

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
ÊNFASE EM GESTÃO AMBIENTAL MARINHA E COSTEIRA**

MARIO LUIS BIAZZETTI FILHO

**POTENCIAL DE CRIAÇÃO DE JUNDIÁ EM SISTEMA INTEGRADO AO CULTIVO
DE ALFACE – AQUAPONIA COM E SEM O USO DE BIOFLOCOS**

IMBÉ

2018

MARIO LUIS BIAZZETTI FILHO

**POTENCIAL DE CRIAÇÃO DE JUNDIÁ EM SISTEMA INTEGRADO AO
CULTIVO DE ALFACE – AQUAPONIA COM E SEM O USO DE BIOFLOCOS**

Monografia apresentada à Atividade de Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas – Ênfase em Gestão Ambiental Marinha e Costeira na Universidade Federal do Rio Grande Do Sul

Orientador: Prof. Dr. Enio Lupchinski Junior

Coorientadora: Dra. Andréa Ferretto da Rocha

**IMBÉ
2018**

CIP - Catalogação na Publicação

Biazzetti Filho, Mario Luis
Potencial de criação de jundiá em sistema
integrado ao cultivo de alface - aquaponia com e sem
o uso de bioflocos / Mario Luis Biazzetti Filho. --
2018.

33 f.

Orientador: Enio Lupchinski Junior.

Coorientadora: Andréa Ferreto da Rocha.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Biociências, Curso de Ciências Biológicas: Gestão
Ambiental Marinha e Costeira, Porto Alegre, BR-RS,
2018.

1. Aquaponia. 2. Bioflocos. 3. Aquicultura. 4.
Jundiá. 5. Alface. I. Lupchinski Junior, Enio,
orient. II. Rocha, Andréa Ferreto da, coorient.

III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

MARIO LUIS BIAZZETTI FILHO

**POTENCIAL DE CRIAÇÃO DE JUNDIÁ EM SISTEMA INTEGRADO AO
CULTIVO DE ALFACE – AQUAPONIA COM E SEM O USO DE BIOFLOCOS**

Monografia apresentada à atividade de Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas – Ênfase em Gestão Ambiental Marinha e Costeira na Universidade Federal do Rio Grande Do Sul

Orientador: Prof. Dr. Enio Lupchinski Junior

Coorientadora: Dra. Andréa Ferretto da Rocha

Aprovada em: / /

BANCA EXAMINADORA

Raquel Cavadas Tavares Mesquita

Julio César Zemor

Prof. Dr. Ignacio Benites Moreno
Coordenador da atividade Trabalho de Conclusão de Curso II - CBM

IMBÉ
2018

RESUMO

A aquaponia, integração entre a aquicultura e a hidroponia, é um sistema considerado ambientalmente amigável por utilizar menor área e troca de água do que sistemas tradicionais de cultivo, tanto de animais aquáticos como de plantas. Neste sistema as plantas absorvem os nutrientes oriundos da produção aquícola e, desta forma, melhoram a qualidade da água para os animais produzidos. Este estudo buscou avaliar o desenvolvimento da alface *Lactuca sativa* e do jundiá *Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard, 1824) em três diferentes sistemas: aquaponia (Aqua); aquaponia com bioflocos (AquaBF) e hidroponia (Hidro), com três réplicas para cada tratamento. Os sistemas foram montados em caixas retangulares de fibra de vidro com volume de 1.000L, divididos na proporção de 1/3 para os peixes e o restante para as plantas, com circulação constante dentro de cada unidade experimental. Juvenis de *R. quelen* (n=168) foram distribuídos entre os tanques dos tratamentos Aqua e AquaBF. As alfaces foram colocadas em bandejas flutuantes na densidade de 20 plantas m⁻². A qualidade da água foi monitorada durante os 46 dias de experimento. Ao final do estudo foram analisadas 10 plantas de cada réplica para avaliar o desenvolvimento dos vegetais e uma biometria foi realizada para avaliar o crescimento dos peixes. Os resultados foram testados para normalidade ($\alpha = 0,05$) e o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis com *post hoc* de Dunn foi utilizado para verificar diferenças significativas entre os tratamentos para as variáveis analisadas. O tratamento AquaBF apresentou maiores valores médios de nitrito e turbidez que os demais tratamentos. O Hidro apresentou menores médias para peso fresco e seco de raízes e folhas, altura e diâmetro das plantas, comprimento das raízes e número de folhas. A produtividade dos sistemas foi avaliada em quilograma de alface por quilograma de peixes. Os tratamentos Aqua e AquaBF produziram respectivamente 1,9 e 2,6 Kg de alface por quilograma de peixe. A sobrevivência dos peixes foi de 100% e não houve diferença significativa no crescimento. O estudo mostrou que o jundiá *Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard, 1824) é uma espécie interessante para aquaponia em regiões semi-temperadas, e que é possível a integração da aquaponia com o sistema de bioflocos, otimizando o uso dos recursos e obtendo maiores produtividades.

