

POLICULTIVO DE JUVENIS DE TILÁPIAS NILÓTICAS E VERMELHAS EM SISTEMAS DE RECIRCULAÇÃO E AQUAPONIA

JUVENILE NILOTIC AND RED TILAPIA POLY CULTURE IN RECIRCULATION AND AQUAPONICS SYSTEMS

Clarice da Silva Santiago *

Emanuel Soares dos Santos **

RESUMO

A integração de espécies, sejam elas animais ou vegetais, é uma forma de aumentar a produtividade dos sistemas de cultivo utilizando a mesma área e volume de água, bem como o reaproveitamento de nutrientes. A pesquisa teve como objetivo avaliar o desempenho dos juvenis de tilápias do Nilo, *Oreochromis niloticus*, da linhagem chitralada em consórcio com tilápias de linhagem vermelha, *Oreochromis sp*, utilizando sistemas de recirculação (RAS) e aquaponia, cultivando alface, *Lactuca sativa*. O experimento foi constituído de dois tratamentos, RAS e Aquaponia, e cinco repetições (2x5), onde foram estocados 50 peixes/m³, sendo 11 tilápias vermelhas com peso médio de 10,91g ($\pm 2,34$) e 39 tilápias nilóticas, com peso médio de 13,56g ($\pm 3,16$), em cada sistema. Nos tratamentos foram utilizados sistemas de recirculação compostos por um tanque de 1.000L, um decantador de 60L e um biofiltro aerado de 60L contendo argila expandida como meio de fixação bacteriana, sendo acrescentado um leito de cultivo hidropônico com 24 plantas em cada sistema no tratamento Aquaponia. O experimento teve duração de 43 dias, durante o qual foram acompanhados indicadores de qualidade de água, desempenho zootécnico das tilápias e desempenho fitotécnico das plantas. Observou-se que em nenhum dos indicadores houve diferença significativa. O que mostra que ambos os tratamentos proporcionaram condições adequadas para o desenvolvimento dos peixes, porém, o sistema Aquaponia se torna mais indicado devido a obtenção de uma maior diversidade de alimento com o mesmo custo de produção comparado ao sistema de recirculação convencional.

Palavras-chave: Alface. Cultivo consorciado. Peixes. Produção de alimento. Sustentabilidade.

* Discente do curso Engenharia de Aquicultura, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE - Campus Aracati), clarice.silva.santiago05@aluno.ifce.edu.br.

** Docente do curso Engenharia de Aquicultura, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE - Campus Aracati), santos.e.s@ifce.edu.br.

ABSTRACT

The integration of species, whether animal or plant, is a way to increase the productivity of cropping systems using the same area and volume of water, as well as the reuse of nutrients. The objective of this research was to evaluate the performance of juvenile Nile tilapias, *Oreochromis niloticus*, of the chitralated lineage in consortium with red lineage tilapias, *Oreochromis sp*, using recirculation systems (RAS) and aquaponics, cultivating *Lactuca sativa* lettuce. The experiment consisted of two treatments, RAS and Aquaponics, and five repetitions (2x5), where 50 fish/m³ were stocked, 11 red tilapias with an average weight of 10.91g (± 2.34) and 39 Nilotic tilapias, with average weight of 13.56g (± 3.16) in each system. In the treatments, recirculation systems were used, consisting of a 1,000L tank, a 60L decanter and a 60L aerated biofilter containing expanded clay as a bacterial fixation medium, adding a hydroponic cultivation bed with 24 plants in each system in the Aquaponics treatment. The experiment lasted 43 days, during which indicators of water quality, zootechnical performance of tilapias and phytotechnical performance of plants were monitored. It was observed that there was no significant difference in any of the monitored indicators. Which shows that both treatments provided adequate conditions for fish development, however, the Aquaponics system becomes more suitable due to the management of a greater diversity of foods with the same production cost compared to the conventional recirculation system.

Keywords: Fish. Food production. Integrated cultivation. Lettuce. Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

A aquicultura abrange todos os sistemas de produção de proteína oriundos do cultivo de seres vivos, animais ou vegetais, que possuam total ou parcialmente seu desenvolvimento em ambiente aquático (QUEIROZ *et al.*, 2017; INOUE *et al.*, 2018). A aquicultura brasileira produziu 599 mil toneladas de pescado, avaliadas em R\$ 4,7 bilhões, em 2019, um aumento de 2,6% em volume e 5% em valor, se comparado ao ano de 2018 (IBGE, 2020). Esta atividade superou, nos últimos anos, as taxas de crescimento da bovinocultura, da suinocultura e da avicultura e atualmente, no Brasil, é o segmento que mais cresce em relação à produção animal.

Este potencial está relacionado com as condições naturais, clima favorável e pela matriz energética do território brasileiro (KUBITZA, 2015).

Porém, a aquicultura tradicional enfrenta sérios problemas de ordem ambiental com o alto consumo de água, extensa utilização de terras e, em alguns casos quando mal manejados os cultivos, geração de efluentes que podem apresentar altas concentrações de compostos nitrogenados e fosfatados (HU *et al.*, 2015). Devido a isto, se tem a necessidade de melhoria nas tecnologias desses sistemas de cultivos dentro de uma perspectiva ecoeficiente, que possa atender tanto a comercialização dos produtos gerados dessa atividade quanto a preservação do meio ambiente.

Sistemas de criação com troca zero ou mínima de água, são uma medida importante para garantir o desenvolvimento sustentável da atividade (AVNIMELECH, 2009). Seguindo estas estratégias de produção, surgem os sistemas de recirculação para aquicultura, conhecidos como RAS – sigla do idioma inglês do termo *Recirculating Aquaculture Systems* – os quais proporcionam redução no uso de água, melhorando a gestão dos resíduos, tornando a produção intensiva de peixes compatível com a sustentabilidade ambiental, além de permitir melhor controle sobre as variáveis ambientais (MARTINS *et al.*, 2010 *apud* HELDBO, 2015). A integração de espécies, sejam elas animais ou vegetais, é uma forma de se aumentar a produtividade dos sistemas de cultivo utilizando a mesma área e o mesmo volume de água, bem como o reaproveitamento de nutrientes, sendo este o recurso de maior custo nestas produções.

Neste contexto, a Aquaponia emerge como um sistema alternativo para a aquicultura, pois representa a combinação dos cultivos intensivos de organismos aquáticos com a hidroponia, a qual consiste no cultivo de plantas terrestres em solução aquosa (RAKOCY, 2012). Neste sistema ocorre a utilização eficiente dos efluentes dos peixes como fonte de nutrientes para as plantas, gerando um subproduto de alto valor, diversificando a produção e tornando-a mais sustentável (DIVER, 2006). Esta técnica tem apresentado resultados mais vantajosos, pois além de proporcionar a produção de espécies vegetais, permite a criação de peixes (CARVALHO *et al.*, 2017; ROCHA *et al.*, 2017).

