar a possibilidade de utilização de efluentes oriundos do cultivo de tilápias (*Oreochromis niloticus*) em água salobra para a produção de alface em sistema de aquaponia com aplicação da tecnologia de bioflocos.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Aquicultura (LAQ) do Centro de Educação Superior da Região Sul (CERES), pertencente à Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) e localizado no município de Laguna. O sistema de aquaponia foi construído dentro de uma estufa agrícola (com 6 m de comprimento, com 3 m de largura e 3 m de pé direito) toda revestida com filme plástico de 150  $\mu\text{m}$  e equipada com uma cobertura extra de sombrite para redução de 50% da intensidade luminosa. O cultivo experimental aquapônico teve duração de 28 dias.

O dispositivo experimental aquapônico foi composto de dois sistemas independentes comparando água salobra com água doce. Em ambos os tratamentos, utilizaram-se os mesmos dispositivos e equipamentos. Assim, cada sistema experimental continha: um tanque circular para cultivo dos peixes em BFT (500 L), denominado macrocosmo, dois sedimentadores para separação física dos sólidos por gravidade (100 L e 10 L, instalados em série), um biofiltro construído com caixa plástica retangular de 60 L (com 0,7 m de comprimento, 0,4 m de largura e 0,3 m de altura), um tanque circular utilizado como reservatório (150 L) e nove caixas plásticas retangulares utilizadas para formar a bancada hidropônica (com 1,0 m de comprimento, 0,5 m de largura e 0,3 m de altura).

A aeração em cada macrocosmo foi fornecida utilizando mangueira microperfurada (tipo "Aero-Tube<sup>®</sup>"), em forma de círculo, com 30 cm de diâmetro, apoiada na parte central do fundo do tanque e conectada ao soprador de ar central (2 cv). Foram utilizados aquecedores com termostatos nos tanques dos peixes com o intuito de estabilizar a temperatura da água (relação aproximada de 1 Watt por litro). O fluxo da água no sistema era por gravidade do tanque de cultivo de peixes para o primeiro dispositivo de tratamento de água, um sedimentador de 100 L, utilizando taxa de aplicação superficial (TAS) de  $1,82 \text{ m}^3 (\text{m}^2 \text{ h})^{-1}$  e tubulação de PVC com  $\varnothing$  50 mm. Em seguida, esta água tratada passava para o segundo sedimentador, com TAS de

$6,25 \text{ m}^3 (\text{m}^2 \text{ h})^{-1}$  e tubulação de PVC  $\varnothing$  32 mm, com tela (sombrite de 50% e  $0,25 \text{ m}^2$  de área) em seu interior para auxiliar na retenção de sólidos suspensos que por ventura ainda não tivessem sedimentado.

Nesta primeira etapa ocorria o depósito de sólidos sedimentáveis (SSed) no fundo dos sedimentadores, formando o chamado lodo. Este material era removido e redirecionado manualmente ao seu respectivo tanque de cultivo de peixes três vezes ao dia com o auxílio de um dreno (flange 25 mm localizada no fundo dos sedimentadores) e um balde de 20 L. No primeiro sedimentador havia também um sistema de *air lift* com uma tubulação PVC de  $\varnothing$  20 mm, que igualmente devolvia constantemente os sólidos para o tanque de cultivo dos peixes. Na sequência, a água passava por um filtro mecânico do tipo *bag* (para reter os sólidos suspensos que por ventura se desprendessem do sedimentador), e depois fluía para o biofiltro através de tubulação de PVC com  $\varnothing$  32 mm.

A limpeza do *bag* era feita duas vezes ao dia, juntamente com a tela instalada no segundo sedimentador, durante todo o período experimental. Foi necessário realizar o sifonamento no fundo das bancadas hidropônicas no décimo quarto dia para remoção dos sólidos sedimentáveis, os quais também eram devolvidos ao tanque de cultivo.

O substrato (também chamado de material suporte) utilizado no biofiltro para formação do biofilme microbiano nitrificante era composto por tampas de garrafa plástica tipo "PET" (3 kg por sistema), que auxiliavam na fixação e colonização microbiana. A aeração era suprida com a utilização da mangueira microperfurada (tipo "Aero-Tube<sup>®</sup>") com 56 cm de comprimento. Após a passagem pelo biofiltro para que ocorresse a nitrificação bacteriana, a água vertia para o reservatório (150 L).

Neste último tanque foi instalada uma bomba submersa com vazão  $3.500 \text{ L h}^{-1}$ , que recalrava a água já tratada (efluente final do sistema de recirculação) para as bancadas hidropônicas por tubulação de PVC de  $\varnothing$  20 mm. Para controlar a vazão de saída da bomba de recalque foi construído um "by-pass", cuja função era aferir a vazão do sistema de recirculação, com uma conexão de PVC tipo T 90° de  $\varnothing$  25 mm seguida de uma tubulação de PVC de  $\varnothing$  25 mm com registro de mesmo diâmetro.

Cada bandeja de cultivo hidropônico possuía volume aproximado de 72 L e continha entrada e saída individuais da água controladas por um registro de PVC de  $\varnothing$  20 mm. Era mantida vazão

de água de 66 L h<sup>-1</sup>, continuamente, com tempo de detenção hidráulica (TDH) de 1,08 h. As saídas de água das caixas de cultivos hidropônicos eram conectadas a uma tubulação de PVC de  $\varnothing$  50 mm que retornava a água para o tanque de cultivo dos peixes, com vazão aproximada de recirculação total de 600 L h<sup>-1</sup>. Durante o período experimental não houve renovação de água, somente reposição (aproximadamente 1% do total de água do sistema por dia) das quantidades perdidas pela evapotranspiração do sistema e plantas. Na ilustração a seguir (Figura 1) está esquematizado o funcionamento do sistema.

Com o objetivo de acelerar a formação do biofilme nitrificante no biofiltro, o sistema ficou em funcionamento durante 30 dias antes de iniciar o experimento (sem a presença de peixes ou plantas), a fim de possibilitar a maturação e colonização adequadas dos filtros biológicos pelas bactérias nitrificantes, seguindo recomendações de EBELING *et al.* (2006) e TIMMONS e EBELING (2010). Dois dias antes de iniciar o experimento, cada sistema experimental foi inoculado com 500 L de água de um cultivo superintensivo de tilápia em sistema de bioflocos existentes no LAQ/UEDESC, com as seguintes características qualitativas da água: SSed (27 mL L<sup>-1</sup>), amônia total (1,26 mg L<sup>-1</sup>), nitrito (0,53 mg L<sup>-1</sup>), ortofosfato (10,85 mg L<sup>-1</sup>) e alcalinidade (16,00 mg L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>). Também foram adicionados em cada sistema 10 g de cal virgem (CaO) para ajuste de pH e alcalinidade.

Para manutenção do sistema de bioflocos foi utilizada metodologia adaptada de EMERENCIANO *et al.* (2013), que constava de uma constante movimentação da água e relação carbono:nitrogênio (C:N) de 14:1, obtida adicionando 17 g d<sup>-1</sup> de melão em pó, diariamente, como fonte extra de carbono.

A salinidade foi estimada pelo quadrado de Pearson, e seu ajuste final, realizado com auxílio de refratômetro. Com o volume total do sistema de 1425 L foi necessária a substituição de 110 L de água salgada (38 ppt) por água doce (0 ppt). Caracterizou-se portanto um cultivo em água salobra (3 ppt) e um cultivo controle em água doce (0 ppt).

O cultivo das plantas foi realizado em triplicata, com três variedades de alface (*Lactuca sativa*): alface-roxa, alface-lisa e alface-crespa, totalizando, portanto, seis tratamentos: DOCE-ROXA; SAL-ROXA; DOCE-LISA; SAL-LISA; DOCE-CRESPA; SAL-CRESPA.

As mudas da alface-roxa (peso médio inicial 0,82

g e altura média inicial 6,40 cm), da alface-lisa (peso médio inicial 1,67 g e altura média inicial 8,90 cm) e da alface-crespa (peso médio inicial 0,72 g e altura média inicial 7,69 cm) foram distribuídas em bandejas de isopor (0,5 m x 1,0 m) na densidade aproximada de 20 plantas por metro quadrado, ou seja, nove plantas de cada variedade por bandeja. Estas plantas estavam dispostas em vasos perfurados com orifícios  $\varnothing$  de 3,2 mm e preenchidos com substrato de brita para fixação das raízes. As plantas foram constantemente aeradas com uso de pedras porosas (20 mm de diâmetro e 30 mm de altura) dispostas no centro de cada caixa, conectadas a um soprador de ar central (2 cv) que fornecia ar para todo o laboratório.