Palavras-chave: aquicultura, aquaponia, bioflocos

ABSTRACT

Aquaponics, the integration between aquaculture and hydroponics, is being considered an ecofriendly system for utilizing less water and area than traditional methods for either culture. In these systems, the cultivated plants absorb the nutrients resultant from the aquaculture, providing better water quality for the livestock. This evaluated the performance of lettuce (*Lactuca sativa*) and silver catfish (*Rhamdia quelen* Quoy & Gaimard, 1824) in different aquaponics systems. Three systems (Aquaponics; Aquaponics and bioflocs; Hidroponics) were tested with three replicas for each treatment. Systems took place on 1000L rectangular fiberglass tanks divided in 0.80 m² for fishes and 1.70 m² for plants, there was water flow between them. *Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard, 1824) juvenile (168) were randomly placed on Aqua and AquaBF treatments. The lettuces were placed on floating trays at a density of 20 plants m⁻². Water quality was monitored during the 46 days of the experimental period. From each replica, 10 plants were used to assess development, and a biometry evaluated fish growth. The results were tested for normality ($\alpha = 0.05$) and the non-parametric Kruskal-Wallis test and Dunn's *post hoc* were used. AquaBF treatment showed higher values for nitrite and turbidity than other treatments. Hidro had lower averages for fresh and dry weight of leaves and roots, height and plant diameter, root length and number of leaves. The productivity of the aquaponics systems was assessed as the ratio of fish and plants production. Aqua and AquaBF yield respectively 1,9 and 2,6 Kg of lettuce per kilogram of fish. Fish survival rate was 100% with no growth difference between treatments. The study showed that *R. quelen* is an interesting species for aquaponics in semi-temperate regions, and that is possible to integrate aquaponics and bioflocs systems.

Key words: aquaculture, aquaponics, bioflocs

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Centro de Pesquisa Herman Kleerekoper.....	15
Figura 2 – Desenho do sistema experimental.....	17
Figura 3 – Foto de sistema experimental.....	17
Figura 4 – Foto dos tanques ao fim do experimento.....	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados de qualidade de água.....	20
Tabela 2 – Dados de crescimento de plantas e peixes.....	21

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1	AQUAPONIA.....	11
2.2	BIOFLOCOS.....	13
3	MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL.....	15
3.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL, UNIDADES EXPERIMENTAIS E MANEJO DO SISTEMA.....	16
3.3	DESENHO ESQUEMÁTICO.....	17
3.4	VARIÁVEIS DE QUALIDADE DE ÁGUA.....	18
3.5	ÍNDICES DE PRODUÇÃO.....	18
3.6	DELINEAMENTO ESTATÍSTICO.....	19
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5	CONCLUSÃO	27
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

1 INTRODUÇÃO

A aquaponia, também chamada de aquicultura multitrófica, é um tipo de produção que integra a aquicultura, cultivo de organismos que possuem parte ou toda sua vida no meio aquático, com a hidroponia; cultivo de plantas terrestres sem a utilização de solo e irrigadas por uma solução nutritiva, na qual os resíduos da aquicultura fornecem nutrientes para as plantas, que retirando-os da água, mantém a mesma em boas condições para os peixes, possibilitando o cultivo com menor renovação de água. Este modelo de sistema integrado tem sido considerado ambientalmente sustentável (MARTINS *et al.*, 2010) e, além disso, melhoram a eficácia da produção, mantendo a integridade dos ecossistemas explorados, otimizando o uso dos recursos empregados na produção de alimentos (CASTELANI *et al.*, 2009).

Em aquicultura, sistemas de recirculação de água clara e de bioflocos estão bastante difundidos comercialmente, e sua associação com a produção de hortaliças pode resultar em ganhos ambientais e econômicos.