A presente pesquisa teve como objetivo avaliar o desenvolvimento dos juvenis de tilápias do Nilo, *Oreochromis niloticus*, da linhagem chitralada em consórcio com tilápias de linhagem vermelha, *Oreochromis sp*, utilizando sistemas de recirculação (RAS) e aquaponia, cultivando também alface, *Lactuca sativa*. Já os objetivos específicos consistiram em: (1) Analisar os indicadores de qualidade de água entre os sistemas de produção RAS e Aquaponia; (2) Comparar o desempenho zootécnico das duas linhagens de tilápia produzidas nos sistemas

RAS e Aquaponia; (3) Verificar o desempenho fitotécnico da alface no sistema de aquaponia com produção de tilápias nilóticas e com tilápias vermelhas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sistema de Recirculação Aquícola

O Sistema de Recirculação Aquícola (RAS) é um método de produção fechado onde consiste na reutilização e tratamento contínuo da água do sistema. No RAS a água pode ser reutilizada total ou parcialmente, o que diminui consideravelmente a quantidade de água utilizada em um ciclo. Os sistemas de recirculação em aquicultura proporcionam reduções no uso de água e área física, melhorando a gestão dos resíduos, tornando a produção intensiva de peixes compatível com a sustentabilidade ambiental (MARTINS *et al.*, 2010).

O RAS tem a seguinte funcionalidade básica: a água dos tanques de cultivo é tratada em filtros mecânicos para remoção de materiais sólidos (resíduos de ração e fezes). Posteriormente, a água passa por filtros biológicos em que ocorrem a mineralização de compostos orgânicos e o processo de oxidação dos compostos nitrogenados, por meio da atividade de bactérias nitrificantes, que vivem livres na água ou fixadas ao substrato do filtro biológico (LIMA; BASTOS; MONTAGNER, 2016). Segundo Sampaio *et al.* (2010), cada sistema deve ser desenhado e dimensionado em função da produção, produtividade, região e do recurso disponível. O RAS pode ser utilizado como sistema de crescimento e engorda ou como incubadora para produzir ovos e alevinos de peixes, tanto para alimentação humana como para aquariofilia (HELFRICH; LIBEY, 1991).

A funcionalidade deste sistema exige a manutenção da qualidade da água a qual é realizada principalmente no filtro biológico, devido a sua capacidade de fixar bactérias nitrificantes e promover a oxidação da amônia a nitrato em um sistema de recirculação. A realização da oxidação da amônia a nitrito ocorre através da ação das bactérias *Nitrosomonas* e de nitrito a nitrato, através da ação das bactérias *Nitrobacter* (MARTINS *et al.*, 2005; 2011). Os filtros são feitos, normalmente, em tanques, caixas ou cilindros e preenchidos com substratos, os quais podem ser de vários tipos como britas, areia grossa, cascalho entre outros (KUBITZA, 2006).

A aplicação do sistema RAS na aquicultura apresenta diversas vantagens como, redução do consumo de água (VERDEGEM *et al.*, 2006), gestão de resíduos e reciclagem de nutrientes (PIEDRAHITA, 2003), manutenção da higiene e controle de doenças (SUMMERFELT *et al.*,

2009; TAL *et al.*, 2009), além de controles biológicos e de poluição (ZOHAR *et al.*, 2005). Considera-se que estes sistemas representam especificamente uma inovação para piscicultura, uma vez que se deixa as criações ao ar livre em tanques abertos e faz-se uso de tanques alojados em áreas menores e protegidas, elevando as densidades de estocagem dos peixes em um ambiente mais controlado (HELFRICH; LIBEY, 1991).

Segundo Braz Filho (2000), em sistemas superintensivos de aquicultura é possível produzir em 250 m² de espelho de água, com mínima renovação de água, o equivalente à produção de 15.000 m² de viveiros escavados com até 20% de renovação de água diária. Além disso, o RAS pode ser integrado a cultivos de animais e vegetais, melhorando ainda mais a eficiência de uma produção.

O processo de evolução destes sistemas vem acontecendo ao longo das últimas três décadas e muitas dessas tecnologias foram desenvolvidas através de pesquisas em universidades institutos, empresas e em outros setores, que se dedicam à investigação de metodologias, técnicas e equipamentos que contribuam com o refinamento dos processos para purificação e reutilização de água na aquicultura (TIMMONS; EBELING, 2010).

2.2 Sistema de Hidroponia

Hidroponia é uma técnica para o cultivo de plantas sem solo, onde as raízes recebem uma solução nutritiva balanceada que contém água e todos os nutrientes essenciais ao desenvolvimento da planta, podendo reduzir em até 70% a quantidade de água utilizada (SANTOS *et al.*, 2013). A tecnologia de cultivo hidropônico mais utilizada no Brasil é o NFT - *Nutrient Film Technique* (SILVA *et al.*, 2015). Este sistema de cultivo proporciona maior rendimento de massa verde e qualidade da produção, bem como a redução da ocorrência de doenças (SANTOS; DUARTE, 2009).

Pensava-se que somente plantas mais rústicas e menos exigentes nutricionalmente poderiam ser cultivadas em meio hidropônico. Atualmente sabe-se que é possível produzir uma variedade grande de vegetais em meio hidropônico, como o pepino, alface, tomate, quiabo, pimenta, entre outros vegetais (CARNEIRO *et al.*, 2015a). Esse tipo de cultivo possibilita além do bom desenvolvimento da planta, alta produtividade, qualidade, precocidade e bom controle fitossanitário (SILVA; MELO, 2016; FURLANI *et al.*, 2016).

Os produtos provenientes do cultivo hidropônico possuem alto padrão de qualidade se comparado aos cultivados em solo, praticamente dispensando o uso de agrotóxicos, pois

normalmente é feito em ambientes controlados e não fica em contato com o solo, diminuindo a presença de ervas daninhas e pragas (SANTOS, 2002).

De acordo com Corrêa (2018), o cultivo hidropônico possui diversas vantagens como: a possibilidade de aproveitamento de áreas inaptas ao cultivo convencional, independência do cultivo às intempéries permitindo o cultivo durante todo o ano e a redução do uso de mão de obra. Além disso, se tem um menor consumo de água; melhor qualidade dos produtos; uma produtividade elevada devido ao um maior rendimento por área; uma maior facilidade no manejo; uma menor incidência de pragas e doenças, entre outros (TEIXEIRA, 1996; MARTINEZ, 1997; ALBERONI, 1998; FAQUIN; FURLANI, 1999; RODRIGUES, 2002).

Segundo Furlani (1999), para que haja sucesso e bom desenvolvimento da cultura hidropônica se faz necessária uma constante manutenção da concentração de nutrientes na solução. Para o crescimento das plantas os principais elementos devem estar presentes na solução fornecida, de uma forma que se distancie da falta ou do excesso de minerais. As soluções nutritivas constituem o ponto principal do cultivo hidropônico, uma vez que elas determinam o crescimento das plantas e a qualidade do produto final (SANTOS, 2009).