Ao final do ciclo experimental (28 dias), todas as plantas foram secas em estufa à 55°C por 72 h para obtenção do peso seco. Os parâmetros fitotécnicos finais avaliados foram: altura das folhas e raízes (cm), peso úmido das folhas e raízes (g), peso seco das folhas e raízes (g), número de folhas por planta, produtividade (kg m<sup>-2</sup>) e taxa de crescimento específico (TCE) de acordo com a equação:  $TCE = (\ln F_f - \ln F_i / t) \times 100$ , em que  $F_f$  é o peso úmido final das folhas (g),  $F_i$  é o peso úmido inicial das folhas (g),  $t$  é o tempo (dias) e TCE é expresso em % d<sup>-1</sup>.

O Índice de Qualidade da Planta (IQP) foi avaliado por meio de pontuações atribuídas aos aspectos visuais das folhas, de acordo com metodologia proposta por PINHO *et al.* (2016). Os parâmetros visuais analisados foram relativos à presença de anomalias na superfície foliar, como coloração anormal (p. ex.: amarelada) e/ou defeitos físicos (p. ex.: rugosidades e queimaduras). As notas foram denominadas de A até D, representando: A) Ótima, 5% ou menos da superfície foliar apresentando anormalidades; B) Boa, de 6 até 33% de anomalias; C) Regular, de 34 até 66% de anomalias; D) Ruim, de 67 até 100% da superfície foliar da planta apresentando anomalias. Assim, as plantas visualmente mais saudáveis receberam nota A. A avaliação foi feita por um único avaliador treinado, buscando evitar desvios de interpretação.

Em relação ao cultivo das tilápias (*Oreochromis niloticus*), as mesmas foram marcadas individualmente (alfinete com miçangas coloridas preso ao pedúnculo caudal), sendo estocados 45 indivíduos em cada tanque de cultivo (macrocosmo) com peso médio de 67 g, o que totalizou uma biomassa de 3,05 kg por tanque (equivalente a 6,1 kg m<sup>-3</sup>).

Os animais foram alimentados com ração comercial com 32% de proteína bruta, três vezes ao

dia (09h30min, 13h30min e 17h00min), na proporção de 2,7% da biomassa inicial, o que totalizou uma oferta diária de 81 g de ração. Com esta massa, gerou-se uma relação de 20 g de ração oferecida por dia para cada metro quadrado de planta (ou 1 g de ração por dia por hortaliça folhosa).

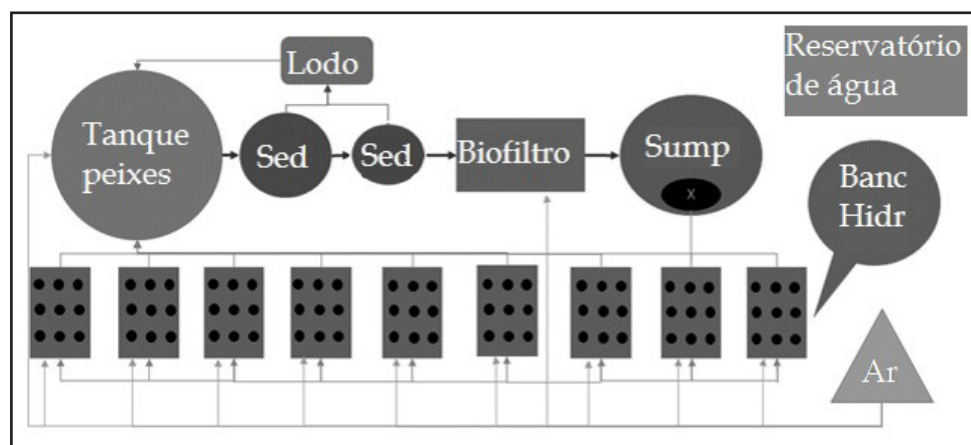
Ao final do período experimental foram avaliados os seguintes parâmetros zootécnicos: peso médio final (g), biomassa final (kg), comprimentos total e padrão (cm), taxa de crescimento específico (TCE), conversão alimentar CA (consumo total de ração por ganho de biomassa), índice hepatossomático (IHS = peso do fígado em relação ao peso total) (%), rendimento de carcaça (%) e sobrevivência (%).

Em relação à qualidade de água, os parâmetros

monitorados, bem como local, frequência e método de análise estão apresentados na Tabela 1.

Realizaram-se análises estatísticas do desempenho das culturas de alface e dos peixes considerando as premissas de normalidade (teste de Kolmogorov-Smirnov) e homogeneidade de variâncias (teste de Levene) (SOKAL e ROHLF, 1995). Foi realizada a análise de variância (ANOVA duas vias) e diferenças significativas entre as médias dos tratamentos foram detectadas por meio do teste de Tukey (SOKAL e ROHLF, 1995). Todos os dados foram analisados a 5% de nível de significância.

Este projeto está devidamente regulamentado pelo Comitê de Ética em Experimentação Animal da UDESC sob o número de processo 1.45.14.



**Figura 1.** Esquemática do funcionamento do sistema aquapônico.

**Tabela 1.** Parâmetros de qualidade de água monitorados durante o período experimental.

Parâmetro	Local	Frequência	Metodologia (unidade)
Sólidos sedimentáveis (SSed)	Macrocosmos	1vez/dia	Cone Imhoff (mL L <sup>-1</sup> )
pH	Macrocosmos e tratamentos	1vez/dia	Peagâmetro microprocessado AT355 (Alfakit, Florianópolis, SC, Brasil)
Temperatura água	Macrocosmos e tratamentos	1vez/dia	Oxímetro AT155 (Alfakit, Florianópolis, SC, Brasil) (°C)
Oxigênio dissolvido (OD)	Macrocosmos e tratamentos	1vez/dia	Oxímetro AT155 (Alfakit, Florianópolis, SC, Brasil) (mg L <sup>-1</sup> )
Salinidade	Macrocosmos e tratamentos	1vez/dia	Refratômetro KASVI (ppt)
Amônia (N-Amon)	Macrocosmos	2vezes/semana	Fotocolorímetro AT 101 (Alfakit, Florianópolis, SC, Brasil) (mg L <sup>-1</sup> )

continua...

...continuação Tabela 1

<b>Nitrato (N-NO<sub>3</sub>)</b>	Macrocosmos	2vezes/semana	Fotocolorímetro AT 101 (Alfakit, Florianópolis, SC, Brasil) (mg L <sup>-1</sup> )
<b>Nitrato (N-NO<sub>2</sub>)</b>	Macrocosmos	2vezes/semana	Fotocolorímetro AT 101 (Alfakit, Florianópolis, SC, Brasil) (mg L <sup>-1</sup> )
<b>Ortofosfato (PO<sub>4</sub>)</b>	Macrocosmos	2vezes/semana	Fotocolorímetro AT 101 (Alfakit, Florianópolis, SC, Brasil) (mg L <sup>-1</sup> )
<b>Cálcio (Ca)</b>	Macrocosmos	1vez/semana	Fotocolorímetro AT 101 (Alfakit, Florianópolis, SC, Brasil) (mg L <sup>-1</sup> )
<b>Ferro (Fe)</b>	Macrocosmos	1vez/semana	Fotocolorímetro AT 101 (Alfakit, Florianópolis, SC, Brasil) (mg L <sup>-1</sup> )
<b>Potássio (K)</b>	Macrocosmos	1vez/semana	Titulação (Alfakit, Florianópolis, SC, Brasil) (mg L <sup>-1</sup> )
<b>Temperatura ambiente</b>	Interno (estufa) e externo	1vez/dia	Oxímetro AT155 (Alfakit, Florianópolis, SC, Brasil) (°C)
<b>Iluminância</b>	Interno (estufa) e externo	1vez/dia	Luxímetro Digital, Mod. 1339, Homis (Lux)

## RESULTADOS

No experimento, realizado no outono no hemisfério sul, as temperaturas médias foram de 16°C ± 3,6 e 18,6°C ± 3,3, com mínimas de 8,2°C e 11,2°C e máximas de 20,9°C e 23,3°C, fora e dentro da estufa, respectivamente.

Os valores dos parâmetros de qualidade de água monitorados nos macrocosmos (tanques de cultivo de peixes) e nas bancadas hidropônicas (bandejas de cultivo das plantas) estão apresentados na Tabela 2 com uma estatística descritiva dos dados. Observou-se que os parâmetros temperatura da água, oxigênio dissolvido e pH foram semelhantes entre todos os tratamentos. A concentração média (mL L<sup>-1</sup>) de bioflocos (SSed) aumentou em ambos os macrocosmos a partir da segunda semana de cultivo.