A aquicultura e a agricultura precisarão se modernizar para atender à demanda pelos produtos, fazendo isso sem aumentar o uso dos recursos naturais básicos como água e terra, utilizando sistemas de cultivo que não sejam impactantes ao meio ambiente. O sistema de aquaponia é uma alternativa aos sistemas tradicionais de cultivo, necessitando de um baixo volume de água e menor área. O desenvolvimento de tecnologias para a produção de novas espécies, com ênfase para as espécies nativas, é citado pelo SEBRAE (2015) como uma das ações estratégicas para o fortalecimento da cadeia produtiva do pescado.

Para tanto, se faz necessário que haja investimento em pesquisas sobre a viabilidade do uso destas tecnologias, individualmente ou concomitantemente, bem como os gargalos de sua utilização no Rio Grande do Sul. Com o objetivo de investigar a utilização de um sistema integrado de produção de peixes e hortaliças, que pode maximizar a utilização dos recursos e ainda contribuir para a familiarização e estímulo a um sistema de produção sustentável de alimentos, um estudo foi desenvolvido para avaliar o potencial de produção de jundiás *Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard, 1824) em dois diferentes sistemas integrados ao cultivo de alface, de aquaponia tradicional e aquaponia com bioflocos, e também avaliar o desenvolvimento de alface *Lactuca sativa* produzida nos dois sistemas de aquaponia e em hidroponia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nas últimas cinco décadas a produção de pescado, incluindo aquicultura e pesca, vem crescendo em ritmo constante, aumentando a quantidade fornecida desse alimento em 3,2%, ultrapassando o crescimento de 1,6% da população mundial. Aliado a essa maior disponibilidade, o consumo mundial *per capita* de peixe aumentou de 9,9 kg em 1960 para 19,7 kg em 2013 (FAO, 2016).

No Brasil, em 2016, a produção da aquicultura nacional foi de 507,14 mil toneladas (IBGE, 2016), apontando um crescimento de 56% entre os anos 2001 e 2013. Na piscicultura, em 2013, o Rio Grande do Sul foi o 11º colocado no país com 15.679 toneladas produzidas, representando somente 4% da produção nacional (IBGE, 2013).

O fato de o pescado ser uma fonte de proteína de alta qualidade e sinônimo de comida saudável vem impulsionando a procura por esse alimento. Somado a isso, a piscicultura é viável ao pequeno produtor ou ao de subsistência, fazendo da piscicultura a atividade de produção animal que mais vem crescendo no mundo, com um aumento médio anual de 8,6% no período de 1980 a 2012 (FAO, 2014). Aliado a isso existe a preocupação dos impactos gerados pelo incremento da atividade no meio ambiente. Um desses impactos ainda é a introdução de espécies exóticas no ambiente natural, sendo uma alternativa o uso de espécies nativas. Contudo, a produção de peixes nativos do Rio Grande do Sul ainda é incipiente quando comparada à produção das espécies exóticas, tanto pela suscetibilidade à doenças como por apresentarem crescimento lento e gerarem custos elevados com alimentação (BALDISSEROTTO, 2009).

Para que a produção das espécies nativas seja estimulada entre os produtores, são necessários estudos que aperfeiçoem as técnicas de reprodução, produção e manejo, bem como um investimento em melhoramento genético e uso de rações adequadas à exigências nutricionais das espécies nativas.

Uma das opções de espécie nativa para o Rio Grande do Sul é o jundiá (*Rhamdia quelen* Quoy & Gaimard, 1824), por tolerar baixas temperaturas e ser resistente ao manejo (GOMES *et al.* 2000), sendo a espécie nativa com maior presença na piscicultura continental do Estado (BALDISSEROTTO, 2009), e também pela sua importância cultural na pesca artesanal e alimentação de famílias do Litoral Norte do Estado.

Segundo Malabarba *et al.* (2013), o jundiá (*Rhamdia quelen* Quoy & Gaimard, 1824) tem o corpo alongado, relativamente alto e coberto por couro de coloração marrom claro a cinza com ventre claro. Possui barbilhão maxilar longo ultrapassando a base das nadadeiras

pélvicas, nadadeira adiposa longa, dorsal e peitoral com espinhos não pungentes e caudal furcada com lobos arredondados. A espécie tem hábito de alimentação omnívora, preferindo peixes, mas também consome moluscos, crustáceos, insetos, restos de vegetais e detritos orgânicos. O jundiá está distribuído nas Américas Central e do Sul, presente no sul e sudeste do Brasil, podendo ser encontrado em rios, lagoas e arroios, adaptando-se a diferentes tipos de fundo. Na Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí é encontrado nas lagoas e nas partes baixas dos rios Maquiné e Três Forquilhas e banhados em suas margens.