Durante a produção hidropônica, a condutividade elétrica e o pH da solução devem ser constantemente monitorados pois são responsáveis pelo absoluto sucesso na hidroponia. Assim, a manutenção de um meio favorável ao desenvolvimento das plantas não envolve apenas a escolha de uma solução apropriada no plantio, mas do controle contínuo desta, o qual determinará a adição de sais, ajuste de pH e substituição periódica de toda a solução (MARTINEZ,1997).

2.3 Sistema de Aquaponia

Combinando o sistema hidropônico com a aquicultura, originou-se a aquaponia, onde, sinergicamente, os pontos fracos de ambos os sistemas são transformados em pontos fortes, minimizando a produção de resíduos e o provimento da entrada de nutrientes (GODDEK *et al.*, 2015). Ao se comparar o sistema de aquaponia com o sistema de recirculação convencional (RAS), que é apenas focado no cultivo dos peixes, tem-se a adição complementar de uma unidade hidropônica o que possibilita a produção de duas culturas distintas em um só sistema, ou seja, animal e vegetal.

Segundo Rakocy (2007), na aquaponia é necessário à realização de três processos complementares, o cultivo dos peixes no tanque onde há a entrada de nutrientes na forma de

ração, a nitrificação das diferentes formas de apresentação do nitrogênio em filtros biológicos e mesas de hidroponia que fazem a absorção de nutrientes pela parcela vegetal do sistema.

Atualmente, destacam-se três técnicas para a aquaponia: cultivo em canaletas (NFT), cultivo em substrato (*Media-filled bed*) e cultivo em bandejas flutuantes (DWC) (RAKOCY *et al.*, 2006). Ainda segundo estes autores o cultivo em canaletas é o mais conhecido e reproduzido dos sistemas aquaponicos, por possuir vantagens como ser um sistema leve, com perda mínima de água e facilidade na colheita e plantio dos vegetais. As espécies de plantas mais recomendadas para o cultivo aquapônico são as espécies adaptadas a hidroponia, pois elas toleram altos teores de água em suas raízes, suportam oscilações nos teores de nutrientes dissolvidos na solução nutritiva sem apresentar deficiência nutricional (CARNEIRO *et al.* 2015a).

É possível produzir diversas hortaliças no sistema aquaponia, como a alface, o manjericão, o agrião, a rúcula, a pimenta, o tomate, entre outras. Isso ocorre devido à tolerância dessas plantas aos altos teores de água em suas raízes e as oscilações nos teores de nutrientes dissolvidos na solução nutritiva (RAKOCY, 2007; PANTANELLA *et al.*, 2010; HUNDLEY; NAVARO, 2013; CARNEIRO *et al.*, 2015b; CARNEIRO *et al.*, 2015c).

Já na produção animal deste sistema, ressalta-se que a tilápia-do-Nilo, *Oreochromis niloticus*, é a espécie mais produzida no Brasil em sistemas convencionais (FAO, 2016), e tem sido o peixe mais utilizado na aquaponia (MARENGONI, 2006). A tilápia apresenta alta produtividade e bom desenvolvimento por apresentar rusticidade, tolerância às altas densidades de estocagem, tolerância ao manejo, boa conversão alimentar e bom valor comercial (CARNEIRO *et al.*, 2015b; MANGERONI, 2006).

Dentre as vantagens da aquaponia tem-se como as principais: a menor utilização de água, baixo risco de contaminação, redução no risco de que espécies exóticas sejam introduzidas nos rios nativos, o aproveitamento de dejetos produzidos pelos peixes, o cultivo de dois alimentos diferentes oriundos de um único sistema e a produção de um produto de alta qualidade e livre de agrotóxicos e antibióticos (HERBERT, 2008; BRAZ FILHO, 2000; CARNEIRO *et al.*, 2015a). Assim, aquaponia surge como uma alternativa de intensificação da produção de maneira sustentável (BELINTANO *et al.*, 2019). Vale ressaltar que esta técnica é uma das soluções para o aumento da produção frente ao crescimento da população mundial (GODDEK *et al.*, 2019; SÁTIRO *et al.*, 2018).

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa foi realizada no Núcleo de Estudo em Segurança Alimentar e Nutricional (NESAN-Aquaponia) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE campus Aracati, localizado no município de Aracati-CE, Brasil, no período de Março a Abril de 2019.

O NESAN-Aquaponia é composto por uma estufa e uma área adjacente que ocupam aproximadamente 120m² ao total. A estufa de Aquaponia ocupa uma área de 60m² possuindo dimensões de 6,0m x 10m, sendo revestida por tela sombrite com 50% de retenção de luminosidade e filme plástico agrícola em sua cobertura. Na Figura 01 apresenta-se o Núcleo de Estudo em Segurança Alimentar e Nutricional (NESAN-Aquaponia).

Figura 01 — Núcleo de Estudo em Segurança Alimentar e Nutricional (NESAN-Aquaponia).



Fonte: Acervo do autor.

O experimento foi constituído de dois tratamentos, sistemas de recirculação (RAS) e Aquaponia; e cinco repetições (2 x 5), onde foram estocados 50 peixes.m⁻³, sendo 11 tilápias vermelhas, *Oreochromis sp.* com peso médio de 10,91g ($\pm 2,34$); e 39 tilápias nilóticas, *Oreochromis niloticus*, com peso médio de 13,56g ($\pm 3,16$), igualmente em cada sistema. Totalizando 500 juvenis de tilápia, sendo 110 juvenis de tilápia da linhagem vermelha e 390 juvenis de tilápia da linhagem nilóticas nos dez sistemas experimentais utilizados na pesquisa.

Para a montagem dos sistemas do tratamento RAS foram utilizados 05 tanques de polietileno com volume de 1.000 litros interligado a um decantador de 60 litros, para a sedimentação dos sólidos provenientes de fezes e restos de ração não consumidos, e um

biofiltro aerado de 60 litros contendo argila expandida, na proporção de 50% do volume do filtro, como meio de fixação bacteriana. Foi utilizado em cada sistema uma bomba elétrica com potência de 50W e vazão de 2.000L/h para manutenção do fluxo da água, sendo instalada no ponto mais baixo do sistema em um recipiente de retorno (*Sump*). Na Figura 02 é possível ver um dos sistemas de cultivo do tratamento RAS utilizado na pesquisa.