Na Figura 2 estão apresentadas as concentrações dos parâmetros de qualidade de água coletados nos macrocosmos de ambos os sistemas ao longo do período experimental de (quatro semanas). Os valores de amônia foram mais elevados na água doce, com diminuição de suas quantidades em ambos os tratamentos ao longo do experimento. As concentrações de nitrato demonstraram evolução semelhante entre tratamentos ao longo do tempo, com redução na segunda semana de cultivo, diferentemente do nitrato, que, na segunda semana, apresentou as maiores concentrações. Os valores

de alcalinidade foram crescentes em ambos os tratamentos, sendo os mais elevados registrados no sistema de aquaponia em água salobra. Os teores de ortofosfato apresentaram redução em ambos os sistemas e as quantidades de sólidos sedimentáveis foram mais elevadas no tanque de cultivo em água doce.

Na Figura 3 estão representados os valores dos nutrientes comumente considerados limitantes em sistemas aquapônicos (ferro, potássio e cálcio), registrados durante as quatro semanas de cultivo. Houve variações em ambos os tratamentos ao longo do tempo, com concentrações mais elevadas em água salobra.

O Índice de Qualidade de Planta (IQP) (Figura 4) leva em consideração os diferentes aspectos visuais das folhas. A figura mostra que a variedade roxa de alface cultivada no sistema de água salobra foi a única que recebeu notas "A" em qualidade de plantas, ao passo que as variedades roxa e crespa cultivadas em água doce apresentaram as maiores porcentagem de notas "B". A variedade lisa em água doce ficou com a maioria das notas "C" e as variedades crespa e lisa em água salobra apresentaram mais notas "D".

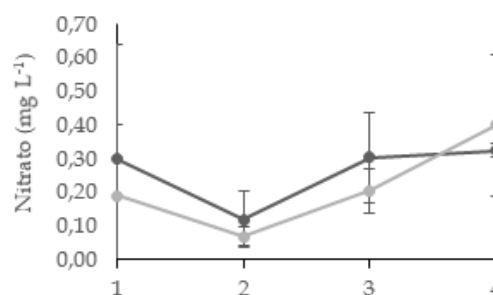
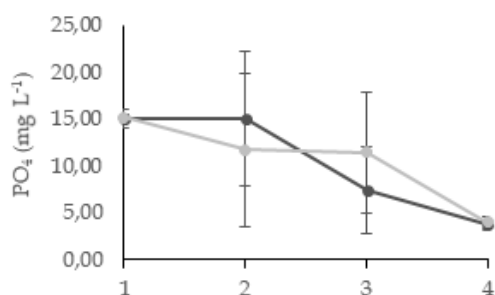
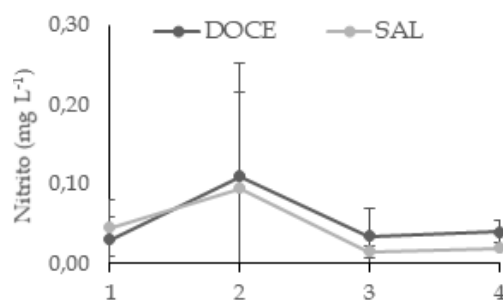
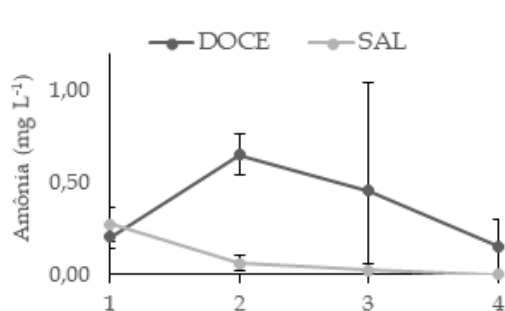
Na Tabela 3 estão apresentados os dados fitotécnicos e de desempenho produtivo das variedades de alface em ambos os tratamentos. Observa-se que as variedades cultivadas no sistema de água doce apresentaram as maiores

produtividades e taxas de crescimento específico. A Tabela 4 indica o desempenho zootécnico dos peixes em água doce e salobra. Observou-se sobrevivência

de 97,78% em ambos os tratamentos e densidade final de despesca de 8,65 kg m<sup>-3</sup> para água doce e de 8,34 kg m<sup>-3</sup> para água salobra.

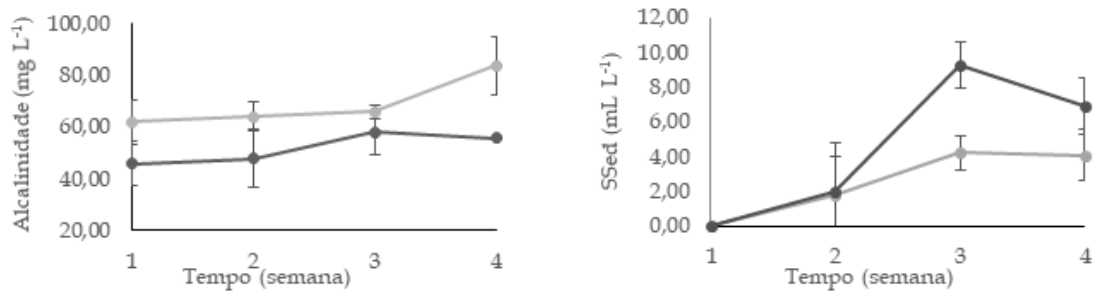
**Tabela 2.** Estatística descritiva referente aos valores médios (acima), mínimos e máximos (abaixo), dos parâmetros monitorados diariamente nas bandejas das plantas e nos macrocosmos de peixes (0 ppt e 3 ppt) durante o cultivo experimental (28 dias).

Parâmetro	Macro sal	Macro doce	Roxa doce	Roxa sal	Crespa doce	Crespa sal	Lisa doce	Lisa sal
Temperatura (°C)	22,12± 2,86	22,2± 2,05	21,53± 2,51	21,66± 3,03	21,46± 2,5	21,61± 2,87	21,16± 2,67	21,53± 2,99
	16,50- 27,60	18,50- 26,20	16,00-25,60	15,10- 27,20	16,40-25,50	15,40 - 27,10	16,20-25,50	15,10-27,10
O <sub>2</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	8,52± 0,50	8,43± 0,70	8,23± 0,60	8,44± 0,55	8,21± 0,59	8,34± 0,59	8,24± 0,53	8,42± 0,59
pH	7,50-9,73	6,83-9,86	7,17-9,46	7,40-9,71	7,04-9,75	7,11-9,59	7,02-9,45	7,25-9,76
	7,50± 0,16	7,46± 0,11	7,49± 0,18	7,55± 0,14	7,53± 0,12	7,59± 0,12	7,51± 0,14	7,57± 0,16
	7,25-7,84	7,30-7,80	6,86-7,80	7,22-7,55	7,35-7,82	7,30-7,81	7,22-7,73	7,14-7,79
Sólidos Sed. (mL L <sup>-1</sup> )	2,66± 2,28	4,91± 4,26	-	-	-	-	-	-