2.1 AQUAPONIA

Um impacto potencial proveniente da atividade da aquicultura que pode ser citado é a grande renovação de água nos sistemas tradicionais de criação para manter a qualidade da água. Para melhorar o aproveitamento desse recurso tem se usado sistemas de recirculação de água, entre eles a aquaponia.

Aquaponia é um tipo de produção que integra a produção de peixes - aquicultura com a produção de hortaliças. Essa produção mescla características de cultivo hidropônico, onde plantas são produzidas a partir da imersão de raízes em uma solução nutritiva balanceada e a aquicultura. No sistema de aquaponia a principal diferença para a hidroponia é a presença de peixes no sistema, e também que a solução nutritiva empregada será o efluente da aquicultura. Essa integração tem sido avaliada nas últimas décadas em diversos sistemas e utilizando diferentes espécies de plantas e de organismos aquáticos, com diferentes protocolos experimentares (RAKOCY *et al.*, 2006).

Os estudos sobre aquaponia se iniciaram impulsionados pela necessidade de diminuir a dependência de terra, da água e minimizar o descarte de efluentes no meio natural. O pioneirismo é atribuído ao Dr. James Rakocy, que em 1970 já testava plantas como filtros naturais para os efluentes da piscicultura. Sistemas fechados de recirculação se mostraram os mais apropriados por apresentarem concentrações suficientes de nutrientes que podem ser utilizados para fertilizar o crescimento das plantas (SEAWRIGHT *et al.*, 1998).

Nos sistemas de aquaponia, a água da produção de peixes, rica em nitrogênio e fósforo, é transferida para as plantas, que absorvem os nutrientes do efluente da produção de peixes. Esta água, agora com concentrações reduzidas de nutrientes, poderá ser reutilizada pelos peixes (KLINGER; NAYLOR, 2012) em um sistema de recirculação. Neste sistema existe uma relação estabelecida entre os organismos aquáticos criados, bactérias e plantas, onde os nutrientes residuais da criação dos peixes após transformação microbiana resultam

em produtos absorvíveis pelas plantas, que em conjunto com a luz e uma correta oxigenação das raízes, favorecem o desenvolvimento dos vegetais (EMERENCIANO *et al.*, 2015).

Normalmente todos os nutrientes exigidos pelos vegetais são encontrados em níveis adequados na água de criação dos peixes (efluentes), sendo que alguns minerais como o ferro, o potássio e o cálcio podem ser limitantes, devendo, nesse caso, ser suplementados no sistema (EMERENCIANO *et al.*, 2015). Quanto ao tipo de vegetal utilizado nos sistemas aquapônicos, há um consenso sobre as hortaliças serem os vegetais mais apropriados, uma vez que são capazes de tolerar altos teores de água em suas raízes e significativas variações nos teores de nutrientes dissolvidos na solução nutritiva sem apresentarem sintomas de deficiências nutricionais (SOARES *et al.*, 2015a).

Entre as hortaliças, a alface (*Lactuca sativa*) é cultivada e consumida largamente em todas as regiões do Brasil, especialmente onde é praticada a agricultura familiar (SOARES *et al.*, 2015b). É cultivada globalmente para consumo fresco em saladas e já é produzida em cultivos hidropônicos de larga escala (CARVALHO *et al.*, 2015). Na produção tradicional de vegetais em hidroponia, faz-se o uso de uma solução nutritiva fertilizante para fornecer todos os nutrientes essenciais para o crescimento das plantas. Teoricamente a fertilização em sistemas de aquaponia não é necessária, já que os nutrientes necessários encontram-se disponíveis na água pela oferta de ração para os peixes em conjunto com os nutrientes provenientes das atividades microbianas que ocorrem no ambiente aquático (GODDEK *et al.*, 2015), tais como nitrato, nitrito e amônia.