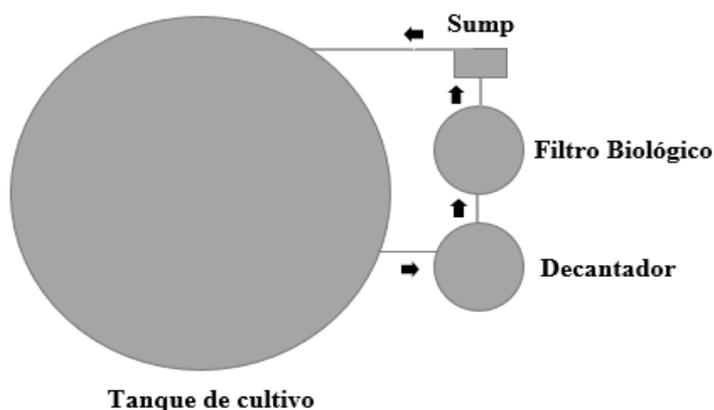
Figura 02 — Exemplo de um dos sistemas de cultivo utilizados no tratamento RAS.



Fonte: Acervo do autor.

No RAS o fluxo da água iniciou-se com o bombeamento do *sump* para o tanque de cultivo, a partir deste ponto o fluxo ocorreu por gravidade, para o decantador em seguida para o filtro biológico até chegar novamente ao *sump*. Na Figura 03 é possível observar o esquema básico do sistema RAS utilizado.

Figura 03 — Esquema básico do sistema RAS utilizado na pesquisa.



Fonte: Acervo do autor

Os sistemas do tratamento Aquaponia seguiram o mesmo modelo do RAS, sendo acrescentado um leito de cultivo hidropônico do tipo NFT (*Nutrient Film Technique*), com dimensão de 1,0 m², composto por 04 canaletas de cultivo confeccionados com canos de PVC de 100mm. A espécie cultivada foi a alface *Lactuca sativa*. Cada canaleta foi abastecida com 06 plantas, totalizando 24 plantas por leito hidropônico, com um distanciando de 30cm entre plantas. Na Figura 04 observa-se um dos sistemas do tratamento Aquaponia utilizados na pesquisa.

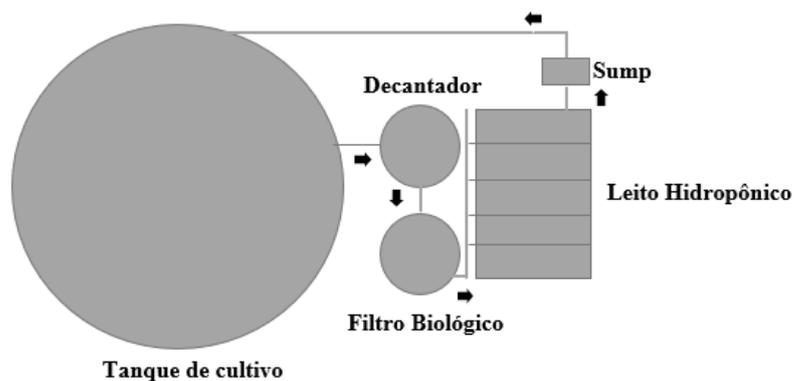
Figura 04 - Exemplo de um dos sistemas de cultivo utilizados no tratamento Aquaponia.



Fonte: Acervo do autor.

No sistema Aquaponia o fluxo da água é proveniente do RAS, com a única diferença que após sair do filtro biológico a água foi distribuída por tubulações de PVC para as canaletas no leito hidropônico, e em seguida desceu por gravidade até chegar ao *sump*, retornando à água para o tanque de cultivo. Na Figura 05 é possível observar o esquema básico do sistema Aquaponia utilizado.

Figura 05 — Esquema básico do sistema Aquaponia utilizado na pesquisa.



Fonte: Acervo do autor.

Os sistemas foram abastecidos com água do sistema de abastecimento público após descloragem por um período de 24 horas com aeração vigorosa. Durante o período do experimento foi fornecida aeração 24h por dia, utilizando dois sopradores elétricos com potência de 275W cada, onde cada soprador atendia a cinco sistemas. O ar foi distribuído para os sistemas por meio de cano PVC de 25 mm e a difusão do ar foi por meio de mangueiras porosas do tipo cortina de bolhas de 25 cm. Foram instaladas duas mangueiras difusoras em cada tanque e em cada filtro biológico.

Foi utilizada ração comercial extrusada com 35% de proteína bruta, 10% de umidade, 3,5% de fibra, 6,0% de extrato etéreo e 500 mg de vitamina C por kg, apresentada em grânulos de 3,0 mm (informações do fabricante), ofertada igualmente nos dois tratamentos experimentais. Durante os primeiros 14 dias foi ofertada considerando a taxa de arraçoamento de 10,0% da biomassa estocada; do 15º ao 28º dia a taxa foi 9,0% da biomassa, do 29º ao 43º dia foi 8,5% da biomassa estocada, sendo calculadas as quantidades a partir dos dados obtidos nas biometrias. A ração foi fornecida em três alimentações diárias, cinco dias por semana.

O experimento teve duração de 43 dias, durante o qual foram acompanhados os seguintes indicadores de qualidade de água: diariamente o Oxigênio Dissolvido (OD), Temperatura (°C) e pH, utilizando sonda multiparâmetros *in loco* (HANNA HI 9829); e quinzenalmente a Alcalinidade Total (AT), Amônia Total, Nitrito (NO₂), Nitrato (NO₃), Amônia não-ionizada (NH₃) e Ortofosfato (P-orto), segundo *Standard Methods* (APHA, 1996). As amostras de água foram coletadas utilizando frasco de coleta com volume de 1 litro e em seguida eram levadas para o laboratório de Química do IFCE - campus Aracati onde foram realizadas as análises.

Foram realizadas quatro biometrias ao decorrer do experimento para acompanhar o desempenho zootécnico das tilápias. No primeiro dia, antes de ser realizado o povoamento dos animais nos sistemas destinados ao experimento, foi realizada a primeira biometria medindo e pesando todos os peixes para caracterização do estoque. As demais biometrias foram realizadas por meio de amostragem, sendo retirados 10 peixes por tanque (20% do estoque), três tilápias vermelhas e sete tilápias nilóticas. Para garantir o bem-estar dos peixes foi realizada a insensibilização com óleo de cravo (eugenol) na concentração de 150 mg L⁻¹ por banho de imersão, facilitando a pesagem dos animais em balança digital (BEL MARK S3201). A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA-IFCE) e se encontra protocolada com o nº 7583141117 nos registros deste comitê.

Ao final do cultivo foi realizada a biometria das plantas para acompanhar o desenvolvimento fitotécnico das alfaces. Cada planta foi pesada separadamente com a raiz, sem

a raiz e apenas as folhas, para a obtenção da Biomassa final (g), Produção (g/m²) e Produtividade (g/m²/dia). Vale ressaltar que todas as alfaces oriundas deste projeto foram doadas a alunos e servidores do IFCE campus Aracati.