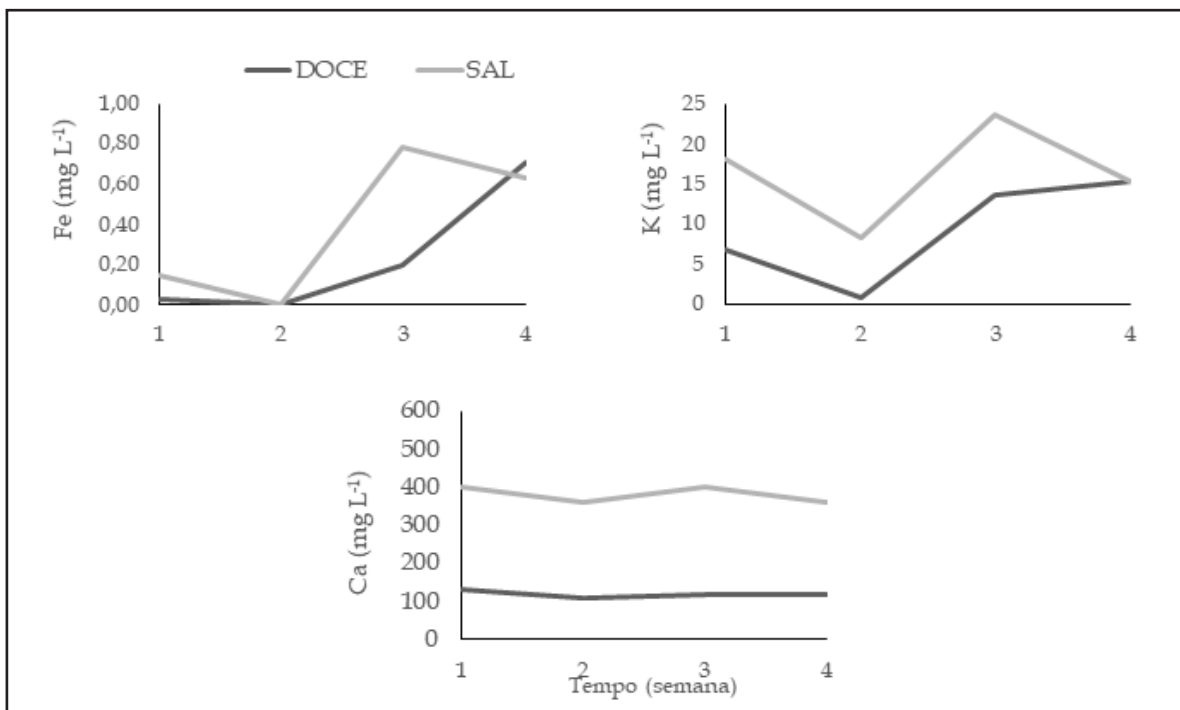


continua...

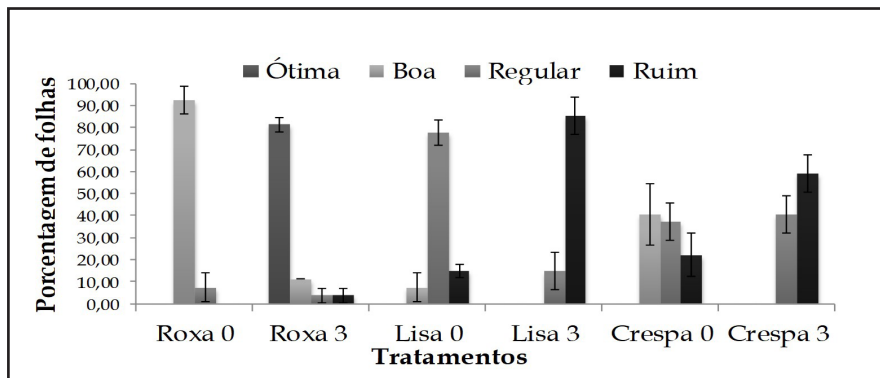
...continuação Figura 2



**Figura 2.** Variação dos valores dos parâmetros de qualidade de água dos sistemas ao longo do período experimental (quatro semanas).



**Figura 3.** Variação das concentrações dos nutrientes ferro, potássio e cálcio (considerados limitantes em sistemas aquapônicos comerciais) ao longo do período experimental de quatro semanas.



**Figura 4.** Índice de Qualidade de Planta das três variedades de alface nos cultivos em água doce (0 ppt) e água salobra (3 ppt).



**Tabela 3.** Médias  $\pm$  desvio padrão de parâmetros fitotécnicos de três variedades de alface (*Lactuca sativa*) em diferentes salinidades (0 ppt e 3 ppt) em um sistema de aquaponia

Salinid.	Alface	CF (cm)	CR (cm)	PUF (g)	PUR (g)	TCE (% ia <sup>-1</sup> )	
<b>0 ppt</b>	Roxa	20,89 $\pm$ 1,03	44,51 $\pm$ 1,68 Ab	60,29 $\pm$ 6,93	9,35 $\pm$ 1,84	15,33 $\pm$ 0,42	
	Lisa	19,39 $\pm$ 1,97	31,54 $\pm$ 2,71 Ac	56,73 $\pm$ 10,77	7,85 $\pm$ 1,12	12,56 $\pm$ 0,67	
	Crespa	23,59 $\pm$ 1,68	50,20 $\pm$ 1,59 Aa	64,54 $\pm$ 10,29	13,59 $\pm$ 3,41	16,02 $\pm$ 0,55	
<b>3 ppt</b>	Roxa	20,31 $\pm$ 0,86	39,72 $\pm$ 2,39 Ba	53,43 $\pm$ 13,21	10,39 $\pm$ 3,46	14,84 $\pm$ 0,93	
	Lisa	15,52 $\pm$ 0,44	25,70 $\pm$ 3,22 Bb	26,82 $\pm$ 6,78	8,69 $\pm$ 0,37	9,85 $\pm$ 0,88	
<b>Méd</b>							
	<b>0 ppt</b>		21,29 $\pm$ 2,31 A	42,08 $\pm$ 8,47 A	60,52 $\pm$ 8,89 A	10,26 $\pm$ 3,27	14,64 $\pm$ 1,66 A
<b>3 ppt</b>			18,98 $\pm$ 2,69 B	34,22 $\pm$ 6,91 B	39,85 $\pm$ 14,46 B	9,65 $\pm$ 1,99	12,97 $\pm$ 2,48 B
	Roxa	20,60 $\pm$ 0,91 a	42,12 $\pm$ 3,21 a	56,86 $\pm$ 10,16	9,87 $\pm$ 2,54	15,09 $\pm$ 0,70 a	
	Lisa	17,45 $\pm$ 2,48 b	28,62 $\pm$ 4,16 b	41,78 $\pm$ 18,26	8,27 $\pm$ 0,88	11,20 $\pm$ 1,64 b	
	Crespa	22,35 $\pm$ 1,79 a	43,71 $\pm$ 7,39 a	51,92 $\pm$ 16,32	11,73 $\pm$ 3,07	15,12 $\pm$ 1,20 a	
	Sal	0,002	<0,001	0,007	NS (0,57)	0,004	
<b>P</b>	Alface	<0,001	<0,001	NS (0,06)	NS (0,06)	<0,001	
	Interação	NS (0,11)	0,03	NS (0,14)	NS (0,15)	NS (0,07)	
Salinid.	PSF (g)	PSR (g)	MSF (%)	MSR (%)	PRO (kg m <sup>-2</sup> )	NFO	
<b>0 ppt</b>	Roxa	2,81 $\pm$ 0,46	0,41 $\pm$ 0,09	4,63 $\pm$ 0,24 Aa	4,42 $\pm$ 0,13	1,21 $\pm$ 0,14	20,59 $\pm$ 0,53
	Lisa	2,17 $\pm$ 0,61	0,59 $\pm$ 0,12	3,86 $\pm$ 0,30 Bb	5,95 $\pm$ 0,85	1,13 $\pm$ 0,26	19,91 $\pm$ 1,35
	Crespa	2,20 $\pm$ 0,49	0,48 $\pm$ 0,15	3,74 $\pm$ 0,14 Ab	6,01 $\pm$ 1,08	1,29 $\pm$ 0,22	18,69 $\pm$ 1,46
<b>3 ppt</b>	Roxa	1,17 $\pm$ 0,31	0,48 $\pm$ 0,01	4,03 $\pm$ 0,15 Bab	5,81 $\pm$ 0,33	1,06 $\pm$ 0,14	15,02 $\pm$ 0,32
	Lisa	2,38 $\pm$ 0,31	0,63 $\pm$ 0,23	4,51 $\pm$ 0,27 Aa	4,87 $\pm$ 0,44	0,53 $\pm$ 0,21	21,94 $\pm$ 1,68
	Crespa	1,51 $\pm$ 0,40	0,51 $\pm$ 0,04	3,75 $\pm$ 0,38 Ab	5,13 $\pm$ 1,00	0,78 $\pm$ 0,18	19,11 $\pm$ 1,64
<b>Méd</b>							
	<b>0 ppt</b>	2,46 $\pm$ 0,48 A	0,51 $\pm$ 0,17	4,08 $\pm$ 0,47	5,10 $\pm$ 0,92	1,21 $\pm$ 0,17 A	21,00 $\pm$ 4,54 A
<b>3 ppt</b>		1,62 $\pm$ 0,60 B	0,53 $\pm$ 0,08	4,10 $\pm$ 0,41	5,63 $\pm$ 0,77	0,80 $\pm$ 0,28 B	17,56 $\pm$ 3,30 B
	Roxa	2,49 $\pm$ 0,60 a	0,50 $\pm$ 0,14	4,33 $\pm$ 0,38 a	5,19 $\pm$ 0,99	1,14 $\pm$ 0,20 a	17,22 $\pm$ 1,40 a
	Lisa	1,69 $\pm$ 0,67 b	0,48 $\pm$ 0,09	4,19 $\pm$ 0,44 a	5,91 $\pm$ 0,72	0,84 $\pm$ 0,36 b	24,09 $\pm$ 3,61 b
	Crespa	1,94 $\pm$ 0,59 ab	0,57 $\pm$ 0,16	3,75 $\pm$ 0,25 b	5,00 $\pm$ 0,71	1,04 $\pm$ 0,33 ab	16,52 $\pm$ 2,04 a
	Sal	0,002	NS (0,14)	NS (0,88)	NS(0,15)	0,004	0,004
	Alface	0,03	NS (0,49)	0,006	NS(0,12)	0,04	<0,001
	Interação	NS (0,75)	NS (0,16)	0,004	NS(0,15)	NS (0,14)	NS (0,11)