A aquaponia se enquadra como uma atividade agregadora ao sistema de produção aquícola, atuando como filtro biológico, uma vez que a presença de vegetais e microorganismos torna possível a assimilação de compostos nitrogenados e outros nutrientes contidos na água, deixando-a com melhor qualidade (CORTEZ, 2009). Apresenta, ainda, muitas vantagens aos agroecossistemas convencionais, como maior eficiência no uso de água e área, aproveitamento de resíduos de outras culturas como fonte de nutriente, elevada produtividade, menor gasto de insumos e mão-de-obra, maior biossegurança, e necessitando de menor monitoramento da qualidade de água, de forma a facilitar o manejo do sistema (GRABER; JUNGE, 2009; RAKOCY *et al.*, 2006).

Esse tipo de produção integrada minimiza os efeitos negativos do processo produtivo, tanto de peixes como de hortaliças, sobre o meio ambiente, como a erosão e lixiviação de nutrientes, tornando a produção de peixes compatível com a sustentabilidade ambiental (MARTINS *et al.*, 2010).

2.2 BIOFLOCOS

Outra tecnologia que vem sendo empregada para melhorar o aproveitamento dos recursos em aquicultura é o sistema de bioflocos. Este sistema pode ser definido como um sistema de ressuspensão aeróbico, de cultura heterotrófica e com troca mínima de água popularmente chamado de tecnologia de bioflocos – BFT. O sistema de bioflocos já é utilizado comercialmente com grande sucesso na criação de camarões (WASIELESKY *et al.*, 2006; EMERENCIANO *et al.*, 2013, KRUMMENAUER *et al.*, 2014), tilápias (AZIM; LITTLE, 2008; CRAB *et al.*, 2012; AVNIMELECH, 2007) e também está sendo pesquisado para outras espécies de peixes como carpas (RUDOLF; HAEDO, 2013), tainhas (ROCHA *et al.*, 2012), e jundiás (POLI *et al.*, 2015).

Em um levantamento *online* feito no portal científico “Science Direct” em novembro de 2016, foram encontradas 530 publicações relacionadas ao sistema de bioflocos, sendo 313 publicadas a partir de 2010. Estes números mostram que o sistema de bioflocos vem sendo cada vez mais pesquisado, indicando que os pesquisadores da área de aquicultura vêm procurando soluções novas e sustentáveis, que minimizem os potenciais efeitos adversos da atividade.

O sistema de bioflocos é basicamente um sistema de criação sem renovação de água que, a partir do favorecimento de uma biota predominantemente aeróbica e heterotrófica, conseguida através da manipulação das relações entre carbono e nitrogênio na água, melhora a qualidade da água do sistema (AVNIMELECH, 1999). Monitorando e manejando corretamente a relação carbono *versus* nitrogênio do sistema, tanto pela adição de rações como outras fontes suplementares de carbono orgânico na água, os compostos nitrogenados presentes na água e que são tóxicos aos peixes passam a ser incorporados pelas bactérias heterotróficas do meio e convertidos em biomassa bacteriana, atuando como um biofiltro (AVNIMELECH, 1999; AVNIMELECH, 2007). Essa relação carbono:nitrogênio no sistema deve ser mantida em torno de 10-15C:1N (AVNIMELECH, 1999), sendo que Wasielesky *et al.* (2006) aconselham uma relação inicial de carbono/nitrogênio de 14-30C:1N, para que, ao iniciar a formação de bioflocos na água, haja grande e rápida produção heterotrófica. Após a formação e estabilização do sistema, de duas a seis semanas em média, essa relação pode ser reduzida para 6C:1N (EBELING *et al.*, 2006); uma vez que já foi evidenciado que são necessários 6g de carbono para imobilizar 1g de nitrogênio.

Os bioflocos são formados principalmente por bactérias, fezes, restos de organismos mortos, microalgas, exoesqueletos, cianobactérias e larvas de invertebrados, entre outros

micro-organismos que irão promover a assimilação dos compostos nitrogenados considerados tóxicos aos animais criados, possibilitando a reutilização da água por diversos ciclos de produção com mínima renovação (AVNIMELECH, 2007). A funcionalidade dos sistemas BFT está relacionada tanto ao controle da relação C:N, como a uma efetiva aeração, mistura e suspensão de partículas sólidas (HARGREAVES, 2006).