Para realização da estatística de peso médio e ganho de peso dos peixes foram consideradas as espécies de peixes separadamente, desta forma os dados foram submetidos submetidos à Análise de Variância (ANOVA) um critério ao nível de significância de 5,0% ($p = 0,05$) e ao teste de Tukey para a comparação entre as médias. Para os dados de qualidade de água, biomassa e sobrevivência foi utilizado o Teste T de Student. Em todos os testes foi utilizado o programa BIOESTAT 5.0. Para os dados de desempenho fitotécnico foi realizada apenas a estatística descritiva dos resultados por tratar-se de apenas um tratamento de aquaponia.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Qualidade de água

Observou-se que em nenhum dos indicadores de qualidade de água acompanhados houve diferença significativa entre os tratamentos. Os resultados dos indicadores de qualidade de água estão apresentados na Tabela 01.

Tabela 01 — Resultados dos indicadores de qualidade de água avaliados.

Indicadores de Qualidade de Água	RAS	AQUAPONIA
Temperatura (°C)*	28,82±0,29	28,76±0,27
Oxigênio Dissolvido (mg.L⁻¹)*	5,92±0,32	6,19±0,07
pH*	7,7±0,05	7,8±0,01
Alcalinidade Total (mg.L⁻¹)*	72,93±15,21	74,13±12,98
Amônia Total (mg.L⁻¹)*	0,090±0,039	0,108±0,068
Nitrito (mg.L⁻¹)*	0,424±0,240	0,768±0,481
Nitrato (mg. L⁻¹)	30,25±9,32	32,12±9,34
Amônia não-ionizada (mg.L⁻¹)*	0,003±0,002	0,004±0,000
Ortofosfato (mg.L⁻¹)*	0,346±0,089	0,392±0,131

* Não houve diferença significativa conforme o teste T de Student ($p \geq 0,05$) para as médias na mesma linha.

Tilápias são peixes tropicais que apresentam conforto térmico entre 27 a 32°C, temperaturas acima de 32°C e abaixo de 27°C reduzem o apetite e o crescimento, abaixo de 20°C o apetite fica extremamente reduzido e aumenta os riscos de doenças e temperaturas abaixo de 14°C geralmente são letais as tilápias (KUBITZA, 2000). Observa-se que em ambos os sistemas a temperatura se manteve na faixa de conforto para a espécie cultivada. A temperatura afeta diretamente todas as atividades fisiológicas dos peixes (alimentação, respiração, digestão e pode aumentar a susceptibilidade de doenças) e afeta a eficiência do biofiltro, a menos que este parâmetro chegue aos extremos, dificilmente levará a morte dos animais, entretanto limita a produção (BRAZ FILHO, 2000; SÁ, 2012).

A concentração de oxigênio dissolvido é inversamente influenciada pela temperatura, quanto mais baixa for a temperatura, mais rico em oxigênio será o meio aquático e quanto mais alta for a temperatura, menor será a quantidade de oxigênio na água. A temperatura em 15°C pode conter até 10,05 mg/L de oxigênio dissolvido e em 30°C pode chegar até 7,57 mg de oxigênio dissolvido. As diferenças na concentração de oxigênio podem causar estresse e pode levar até a morte do peixe (BRAZ FILHO, 2000; SÁ, 2012).

Alevinos de Tilápia-do-Nilo de 10 a 25 gramas sobreviveram à exposição ao oxigênio dissolvido entre 0,4 a 0,7 mg/litro por 3 a 5 horas, até quatro manhãs consecutivas, sem registro de significativa mortalidade (KUBITZA, 2000). A falta de oxigênio acarreta numa má qualidade de vida dos peixes e plantas, comprometendo seu desenvolvimento, podendo, em casos com níveis baixíssimos de oxigênio, levar à morte (RAKOCY *et al.*, 2006 apud ALATORRE *et al.*, 2011). Quando se observa os valores de oxigênio dissolvidos, tem-se que as concentrações ficaram em valores ótimos e com pequena variação em ambos os sistemas. A velocidade do metabolismo do animal varia em função da disponibilidade de energia nas células, logo quanto maior for a concentração de oxigênio no meio, maior será a taxa de crescimento e as atividades celulares (SÁ, 2012).

O pH da água no cultivo de tilápias deve ser mantido entre 6,0 a 8,5, abaixo de 4,5 e acima de 10,5 a mortalidade é significativa (KUBITZA, 2000). De acordo com Rakocy *et al.* (2006), o pH ideal para a aquaponia deve ser mantido perto de 7,0, nessa faixa é garantida uma boa absorção dos nutrientes pelas plantas, os peixes vivem em condições adequadas e a bactérias conseguem uma boa eficiência no processo de nitrificação. Nota-se que os valores de pH foram de $7,7 \pm 0,05$ no RAS e $7,8 \pm 0,01$ no sistema de Aquaponia, foram considerados dentro da faixa indicada.

Os resultados de alcalinidade se mantiveram um pouco abaixo do ideal, sendo recomendado para sistemas de aquaponia manter a alcalinidade entre 100 a 150 mg.L⁻¹ (BOYD,

1992; BOYD; TUCKER, 1998; TIMMONS *et al.*, 2002; GRABER; JUNGE, 2007; NELSON, 2008; DELONG; LOSORDO, 2012). Vale ressaltar que durante o experimento não foram adicionadas fontes de carbonato para controle da alcalinidade e do pH.

Em relação aos compostos nitrogenados é possível verificar que a nitrificação está ocorrendo pelos valores crescentes entre os indicadores Amônia Total, NO₂ e NO₃ conforme é desejável, principalmente em sistemas de recirculação de água. Lewis (1978) relatou redução dos níveis de amônia, nitrato e fosfato dissolvidos na água de retorno ao tanque de produção de peixes, após a passagem pelo sistema de cultivo hidropônico, mostrando a eficiência da aquaponia na redução de compostos indesejáveis através da associação dos cultivos. Quando não se possui o cultivo das plantas deve-se ter uma renovação periódica de 5 a 10% do volume total de água para o controle e assim evitar intoxicação dos animais. Segundo Testolin (2009), os rejeitos gerados pelos peixes, assim como seus desprendimentos corporais e restos de alimento são contaminantes e podem virar toxinas para os mesmos.

4.2 Desempenho zootécnico

Não foi observada diferença significativa entre os indicadores de desempenho zootécnico avaliados, o que mostra que ambos os tratamentos proporcionaram condições adequadas para o desenvolvimento dos peixes, corroborando com os resultados obtidos na avaliação da qualidade de água. É válido salientar que se tratou de um experimento de curta duração e com os animais ainda juvenis, com a continuidade da pesquisa poderia ser possível observar se estes resultados sofreriam alteração com o aumento da biomassa estocada.

Os dados referentes ao desempenho zootécnico dos peixes estão representados pelos indicadores Peso médio final (g), Ganho de Peso (g), Biomassa final (g/m³) e Biomassa total (g/m³) apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 — Resultados do desempenho zootécnico dos peixes das duas linhagens cultivadas em ambos os sistemas experimentais testados.