CF; Comprimento da folha; CR: Comprimento da raiz; PUF: Peso úmido das folhas; PUR: Peso úmido da raiz; TCE: Taxa de crescimento específico; PSF: Peso seco das folhas; PSR: Peso seco da raiz; MSF: Matéria seca da folha; MSR: Matéria seca da raiz; PRO: Produtividade; NFO: Número de folhas. Na parte superior da tabela, letras maiúsculas indicam diferença entre a mesma alface em diferentes salinidades e letras minúsculas indicam diferença entre as três variedades de alface na mesma salinidade ( $P < 0,05$ ); na parte inferior da tabela, letras maiúsculas indicam diferença entre as médias em cultivos salobro e doce, e letras minúsculas, indicam diferença entre as variedades de alface.

**Tabela 4.** Valores de parâmetros zootécnicos (média  $\pm$  desvio padrão) de tilápias *Oreochromis niloticus* em sistemas de aquaponia em (BFT) em água doce (0 ppt) e em água salobra (3 ppt).

Parâmetro	0 ppt	3 ppt	P
Peso inicial (g)	66,07 $\pm$ 12,08	67,97 $\pm$ 10,39	NS (0,43)
Peso Final (g)	94,76 $\pm$ 21,01	98,30 $\pm$ 18,13	NS (0,39)
CT (cm)	16,62 $\pm$ 1,22	16,89 $\pm$ 0,95	NS (0,25)
CP (cm)	13,95 $\pm$ 1,05	14,09 $\pm$ 0,82	NS (0,48)
GP (g)	28,69 $\pm$ 11,50	30,33 $\pm$ 12,51	NS (0,52)
CA	2,18 $\pm$ 0,95	2,01 $\pm$ 0,60	NS (0,47)
TCE (%/dia)	1,15 $\pm$ 0,27	1,21 $\pm$ 0,25	NS (0,42)
FC	17,84 $\pm$ 2,81	17,85 $\pm$ 1,86	NS (0,55)
IHS (%)	3,07 $\pm$ 0,59 a	4,35 $\pm$ 0,60 b	0,001
RC (%)	88,50 $\pm$ 2,04	87,53 $\pm$ 1,11	NS (0,16)

CT: Comprimento Total; CP: Comprimento Padrão; GP: Ganho de Peso; CA: Conversão Alimentar; TCE: Taxa de Crescimento Específico; FC: Fator de Condição; IHS: Índice hepatossomático; RC: Rendimento de carcaça. Médias com letras diferentes diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

## DISCUSSÃO

### Qualidade de água

Os níveis de oxigênio dissolvido (OD) nos tanques de cultivo de peixes e nas caixas de cultivo de plantas apresentaram médias entre 8,20 e 8,50 mg L<sup>-1</sup>, acima, portanto, daqueles normalmente observados em cultivos aquapônicos (GRABER e JUNGE, 2009; RAKOCY, 2007; ROOSTA e HAMIDPOUR, 2011) e supriram as demandas necessárias para cultivos em sistemas de bioflocos (HARGREAVES, 2013).

O pH durante o experimento apresentou leve flutuação (7,20-7,80) com média total de 7,5 para ambos os sistemas. O recomendado para sistemas de aquaponia, segundo TYSON *et al.* (2004), é uma faixa de pH entre 6,5 e 7, o que aumenta a disponibilidade de nutrientes para as plantas e melhora suas taxas de absorção. O pH acima de 7,5 é o ideal para o desenvolvimento de peixes e bactérias, no entanto interfere diretamente na solubilidade e disponibilidade de nutrientes na água para as plantas, tais como o P, Fe, Mn, B, Cu e Zn (RESH, 2012). TYSON *et al.* (2004) evidenciaram que a produtividade (kg m<sup>-2</sup>) de pepinos (*Cucumis sativa*)

não diferiu entre cultivos com pH da água de 6, 7 e 8, porém as taxas de nitrificação e concentrações de nitratos NO<sub>2</sub>-N foram maiores nos tratamentos com pH mais alcalino.

A temperatura da água, com média de 22°C em ambos os tratamentos, ficou abaixo do ideal para o cultivo de tilápias, que varia entre 24 e 30°C (TIMMONS e EBELING, 2010), e não influenciou negativamente o cultivo das hortaliças, para as quais 23°C é a temperatura ideal para seu crescimento (RAKOCY *et al.*, 2006). A baixa temperatura da água do cultivo está relacionada às baixas temperaturas do ambiente registradas, ou seja, com mínimas de 8,2 e 11,2°C para o ambiente externo e o interno da estufa, respectivamente. Mesmo sob temperaturas ótimas diferentes, o cultivo integrado justifica-se pelo melhor uso dos recursos (água, ração, etc.), assim como por otimizar a mão-de-obra. O presente estudo demonstrou que, apesar de os peixes estarem relativamente fora do seu conforto térmico, o cultivo propiciou bom desempenho das plantas.

Um dos grandes desafios para a aquaponia em sistema de bioflocos pode ser a manutenção dos níveis adequados de sólidos sedimentáveis simultaneamente para os peixes (níveis mais

elevados) e para plantas (níveis mais baixos, visando a “saúde” das raízes). As quantidades de sólidos sedimentáveis medidas nos macrocosmos foram maiores no cultivo em água doce, com média de 4,91 mL L<sup>-1</sup>, em relação à água salobra, em que a média foi 2,66 mL L<sup>-1</sup>, valores estes, bem inferiores ao recomendado para cultivo de tilápias em sistemas de biofoco, que é de 25 a 50 mL L<sup>-1</sup> (HARGREAVES, 2013). Na primeira semana de cultivo não houve incremento dos níveis de sólidos, devido ao fato de grandes quantidades de sólidos ficarem retidos nos sedimentadores e nas bandejas de cultivo de plantas. O primeiro sedimentador possuía fundo reto, o que pode ter dificultado a remoção de sólidos. A remoção de sólidos e o dimensionamento correto de um sedimentador são procedimentos cruciais para o bom funcionamento de um sistema de recirculação (TIMMONS e EBELING, 2010), pois evita o acúmulo de matéria orgânica nos filtros biológicos, de maneira a não prejudicar as taxas de remoção de nitrogênio (EDING *et al.*, 2006). Após o décimo dia de experimento, iniciou-se o processo de sifonagem do material do fundo do primeiro sedimentador com o auxílio do *air-lift*, aumentando consideravelmente o nível de biofocos presente no tanque dos peixes. Um menor tempo de uso do sedimentador, um maior escalonamento do sistema e/ou o uso de uma maior densidade de peixes poderiam ter auxiliado na manutenção de maior estabilidade dos níveis de sólidos. Neste sentido, o sedimento depositado no fundo das bandejas de cultivo de plantas e nos sedimentadores pode ter gerado condições anóxicas no sistema e, conseqüentemente, ter levado à produção de sulfetos e outros gases tóxicos, como salientado por HARGREAVES (2006).

Sabe-se que as reações que acontecem entre o sedimento e a coluna d'água retardam o crescimento de espécies aquícolas (AVNIMELECH e ZOHAR, 1986). Neste processo pode ocorrer também redução das concentrações de nitrato na água, que é utilizado pelas bactérias para oxidar a matéria orgânica no processo de desnitrificação (HARGREAVES, 2013). Para que não ocorra esse acúmulo de sólidos prejudiciais ao sistema, é imprescindível uma aeração mais eficiente na caixa das plantas e um manejo mais adequado dos sedimentadores, para que estes retenham e devolvam de maneira eficiente os sólidos aos tanques de cultivo de peixes. Ajustes nos dispositivos de tratamento podem melhorar a eficiência na remoção de sólidos, aliados à integração com outras espécies aquícolas, podem aumentar

o aproveitamento da matéria orgânica produzida, beneficiando, assim, as culturas presentes no sistema.