Além de contribuírem para a manutenção da qualidade da água, os bioflocos podem servir de suplementação alimentar aos organismos criados no meio, se estes puderem fazer o uso dos bioflocos na sua dieta, possibilitando uma redução nos custos com ração, que é o item mais caro da produção. A comunidade microbiana que será formada nos bioflocos e seus valores nutritivos dependem da espécie que está sendo criada e de seus hábitos alimentares (AVNIMELECH, 2007), sendo necessário o conhecimento desta composição e o acompanhamento do volume de bioflocos para garantir a funcionalidade do sistema e obter um melhor aproveitamento dos recursos investidos.

Wasiolesky *et al.* (2006) citaram como vantagens do sistema de bioflocos a troca mínima de água, assim como a possibilidade do aumento da densidade de cultivo, uma maior biossegurança, além da possibilidade de redução da quantidade de proteína nas rações e um menor impacto ambiental. Isso é possível uma vez que o sistema de bioflocos busca estabelecer uma ciclagem dos nutrientes dentro do sistema, minimizando o acúmulo de resíduos orgânicos na forma de excretas e sobras de ração, que com aeração e constante mistura, proporcionam condições ideais para bactérias que controlarão a qualidade da água e também servirão de alimentos para os peixes, completando assim o ciclo de nutrientes (AVNIMELECH, 2007).

Devido às características do jundiá, especialmente seu hábito alimentar, é possível que esta espécie se beneficie da utilização do sistema de bioflocos na sua criação. Estudos prévios vêm demonstrando isso, tanto a possibilidade da manutenção de juvenis (FIGUEIRÓ *et al.*, 2015) em sistemas BFT, assim como larvas, com resultados que demonstram uma melhora na sobrevivência desta espécie na presença de bioflocos (POLI *et al.*, 2015).

Os sistemas de aquaponia, assim como o sistema de bioflocos, são considerados abordagens emergentes e promissoras, combinando produção intensiva com reciclagem de nutrientes e economia de água (KLINGER; NAYLOR, 2012). Contudo, poucos estudos associam os dois sistemas, bem como à produção de peixes nativos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL

O projeto de pesquisa foi desenvolvido no Centro de Pesquisas Herman Kleerekoper (29° 38' 26.90"S 050° 06' 13.47"W) do Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária - Seapi no município de Terra de Areia - RS, nas instalações disponíveis no local, durante os meses de Julho e Agosto de 2015.

Durante o período experimental a temperatura média foi 18,6°C, a umidade relativa do ar média 85,2% e a precipitação acumulou 300,4 mm.

Figura 1 – Centro de Pesquisas Herman Kleerekoper.



Fonte: O Autor (2015)

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL, UNIDADES EXPERIMENTAIS E MANEJO DO SISTEMA

Neste experimento foram avaliados dois sistemas integrados de cultivo de hortaliças e criação de peixes - aquaponia e um sistema de hidroponia, totalizando três tratamentos com três réplicas cada, sendo:

- a) Aqua - Sistema de aquaponia tradicional;
- b) AquaBF - Sistema de aquaponia com bioflocos;
- c) Hidro - Sistema de hidroponia.

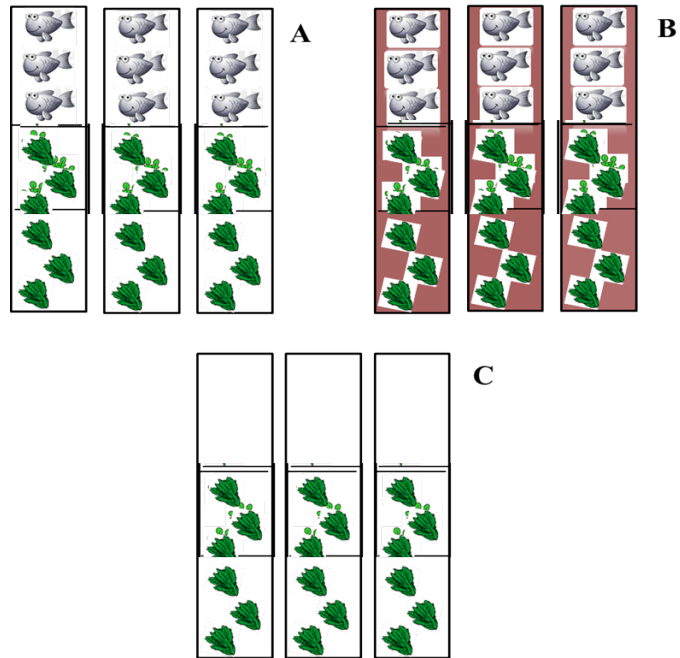
Os peixes utilizados, disponibilizados pelo Centro de Pesquisa Herman Kleerekoper - DDPA, foram mantidos em dois sistemas distintos de aquaponia com baixa renovação de água (saída por extravasamento devido à precipitação e reposição em razão da evaporação). Um sistema de aquaponia foi mantido em água clara e outro sistema foi mantido com bioflocos, ambos contendo exemplares de jundiá (*Rhamdia quelen* Quoy & Gaimard, 1824) e alface (*Lactuca sativa* L.).