Indicadores Zootécnicos	RAS		AQUAPONIA	
	Vermelhas	Nilóticas	Vermelhas	Nilóticas
Peso médio final (g)*	29,00 ± 3,36	28,70 ± 6,66	25,97 ± 6,75	28,89 ± 4,31
Ganho de Peso (g)*	18,10 ± 3,37	15,14 ± 6,66	15,07 ± 6,75	15,33 ± 4,31
Biomassa final (g/m³)*	841,00 ± 97,63	832,42 ± 193,10	753,03 ± 195,78	837,89 ± 124,96
Biomassa total (g/m³)*	1673,42 ± 195,75		1590,92 ± 166,28	

* Sem diferença significativa para os testes utilizados.

Pesquisas avaliando diferentes linhagens de tilápia cultivadas no Brasil apontam que há um desempenho diferenciado entre elas quanto ao fator de condição (BOSCOLO et al., 2001), ao ganho de peso, ao comprimento total final e à taxa de sobrevivência (TACHIBANA et al., 2004; WAGNER et al., 2004), entre outros parâmetros. De acordo com as pesquisas, a semelhança nas médias de comprimento total entre linhagens em algumas fases de desenvolvimento indica que algumas linhagens apresentam crescimento corporal semelhante e diferem exclusivamente pelo peso.

Ao final do cultivo os animais apresentaram peso médio final de $29,00 \pm 3,36$ g tilápias vermelhas e $28,70 \pm 6,66$ g tilápias nilóticas, no tratamento RAS. O ganho de peso diário foi de 0,42 g e 0,35 g, respectivamente. E no tratamento Aquaponia o peso médio final foi de $25,97 \pm 6,75$ g tilápias vermelhas e $28,89 \pm 4,31$ g tilápias nilóticas. O ganho de peso diário foi de 0,35 g e 0,36 g, respectivamente. Hundley et al. (2013) registrou em 42 dias o ganho diário de 0,32g em sistema de aquaponia. O desempenho em peso é uma importante variável que deve ser monitorada e considerada para manter a taxa de alimentação ótima (SILVA; FUJIMOTO, 2015).

Esse perfil de crescimento mais elevado para as tilápias pode estar relacionado com o melhoramento genético que vem ocorrendo sobre a produção das espécies (PORTO *et al.* 2015; DIAS; OLIVEIRA, 2021), o que resulta em melhores índices zootécnicos e uma maior adaptação aos sistemas de cultivo.

Em geral, os índices de desempenho zootécnico ficaram dentro do esperado para tal fase de desenvolvimento, demonstrando uma boa adaptação das espécies para os sistemas de cultivos testados.

4.3 Desempenho fitotécnico

No que se refere ao desempenho fitotécnico das plantas, se obteve uma sobrevivência média de 94,2 %, totalizando 113 plantas sendo 22,6 por leito.

Durante o período experimental, observou-se que, em alguns momentos do dia as alfaces murcharam, este fato pode estar relacionado às condições da estufa. Vale ressaltar que esta pesquisa foi a primeira realizada na NESAN-Aquaponia e que, tanto a estufa como os sistemas estavam em fase de ajustes.

Os dados referentes ao controle do crescimento das alfaces estão representados pelas variáveis: Biomassa final (g), Produção (g/m²) e Produtividade (g/m²/dia), apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 — Estão expostos os resultados do desempenho fitotécnico das alfaces cultivadas no sistema aquaponia.

Indicadores Fitotécnicos	Planta com raiz	Planta sem raiz	Folhas
Biomassa final (g) *	5420,5	4025,0	2853,0
Produção (g/m²)	903,4 ± 151,2	670,8 ± 110,4	475,5 ± 79,6
Produtividade (g/m²/dia)	23,2 ± 3,9	17,2 ± 2,8	12,2 ± 2,0

* Biomassa é o somatório dos pesos obtidos, desta forma não é um valor médio por isso não tem desvio padrão.

Para o bom desenvolvimento dos vegetais, deve haver um equilíbrio do sistema entre peixe, bactérias e vegetais (YEP; ZHENG, 2019). É necessário que a qualidade de água esteja dentro do recomendado não apenas para os peixes e bactérias, mas principalmente para os vegetais, pois alteração nestes parâmetros pode interferir na disponibilidade e captação de nutrientes pelas plantas, interferindo no seu desenvolvimento (ZOU *et al.* 2016).

Quando comparada às outras culturas a alface é a que mais exige nutrientes para o seu crescimento, pois é considerada uma hortaliça de ciclo curto. Ribeiro (2017), ao analisar a produção aquapônica e hidropônica em cultivos de alfaces, observou que as plantas não apresentaram deficiência nutricional na análise visual, sugerindo que o sistema aquapônico proporciona condições favoráveis para o cultivo de alface.

3 CONCLUSÃO

Observou-se que em nenhum dos indicadores acompanhados de qualidade de água houve diferença significativa entre os sistemas testados e que estes ficaram dentro das faixas desejadas para o desenvolvimento do cultivo. Em relação aos dados indicadores de desempenho zootécnico avaliados não foi observada diferença significativa, como também, não foi observado diferença entre o desempenho das tilápias das diferentes linhagens. O que mostra que ambos os tratamentos proporcionaram condições adequadas para o desenvolvimento dos peixes. Porém, o sistema de aquaponia é o mais indicado devido a se obter uma maior quantidade e diversidade de alimento, pois neste tipo de sistemas obteve-se a

produção de peixes e hortaliças com o mesmo custo de produção em relação ao sistema de recirculação aquícola convencional, no qual ocorreu somente a produção de peixes.

REFERÊNCIAS

ALATORRE, O.J; GARCÍA, F.T; RICO, E.G; SOTO, G.Z.M. **Aquaculture Water Quality for Small-Scale Producers**. Qro, México. 2011. Disponível em:
<<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1079.7055&rep=rep1&type=pdf>>
> Acesso em: 22 de Mai de 2022.

ALBERONI, R.B. **Hidroponia: como instalar e manejar o plantio de hortaliças dispensando o uso do solo**. Nobel, São Paulo. p.102, 1998.

AVNIMELECH, YORAM et al. **Biofloc technology: a practical guide book**. World Aquaculture Society, 2009.

BRAZ FILHO, M.S.P. **Qualidade na produção de peixes em sistema de recirculação de água**. Monografia (Pós Graduação em Qualidade nas Empresas) - Centro Universitário Nove de Julho, São Paulo. p.41, 2000.

BELINTANO, A. L. O., KREUTZ, F. I., MESSIAS, E. A., IBANHEZ, J. R., FERREIRA, M. W. & GUILHERME, D. O. **Sistema de aquaponia em escala: um estudo de caso**. Pubvet, 14(1), p.1-9, 2019.