As máximas concentrações de amônia e nitrato registradas nas águas dos cultivos foram de 0,82 mg L<sup>-1</sup> de NH<sub>4</sub> no cultivo em água doce e 0,55 mg L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub> em água salobra, valores estes, semelhantes aos recomendados para cultivo de peixes (BOYD e TUCKER, 1992; GRABER e JUNGE, 2009). Em relação ao nitrito, as máximas concentrações, 0,21 mg L<sup>-1</sup> em água salgada e 0,52 mg L<sup>-1</sup> em água doce, foram semelhantes às observadas em outros cultivos de tilápias em biofocos (HARGREAVES, 2006; AZIM e LITTLE, 2008). A concentração de amônia foi maior na água doce em relação à salgada. Segundo DECAMP *et al.* (2003), a dinâmica dos compostos nitrogenados em sistemas de cultivo em biofocos não é afetada pela salinidade. No entanto, o oposto foi observado no presente experimento, em que ocorreram picos de nitrito em ambos os cultivos, mesmo respeitando o período de maturação dos filtros biológicos que estimulam a colonização de bactérias nitrificantes (TIMMONS e EBELING, 2010). Em cultivos em BFT, as bactérias heterotróficas fazem a primeira colonização do meio de cultivo por apresentarem crescimento acelerado, cerca de dez vezes mais rápido que bactérias nitrificantes (HARGREAVES, 2006), e, absorvendo o NH<sub>4</sub> presente na água, transformam-se em biomassa (proteína microbiana) e promovem a nutrição dos animais do cultivo (SCHNEIDER *et al.*, 2005). Os biofocos (sólidos em suspensão) podem servir, por sua vez, como substrato para colonização de bactérias quimioautotróficas (nitrificantes) (HARGREAVES, 2013). Os principais fatores que afetam o crescimento de bactérias nitrificantes em sistemas de BFT são: concentrações de nitrogênio amoniacal e nitrito, relação C:N, pH, teor de oxigênio dissolvido, alcalinidade e temperatura da água (EBELING *et al.*, 2006).

Podem ocorrer diversas interações dinâmicas entre as populações de bactérias em um sistema de biofocos que poderiam afetar um cultivo aquapônico. Analisando os parâmetros de qualidade de água do presente estudo, considerou-se a possibilidade de ter ocorrido predominância de bactérias do tipo heterotróficas, o que pode ter afetado diretamente a disponibilidade de nitratos na água e o crescimento das alfaces. Para sistemas de aquaponia é desejável a presença de colônias de bactérias nitrificantes em quantidades suficientes para disponibilizar as quantidades de nitratos necessárias para o

crescimento das plantas.

Devido à maior quantidade de carbonatos de cálcio em águas salinas, o cultivo em 3 ppt apresentou maior alcalinidade, mas, mesmo assim, ambos os níveis de 92 e 64 mg L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> para água salobra e doce, respectivamente, ficaram abaixo de outros encontrados na literatura para sistemas de cultivo aquapônicos, com média de 250 mg L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> (ROOSTA e HAMIDPOUR, 2011) e abaixo do ideal indicado para sistemas com a tecnologia de bioflocos, ou seja, níveis entre 100 e 150 mg L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> (AVNIMELECH, 2012). Mesmo a alcalinidade da água, ainda que com médias abaixo do ideal para o sistema, percebe-se que houve aumento de suas quantidades durante o cultivo. Bactérias nitrificantes consomem grandes quantidades dos sais que determinam a alcalinidade. Verifica-se que no presente cultivo não houve diminuição da alcalinidade, sugerindo a ocorrência de possíveis reações anaeróbias no sistema, além de uma dominância de bactérias heterotróficas sobre bactérias nitrificantes, que utilizam menos quantidades de carbonatos e bicarbonatos para suas reações (EBELING *et al.*, 2006).

No presente trabalho, os teores de ortofosfato presentes na água variaram bastante durante o cultivo, com tendência de redução em ambos os tratamentos. Esta redução pode estar relacionada a uma possível absorção deste composto pelas plantas ou precipitação deste elemento associado ao cálcio na forma de Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> (ADLER *et al.*, 1996).

Na literatura consultada, encontram-se informações de registros de níveis baixos de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), ferro (Fe), manganês (Mn) e enxofre (S) em sistemas aquapônicos quando não ocorre a suplementação destes elementos (ADLER *et al.*, 1996). As concentrações de Fe no sistema foram < 1,0 mg L<sup>-1</sup>, que, segundo RAKOCY (2006), devem estar acima de 2,0 mg L<sup>-1</sup>. O Fe é um elemento que, em soluções aquosas com pH > 6,5, se precipita muito fácil na forma de hidróxido de ferro (ALT, 1980), sinalizando um possível destino deste mineral no presente cultivo, em que os níveis de pH apresentaram média de 7,5. As quantidades de K demonstraram variação durante o cultivo, demonstrando uma possível absorção pelas plantas nas semanas 2 e 4. Os níveis de Ca apresentaram pequena flutuação, o que pode indicar baixa absorção deste composto pelas plantas. Normalmente é realizada a suplementação semanal de bases KOH e CaOH em sistemas comerciais de aquaponia, a

fim de manter os nutrientes em níveis ótimos para as plantas e auxiliar na elevação do pH (RAKOCY *et al.*, 2006). Os nutrientes limitantes apareceram em maiores concentrações no cultivo com água salobra em relação ao cultivo em água doce. Estudos alegam que quantidades de Na<sup>+</sup> dissolvidas na água podem interferir na absorção de potássio e cálcio (DOUGLAS, 1985) e, assim, constituir um problema para cultivos em sistema de aquaponia em água salobra.

#### Peixes

O único dado zootécnico dos peixes que apresentou diferença significativa entre os tratamentos foi o índice hepatossomático (IHS), o qual foi maior em água salobra. GUÜNER *et al.* (2006) observaram que a espécie *Oreochromis niloticus* cultivada em águas salobras (5 ppt) apresentaram melhores condições de iso-osmose com o meio (relação de sais e íons do sangue com a água), economizando energia para realizar osmorregulação e, possivelmente, acarretando maior acúmulo de nutrientes (p. ex.: lipídeos) no fígado.

Não existiu diferença do ganho de peso (GP) entre os tratamentos, em que as médias foram 28,69 g e 30,33 g para os cultivos em água doce e salobra, respectivamente. A conversão alimentar (CA) foi de 2,18 em água doce e 2,01 em água salobra, semelhante à registrada por HU *et al.* (2015): CA de 2,00 e superior às observadas em outros trabalhos realizados com aquaponia, com CAs de 1,6 (MOYA *et al.*, 2014) e 1,3 (AL-HAFEDH *et al.*, 2008), mas em cultivos mais longos. Comparando os dados do presente trabalho aos de outros com cultivo de tilápia em sistemas de bioflocos, verifica-se que foram inferiores aos obtidos por AZIM e LITTLE (2008), com média de CA de 3,51, mas superiores aos dos trabalhos de HARGREAVES (2006), com CA de 1,83, e de RAKOCY (2002), com CA de 1,9. Certamente, a conversão alimentar foi afetada negativamente pela baixa temperatura média da água de cultivo (22°C), bem menor que a temperatura ideal de 28°C para a espécie (TIMMONS e EBELING, 2010).

#### Plantas

As taxas de crescimento específico (TCE) e a produtividade total (PRO) apresentaram diferença estatística entre os tratamentos (p<0,05). Comparando as médias totais registradas para as plantas nos

cultivos em água doce e salobra, percebe-se que as taxas de crescimento específico e a produtividade foram maiores em água doce em comparação àquelas em água salobra, com TCE de 14,64% d<sup>-1</sup> contra 12,97% d<sup>-1</sup> e PRO de 1,21 kg m<sup>-2</sup> contra 0,8 kg m<sup>-2</sup>, respectivamente. As TCE em ambos os cultivos apresentaram valores acima do constatado por DEDIU *et al.* (2012), que, em um cultivo experimental de 21 dias, obteve para alface TCE médio de 10% d<sup>-1</sup>. Em relação à produtividade, comparando com PINHO *et al.* (2017), que cultivaram três variedades de alface, em um sistema de aquaponia em água clara comparando com um sistema de BFT durante o verão (21 dias), obtiveram valores de produtividade média de 0,42; 1,73; e 1,20 kg m<sup>-2</sup> para as variedades roxa, lisa e crespa, respectivamente, diferentemente do registrado no presente estudo, em que as maiores produtividades foram apresentadas pela variedade roxa (1,14 kg m<sup>-2</sup>), seguida da crespa (1,04 kg m<sup>-2</sup>) e, por último, a lisa (0,84 kg m<sup>-2</sup>), mas em cultivo de 28 dias. A variedade roxa apresentou bom crescimento em temperaturas relativamente baixas, diferindo do baixo crescimento obtido por PINHO *et al.* (2017) para a mesma variedade durante o verão. Já no outono, o desempenho produtivo da variedade lisa foi pior que aquele obtido no verão, relatado por PINHO *et al.* (2017).