BIJO, P. A; Authority, M.F.D; Lumpur, K. **Feasibility study of a recirculation aquaculture system**. UNU – Fisheries Training Programme, 2007. Disponível em:
<<https://www.grocentre.is/static/gro/publication/59/document/pada07prf.pdf>>. Acesso em 07 de jul de 2022

BOSCOLO, W.R.; HAYASHI, C.; SOARES, C.M. et al. **Desempenho e características de carcaça de machos revertidos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), linhagens tailandesa e comum, nas fases inicial e crescimento**. Revista Brasileira de Zootecnia, v.30, n.5, p.1391-1396, (2001). Disponível em:
<<https://www.scielo.br/j/rbz/a/nkNQVtxvHygFFqW3MVtLFLx/?lang=pt>>. Acesso em: 08 de jun de 2022

CARNEIRO, P. C. F MARIA, A. N; NUNES, M. U. C; FUJIMOTO, R. Y. **Aquaponia: produção sustentável de peixes e vegetais**. Macapá. v.2 p.683–706, 2015a. Disponível em:
<<https://docplayer.com.br/43415644-Capitulo-32-aquaponia-producao-sustentavel-de-peixes-e-vegetais.html>> acesso em: 22 de jul de 2022

CARNEIRO, P. C. F.; MORAIS, C. A. R.; NUNES, M. U. C.; MARIA, A. N.; FUJIMOTO, R. Y. **Produção integrada de peixes e vegetais em aquaponia**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, p.23, 2015b. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Comunicado Técnico, 189). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1025991/producao-integrada-de-peixes-e-vegetais-em-aquaponia>>. Acesso em: 22 de jul de 2022.

CARNEIRO, P. C. F.; MORAIS, C. A. R.; NUNES, M. U. C.; MARIA, A. N.; FUJIMOTO, R. Y. **Montagem e operação de um sistema familiar de aquaponia para produção de peixes e hortaliças**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. p.12, 2015c. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Circular Técnica, 68). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1040079/montagem-e-operacao-de-um-sistema-familiar-de-aquaponia-para-producao-de-peixes-e-hortaliças>>. Acesso em: 22 de jul de 2022.

CARVALHO, A. R., BRUM, O. B., CHIMÓIA, E. P., & FIGUEIRÓ, E. A. G. **Avaliação da produtividade da aquaponia comparada com a hidroponia convencional**. Rev. Vivência. p.79-91, 2017.

DIAS, M. E. D; OLIVEIRA, E. L. **A piscicultura brasileira pela ótica do desenvolvimento da genética da tilápia: das horizontalidades ao processo de verticalização**. Estudos geográficos: Revista Eletrônica de Geografia, v.19, p.3-15, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.5016/estgeo.v19i1.16040>>. Acesso em: 22 de Mai de 2022.

DIVER, S. **Aquaponics - Integration of hydroponics with aquaculture**. National Sustainable Agriculture Information Service. p.28, 2006.

FAO – Food Agriculture Organization of the United Nations. (2016). **Fishery and Aquaculture Statistics 2012**. Disponível em: <<http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/en/c/423722/>>. Acesso em 22 de maio 2022

FAQUIN, V.; FURLANI, P.R. **Cultivo de hortaliças de folhas em hidroponia em ambiente protegido**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte. v.20, n. 200/201, p.99-104, 1999.

FURLANI, P.R. SILVEIRA, L.C.P; BOLONHEZI, D; FAQUIN, V. **Cultivo Hidropônico de Plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico, (1999). 52p. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/Hidroponiap3/Index.htm>. Acesso em: 03 mai de 2022.

GRABER, A.; JUNGE, R., 2007. **Aquaponic systems: Nutrient Recycling From Fish Wastewater By Vegetable Production**. Desalination. 246, 147-156.

GODDEK, S; DELAIDE, B; MANKASINGH, U; RAGNARSDOTTIR, K.V; JIJAKLI, H; THORARINSDOTTIR, R. **Challenges of sustainable and commercial aquaponics**. Sustainability, Basel, Switzerland, v.7, p.4199-4224, 2015. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/7/4/4199/html>>. Acesso em: 21/10/2021.

GODDEK, S; JOYCE, A; KOTZEN, BENZ; BURNELL, G. M. (2019). **Aquaponics Food Production Systems**. (eBook). 10.1007/978-3-030-15943-6

HELFRICH, LA e LIBEY, G. **Piscicultura em sistemas de recirculação de aquicultura (RAS)**. Departamento de Pesca e Ciências da Vida Selvagem, Virginia Tech. p.19, 1991.

HU, Z.; LEE, J.W.; CHANDRAN, K.; KIM, S.; BROTTTO, A.C.; KHANAL, S.K. **Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics**. Bioresource Technology, v.188, p.92–98, 2015.

HUNDLEY, G. C.; NAVARO, R. D. **Aquaponia: a integração entre a piscicultura e a hidroponia.** Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável, v.3, p.52-61, 2013.

HUNDLEY, G. M. C.; NAVARRO, R. D.; FIGUEIREDO, C. M. G.; NAVARRO, F. K. S. P.; PEREIRA, M. M.; FILHO, O. P. R.; FILHO, J. T. S. **Aproveitamento do efluente da produção de tilápia do Nilo para o crescimento de manjeriço (*Origanum basilicum*) e manjerona (*Origanum majorana*) em sistema de aquaponia.** Revista brasileira de agropecuária sustentável.v.3, n.1, p.51-55. 2013.

HERBERT, S. et al., **Aquaponics in Australia - The integrations of Aquaculture and Hydroponics.** Mudge, Australia, 2008, 28p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Pecuária Municipal (PPM) 2019: crescimento de todas as atividades englobadas na pesquisa em relação a 2018.** Edição 30/2020, 29 de outubro.

KUBITZA, F. **Tilápia: tecnologia e planejamento na produção comercial.** Jundiaí. p.285, 2000.

KUBITZA, F. **Sistemas de Recirculação: Sistemas Fechados com Tratamento e reuso da Água.** Panorama da Aquicultura. v.16, n.95, p.15-22, 2006. Disponível em: <http://acquaimagem.com.br/aquagenetica/site/wp-content/principios_sistema_recirculacao.pdf>. Acesso em: 09 de Ago de 2022.

KUBITZA, F. **Aquicultura no Brasil: conquistas e desafios.** Pan. Aquicultura. p.10-23, 2015.

LEWIS, W.M. et al. **Use of hydroponics to maintain quality of recirculated water in a fish culture system.** Transactions of American Fisheries Society, (1978). v. 107, n. 1, p. 92-99.

LIMA, J.F., BASTOS, A.M., MONTAGNER, D. **Sistema simples de recirculação para recria de peixes e de camarões.** Embrapa Amapá, 1ª edição, Publicação digitalizada, 2016. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/155947/1/CPAF-AP-2016-FOLDER-Sistema-simples-recirculacao-recria.pdf>>. Acesso em: 20 Mai de 2022

MARENGONI, N. G. **Produção de tilápia-do-Nilo, *Oreochromis niloticus* (linhagem chitralada), cultivada em tanques-rede, sob diferentes densidades de estocagem.** Archivos de Zootecnia, v. 55, n. 210, p. 127-138, 2006.

MARTINEZ, H.E.P. **O uso do cultivo hidropônico de plantas em pesquisa.** Viçosa: UFV. p. 37, 1997.

MARTINS, C. I. M.; EDING, E. H.; SCHNEIDER, O.; RASMUSSEN, R.; OLESEN, B.; PLESNER, L.; VERRETH, J. A. J. **Recirculation aquaculture systems in Europe.** Consensus Working Group 3. Recirculation systems. Scientific report. p.31, 2005.

MARTINS, C. I. M. et al. **New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability.** Aquacultural Engineering, v. 43, n. 3, p. 83-93, (2010).

- MARTINS, C. I. M.; EDING, E. P.; VERRETH, J. A. J. **The effect of recirculating aquaculture systems on the concentrations of heavy metals in culture water and tissues of Nile tilapia *Oreochromis niloticus***. Food Chemistry, v. 126, n. 3, p. 1001-1005, 2011.
- PANTANELLA, E. et al. **Aquaponics vs. Hydroponics: Production and Quality of Lettuce Crop**. XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium. p. 887-893. (2010).
- PIEDRAHITA, R. H. **Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation**. Aquaculture, v. 226, n. 1-4, p. 35-44, 2003.
- PORTO, E. P.; OLIVEIRA, C. A. L.; MARTINS, E. N.; RIBEIRO, R. P.; CONTI, A. C. M.; KUNITA, N. M.; OLIVEIRA, S. N.; PORTO, P. P. **Respostas à seleção de características de desempenho em tilápia-do-nilo**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, p. 745-752, 2015.
- RAKOCY, J. E.; LOSORDO, T. M.; MASSER, M. P. **Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics: integrating fish and plant culture**. Aquaculture Center Publications, n. 454, p. 1-7, 2006.
- RAKOCY, J. E. **Ten Guidelines for Aquaponic Systems**. Aquaponics Journal, v. 46, p. 14-17, 2007.
- RAKOCY, J. E. **Aquaponics - Integrating Fish and Plant Culture**. In: Tidwell, J.H. (Ed.1). Aquaculture Production Systems. Oxford: Wiley-Blackwell, p 343-386, 2012.
- RIBEIRO, E.F. **Desempenho de diferentes substratos em cultivo de alface aquapônico e hidropônico**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados. p. 50, 2017.
- ROCHA, A., BIAZZETTI FILHO, M., STECH, M. & SILVA, R. P. **Lettuce production in aquaponic and biofioc systems with silver catfish *Rhamdia quelen***. Bol Inst Pesca, p. 64-73, 2017.
- RODRIGUES, L.R.F. **Técnicas de cultivo hidropônico e de controle ambiental no manejo de pragas, doenças e nutrição vegetal em ambiente protegido**. Jaboticabal, FUNEP. p. 762, 2002.
- SÁ, M.V.C. **Limnocultura: limnologia para aquicultura**. Fortaleza: Edições UFC. p. 218, 2012.
- SANTOS, O.S. **Cultivos sem solo – Hidroponia**. 2ª reimpressão. Santa Maria: UFSM/CCR. p. 107, 2002.
- SANTOS, J. D. et al. **Development of a vinasse nutritive solution for hydroponics**. Journal of Environmental Management, v.114, (2013). p.8-12.
- SAMPAIO, L.A.N.D.; TESSER, M.B.; WASIELESKY JUNIOR, W.F.B. **Avanços da maricultura na primeira década do século XXI: piscicultura e carcinicultura marinha**. Revista Brasileira de Zootecnia. v.39, p.102-111, 2010.

SÁTIRO, T. M.; NETO, K. X. C. R.; DELPRETE, S. E. **Aquaponia: Sistema que integra produção de peixes com produção de vegetais de forma sustentável.** Revista Brasileira de Engenharia de Pesca. p. 38-54, 2018.

SILVA, C. A.; FUJIMOTO, R. Y. **Crescimento de tambaqui em resposta a densidade de estocagem em tanque-rede.** Acta Amazonica. p. 323-332, 2015.

SUMMERFELT, S. T.; SHARRER, M. J.; TSUKUDA, S. M.; GEARHEART, M. **Process requirements for achieving full-flow disinfection of recirculating water using ozonation and UV irradiation.** Aquacultural Engineering, v. 40, n. 1, p. 17–27, 2009.

TAL, Y.; SCHREIER, H. J.; SOWERS, K. R.; STUBBLEFIELD, J. D.; PLACE, A. R.; ZOHAR, Y. **Environmentally sustainable land-based marine aquaculture.** Aquaculture, v. 286, n. 1-2, p. 28–35, 2009.

TACHIBANA, L.; CASTAGNOLLI, N.; PEZZATO, L.E.; et al. **Desempenho de diferentes linhagens de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) na fase de reversão sexual.** Acta Scientiarum, v.26, n.3, p.305-311, 2004.

TEIXEIRA, N.T. **Hidroponia: uma alternativa para pequenas áreas. Agropecuária,** (1996).

TESTOLIN, G. **Avaliação da alface hidropônica usando água de piscicultura misturada com diferentes porcentagens de soluções nutritivas.** Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – ESALQ/USP. p.75, 2009

TIMMONS, M. B., EBELING, J. M., WHEATON, F. W., SUMMERFELT, S.T., VINCI, B.J., 2002. **Recirculating Aquaculture Systems, 2nd. ed.** Cayuga Aqua Ventures, Ithaca, NY.

TIMMONS, M. B., EBELING, J. M. **Recirculating Aquaculture,** 2nd edition. Cayuga Aqua Ventures, Ithaca, NY. 2010.

VERDEGEM, M. C. J.; BOSMA, R. H.; VERRETH, J. A. J. **Reducing water use for animal production through aquaculture.** International Journal of Water Resources Development, v. 22, n. 1, p. 101–113, 2006.

YEP, B.; ZHENG, Y. **Aquaponic trends and challenges - A review.** Journal of Cleaner Production, v. 228 p. 1586-1599, 2019.

ZOU, Y.; HU, Z.; ZHANG, J.; XIE, H.; GUIMBAUD, C.; FANG, Y. **Effects of pH on nitrogen transformations in media-based aquaponics.** Bioresour. Technol., v. 210, p.81-87, 2016.

ZOHAR, Y.; TAL, Y.; SCHREIER, H. J.; STEVEN, C.; STUBBLEFIELD, J.; PLACE, A. **Commercially feasible urban recirculated aquaculture: addressing the marine sector.** In: COSTA-PIERCE, B. (Ed.). Urban Aquaculture. Cambridge: CABI Publishing. p.159–171, 2005.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, por me dar saúde e sempre me guiar no caminho do bem.
Aos meus pais, Claudenice e Alex, por toda dedicação e apoio em todas as minhas decisões.
Aos familiares e amigos que se fazem presentes em minha vida. Ao Prof. Dr. Emanuel Soares dos Santos, por todo apoio acadêmico, paciência e dedicação de seu tempo ao orientar-me.