Em relação à salinidade, pode-se dizer que afetou negativamente o crescimento e a produtividade das variedades de alface. Segundo AYERS e WESTCOT (1999), elevadas quantidades de sais na água podem provocar diminuição do potencial osmótico da solução, seca fisiológica, acúmulo de íons tóxicos e desequilíbrio iônico. SOARES (2007) diz que plantas em condições salinas podem apresentar sintomas de crescimento lento, murchamento temporário e folhas queimadas e pequenas (observados no presente trabalho), o que corrobora com os resultados de qualidade de planta obtidos neste experimento para as variedades crespa e lisa.

No entanto, alfases já demonstraram tolerância à salinidade em diversos cultivos hidropônicos (SOARES, 2007; PAULUS *et al.*, 2010). É necessário ressaltar que a variedade roxa apresentou qualidade de planta (IQP) superior em relação a todos os tratamentos, com folhas mais íntegras e coloração mais intensa, características também verificadas por RODRIGUES (2002), que constatou o efeito benéfico dos sais, demonstrado pela maior firmeza e rigidez apresentada pela alface roxa. Já foi evidenciado algum tipo de mecanismo de adaptação da variedade

roxa de alface a condições salinas por PAULUS *et al.* (2010), que submetem as variedades crespa e roxa ao cultivo salino em hidroponia, tendo a roxa apresentado maiores teores de nitrato, clorofila e prolina em relação à variedade crespa. No presente trabalho, a variedade crespa, mesmo com índice baixo de qualidade de planta, assim como a roxa apresentaram bom desempenho produtivo e tolerância à salinidade, corroborando os resultados do trabalho de PAULUS *et al.* (2010), os quais demonstraram a viabilidade produtiva das culturas em hidroponia.

O fator comprimento das raízes (CR) demonstrou haver interação entre a salinidade e as plantas, com diferença entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ). Ao contrário do observado por SOARES (2007), neste trabalho, a salinidade apresentou maior efeito negativo sobre as raízes do que sobre a parte aérea da hortaliça. O comprimento menor das raízes no cultivo em água salobra pode estar relacionado ao fato de as plantas estarem em condição de seca fisiológica, o que reduz a absorção de água pelas raízes (SOARES, 2007).

Vários fatores podem ter influenciado negativamente o crescimento das plantas em geral: pH > 7,5 (TYSON *et al.*, 2004), sólidos sedimentáveis na bancada hidropônica, matéria orgânica sobre as raízes, baixas nitrificação e disponibilidade de nutrientes (RAKOCY, 2007).

A relação utilizada de arraçamento por metro quadrado de cultivo de planta ao dia, ou seja, 20 g (m<sup>2</sup> d)<sup>-1</sup>, esteve abaixo do recomendado por RAKOCY *et al.* (2011), no entanto é semelhante à de alguns manejos alimentares adotados em empreendimentos aquapônicos comerciais ao redor do mundo. As alfases, mesmo em cultivo em água doce aparentaram ter deficiências nutricionais. De acordo com RAKOCY (2007), as quantidades de nitrogênio inseridas no sistema pelo arraçamento devem ser superiores às requeridas pelas plantas, a fim de proporcionar uma melhor absorção de outros nutrientes essenciais. LENNARD (2012) utilizou uma relação de 16 g (m<sup>2</sup> d)<sup>-1</sup>, com 25 plantas m<sup>-2</sup> em um cultivo de tilápias e alfases, e obteve melhores resultados de qualidade de plantas somente em cultivos com a suplementação de nutrientes (K, Ca e Fe). Estas constatações corroboram as observações feitas no presente trabalho, quais sejam, a oferta de ração sem a suplementação de nutrientes resultou em plantas com baixa qualidade visual e menor produtividade, quando comparadas às de outros trabalhos (DEDIU *et al.*, 2012; MOYA *et al.*, 2014).

## CONCLUSÃO

O rendimento dos cultivos de alface em água doce foi superior ao observado em água salobra. As variedades crespa e roxa demonstraram ter tolerância à salinidade, o que não ocorreu com a variedade lisa. O maior índice de qualidade de planta foi apresentado pela variedade roxa cultivada em água salobra, sugerindo que esta variedade possivelmente apresenta mecanismos de osmorregulação quando submetida a condições salinas. Sendo assim, foi possível integrar a produção de alface roxa em sistemas de aquaponia à de tilápias em BFT e em salinidade 3 ppt.

Entretanto maiores estudos devem ser realizados com sistemas de aquaponia que utilizem apliquem a tecnologia de bioflocos, com o objetivo de maximizar a utilização de insumos inseridos nos sistemas e obter boas produtividades com os menores custos possíveis, ao mesmo tempo em que se acompanham o desenvolvimento de bactérias heterotróficas e nitrificantes em conjunto, e relatar os padrões de colonização bacteriana, nitrificação e crescimento das culturas. Por fim, maiores estudos devem ser realizados a fim de verificar o desempenho de outras espécies e variedades de plantas sob condições de cultivo em água salgada em sistemas de aquaponia, assim como aprofundar o conhecimento sobre os mecanismos de osmorregulação presentes na variedade roxa, que pode tornar-se uma alternativa de produção e integração a sistemas de cultivo de aquaponia em água salobra.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Santa Catarina (FAPESC, projetos 2013TR3406 e 2015TR453), à Nutricol Alimentos, Piscicultura Panamá, LABGAIA-UDESC, LCM-UFSC e a toda a equipe do LAQ-UDESC.

## REFERÊNCIAS

- ADLER, P.R.; TAKEDA, F.; GLENN, E.M.; SUMMERFELT, S.T. 1996 Utilizing byproducts to enhance aquaculture sustainability. *World Aquaculture*, 27(2): 24-26.
- ALT, D. 1980 Changes in the composition of the nutrient solution during plant growth— an important factor in soilless culture. Fifth International Congress on Soilless Culture. *Proceedings of a Conference, Wageningen, The Netherland*, p. 97-109.
- AL-HAFEDH, Y.S.; ALAM, A.; BELTAGI, M.S. 2008 Food production and water conservation in a recirculating aquaponic system in Saudi Arabia at different ratios of fish feed to plants. *Journal of the world aquaculture society*, 39(4): 510-520.
- AVNIMELECH, Y.; ZOHAR, G. 1986 The effect of local anaerobic conditions on growth retardation in aquaculture systems. *Aquaculture*, 58(3-4): 167-174.
- AVNIMELECH, Y. 2012 *Biofloc Technology - A Practical Guide Book*. 2ª ed. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, United States. Disponível em: <<https://cals.arizona.edu/azaqua/ista/ISTA9/PDF's/Yoram-BFT%20Brief%20Summary%205.3.11.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2016.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. 1999 *A qualidade da água na agricultura*. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 153p.
- AZIM, M.E.; LITTLE, D.C. 2008 The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 283(1): 29-35.
- BARBIERI, E.; MARQUEZ, H.L.A.; CAMPOLIM, M.B.; SALVARANI, P.I. 2014 Avaliação dos Impactos ambientais e socioeconômicos da aquicultura na região estuarina-lagunar de Cananéia, São Paulo, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 14(3): 385-398.
- BOYD, C.E. 2003 Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level. *Aquaculture*, 226(1): 101-112.
- BOYD, C.E.; TUCKER, C.S. 1992 *Water quality in ponds for aquaculture*. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, 188 p.
- COLLAÇO, F.L.; SANTOR, S.M.; BARBIERI, E. 2015 Cultivo de Bijupirá (*Rachycentron canadum*) em Cananéia, SP, Brasil. Avaliação da viabilidade

- utilizando geoprocessamento. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 15(2): 277-289.
- DECAMP, O.; CODY, J.; CONQUEST, L.; DELANOY, G.; TACON, A. G. 2003 Effect of salinity on natural community and production of *Litopenaeus vannamei* (Boone), within experimental zero-water exchange culture systems. *Aquaculture Research*, 34(4): 345-355.
- DEDIU, L.; CRISTEA, V.; XIAOSHUAN, Z. 2012 Waste production and valorization in an integrated aquaponic system with bester and lettuce. *African Journal of Biotechnology*, 11(9): 2349-2358.
- DIVER, S. *Aquaponics - Integration of Hydroponics with Aquaculture*. 2006 ATTRA National Sustainable Agriculture Information Service. National Center for Appropriate Technology, 28p. Disponível em: <<https://attra.ncat.org/attra-pub/download.php?id=56>>. Acesso em: 18 nov. 2016.
- DOUGLAS, J.S. 1985 *Advanced guide to hydroponics*. Pelham Books. 368p.
- EBELING, J.M.; TIMMONS, M.B.; BISOGNI, J.J. 2006 Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*, 257(1): 346-358.
- EDING, E.H.; KAMSTRA, A.; VERRETH, J.A.J.; HUISMAN, E. A.; KLAPWIJK, A. 2006 Design and operation of nitrifying trickling filters in recirculating aquaculture: a review. *Aquacultural Engineering*, 34(3): 234-260.
- EMERENCIANO, M.G.C.; GAXIOLA, G.; CUZON, G. 2013 Biofloc Technology (BFT): A Review for Aquaculture Application and Animal Food Industry. In: *Biomass Now - Cultivation and Utilization, InTech*. p. 301-328. Disponível em: <[http://cdn.intechopen.com/pdfs/44409/intech-biofloc\\_technology\\_bft\\_a\\_review\\_for\\_aquaculture\\_application\\_and\\_animal\\_food\\_industry.pdf](http://cdn.intechopen.com/pdfs/44409/intech-biofloc_technology_bft_a_review_for_aquaculture_application_and_animal_food_industry.pdf)>. Acesso em: 18 dez. 2016.
- GRABER, A.; JUNGE, R. 2009 Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *Desalination*, 246(1): 147-156.
- GÜNER, Y.; ÖZDEN, O.; ÇAĞIRGAN, H.; ALTUNOK, M.; KIZAK, V. 2006 Effects of salinity on the osmoregulatory functions of the gills in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*. 29(6): 1259-1266.
- HAMLIN, H.J. 2006 Nitrate toxicity in Siberian sturgeon (*Acipenser baeri*). *Aquaculture*, 253(1): 688-693.
- HARGREAVES, J.A. 2006 Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. *Aquacultural Engineering*, 34(3): 344-363.
- HARGREAVES, J.A. 2013 *Biofloc production systems for aquaculture*. Southern Regional Aquaculture Center, 11p. Disponível em: <<http://2kjj1d3odhc3296co7jhe511.wpengine.netdna-cdn.com/files/2013/09/SRAC-Publication-No.-4503-Biofloc-Production-Systems-for-Aquaculture.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2016.
- HU, Z.; LEE, J.W.; CHANDRAN, K.; KIM, S.; BROTTTO, A.C.; KHANAL, S.K. 2015 Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. *Bioresource Technology*, 188(1): 92-98.
- HUTCHINSON, W.; JEFFREY, M.; O'SULLIVAN, D.; CASAMENT, D.; CLARKE, S. 2004 *Recirculating Aquaculture Systems: Minimum Standards for Design, Construction and Management*. Inland Aquaculture Association of South Australia Inc. 66p. Disponível em: <[www.epa.sa.gov.au/files/477398\\_inland\\_aquaculture.pdf](http://www.epa.sa.gov.au/files/477398_inland_aquaculture.pdf)>. Acesso em 12 nov. 2016.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção da Pecuária Municipal. Brasil. 2015, vol nº 43. Disponível em: [http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm\\_2015\\_v43\\_br.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2015_v43_br.pdf) Acesso em: 05 mar. 2017.
- JAAP, V.R. 1995 The potential for integrated biological treatment systems in recirculating fish culture - A review. *Aquaculture*, 139(3-4): 181-201.
- LENNARD, W. 2012 *Aquaponic System Design*

- Parameters: Fish to Plant Ratios (Feeding Rate Ratios). *Aquaponics solution*. Disponível em: <<https://www.aquaponic.com.au/Fish%20to%20plant%20ratios.pdf>>. Acesso em: 18 dez. 2016.
- MOYA, E.A.E.; SAHAGÚN, C.A.A.; CARILLO, J.M.M.; ALPUCHE, P.J.A.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, C.A.; MARTÍNEZ-YÁÑEZ, R. 2014 Herbaceous plants as part of biological filter for aquaponics system. *Aquaculture Research*, 47(6): 1716-1726.
- NATORI, M. M.; SUSSEL, F. R.; SANTOS, E. D.; PREVIERO, T. D. C.; VIEGAS, E. M. M.; GAMEIRO, A. H. 2011 Desenvolvimento da carcinicultura marinha no Brasil e no mundo: avanços tecnológicos e desafios. *Informações Econômicas*, 41(2): 61-73.
- PANTANELLA, E. 2008 Pond aquaponics: new pathways to sustainable integrated aquaculture and agriculture. *Aquaculture News*. [online] URL: <[http://www-aqua.stir.ac.uk/public/aquanews/downloads/issue\\_34/34p10\\_11.pdf](http://www-aqua.stir.ac.uk/public/aquanews/downloads/issue_34/34p10_11.pdf)>. Acesso em 13 out. 2016.
- PAULUS, D.; DOURADO NETO, D.; FRIZZONE, J.A.; SOARES, T.M. 2010 Produção e indicadores fisiológicos de alface sob hidroponia com água salina. *Horticultura Brasileira*, 28(1): 29-35.
- PINHO, S.M.; MOLINARI, D.; MELLO, G. L.; FITZSIMMONS, K. M.; EMERENCIANO, M. G. C. 2017 Effluent from a biofloc technology (BFT) tilapia culture on the aquaponics production of different lettuce varieties. *Ecological Engineering*, 103(1): 146-153.
- RAKOCY, J. E. 2002 An integrated fish and field crop system for arid areas. In: *Ecological aquaculture: the evolution of the blue revolution*, p. 263-285.
- RAKOCY, J.E.; HARGREAVES, J.A.; BAILEY, D.S. 1993 Nutrient accumulation in a recirculation aquaculture system integrated with vegetable hydroponics. In: Wang, J.K. (Ed.), *Techniques for Modern Aquaculture*, p. 148-158.
- RAKOCY, J.E.; MASSER, M.P.; LOSORDO, T.M. 2006 Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics-Integrating Fish and Plant Culture. *SRAC Publication*. Disponível em: <<http://www2.ca.uky.edu/wkrec/454fs.pdf>>. Acesso em 11 dez 2016.
- RAKOCY, J. E. 2007 Ten guidelines for aquaponic systems. *Aquaponics Journal*, 1: 14-17. Disponível em: <http://santarosa.ifas.ufl.edu/wp-content/uploads/2013/06/Aquaponics-Journal-10-Guidelines.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2016.
- RAKOCY, J.E.; BAILEY D.S.; SHULTZ, R.C.; DANAHER, J.J. A 2011 Commercial-Scale Aquaponic System Developed at the University of the Virgin Islands. Agricultural Experiment Station University of the Virgin Islands. *Proceedings of the 9th International Symposium on Tilapia in Aquaculture*, p. 336-443.
- RESH, H.M. 2012 *Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower*. 7th ed. CRC Press, 513p.
- RODRIGUES, L.R.F. 2002 *Cultivo pela técnica de hidroponia: técnicas de cultivo hidropônico e de controle ambiental no manejo de pragas, doenças e nutrição vegetal em ambiente protegido*. Jaboticabal: FUNEP. 726p.
- ROOSTA, H.R.; HAMIDPOUR, M. 2011 Effects of foliar application of some macro-and micro-nutrients on tomato plants in aquaponic and hydroponic systems. *Scientia Horticulturae*, 129(3): 396-402.
- SCHNEIDER, O.; SERETI, V.; EDING, E.H.; VERRETH, J. A. J. 2005 Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 32(3): 379-401.
- SOARES, T.M. 2007 *Utilização de águas salobras no cultivo da alface em sistema hidropônico NFT como alternativa agrícola condizente ao semi-árido brasileiro*, Piracicaba, Brasil. 267f. (Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz). Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-29112007-093534/en.php>>. Acesso em: 08 Dez. 2016.
- TIMMONS, M.B; EBELING, J.M. 2010 *Recirculating*



*aquaculture*. 3rd ed. NRAC Publication Cayuga  
Aqua Ventures, Ithaca, NY, 975p.

TYSON, R.V.; SIMONNE, E.H.; WHITE, J.M.; LAMB,  
E.M. 2004 Reconciling water quality parameters  
impacting nitrification in aquaponics: the pH  
levels. *Proceedings of the Florida State Horticultural  
Society*, 117(1): 79-83.