O sistema de cultivo foi montado em tanques retangulares de fibra de vidro (5,0 m x 0,4 m x 0,5 m – 1.000 L), Um terço do volume dos tanques foi destinado aos peixes e o restante para as bandejas flutuantes das hortaliças nos sistemas de aquaponia, utilizando uma tela que apesar de separar as culturas permitia um fluxo constante de água entre elas. Todos os tanques foram preenchidos com água fresca de fonte natural (condutividade elétrica: 46 $\mu\text{S cm}^{-1}$; sólidos dissolvidos totais: 25 mg L^{-1}). O tratamento aquaponia com bioflocos utilizou 10% do volume de um inóculo contendo bioflocos, obtendo uma densidade inicial de 35 ml/L , proveniente de um reator de bioflocos previamente formado (condutividade elétrica: 1700 $\mu\text{S cm}^{-1}$; sólidos dissolvidos totais: 910 mg L^{-1}), e uma reposição deste inóculo de bioflocos foi feita no 25º dia para manter a densidade inicial. Para evitar a sedimentação dos bioflocos, foram utilizadas bombas submersas (650 L h^{-1} , 11 W, 60 Hz, 220 v, Sarlo Better[®]) em cada tanque deste tratamento. O reator de bioflocos foi iniciado a partir de fertilização orgânica com adição de melão, farelo de trigo e ração comercial de peixes a uma proporção de C:N de aproximadamente 20:1, modificado a partir de Avnimelech (2009). No tratamento de hidroponia apenas a área das hortaliças foi ocupada. Para fornecer os macro e micronutrientes necessários ao crescimento das alfaces, foram utilizadas duas soluções nutritivas comerciais na água da seguinte maneira: foi adicionada nos tanques no início do experimento 300 mL da solução 1 (N:65 g L^{-1} ; P_2O_5 : 104 g L^{-1} , K_2O : 104 g L^{-1} , B: 6.5 g L^{-1} , Ca: 13.0 g L^{-1} , Cu: 2.6 g L^{-1} , Fe: 1.3 g L^{-1} , Mn: 6.5 g L^{-1} , Mg: 13.0 g L^{-1} , Mo: 0.65 g L^{-1} , S: 28.21 g L^{-1} , Zn: 13.0 g L^{-1} ,

e 5.97% aminoácidos) e no 28º dia foram adicionados mais 200mL ; da solução 2 (N:12.7 g L⁻¹; P:381 g L⁻¹), 100 mL foram adicionados aos tanques no início do experimento e 50 mL no 28º dia.

3.3 DESENHO ESQUEMÁTICO

Figura 2 – Desenho esquemático do sistema experimental e a aplicação dos tratamentos durante o estudo.



Fonte: Andréa Ferretto da Rocha (2015)

Figura 3 – Foto dos tanques utilizados no estudo.



Fonte: O Autor (2015)

A densidade de estocagem utilizada foi de $0,5 \text{ kg/m}^3$ de peixes para os sistemas de aquaponia. As hortaliças foram estocadas nas bandejas flutuantes (isopor; com substrato comercial, espaçadas cerca de 15 cm) na densidade de 20 plantas m^{-2} .

Juvenis de *Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard, 1824) (N=168; peso inicial médio de $19,53 \pm 5,13 \text{ g}$) foram distribuídos aleatoriamente nos tanques correspondentes aos sistemas Aqua e AquaBF, com biomassa igual em todos os tanques ($504,64 \pm 38,72 \text{ g}$). Os peixes foram mantidos e manejados de acordo com o protocolo aprovado pelo Comitê de Ética de Uso Animal (CEUA-IPVDF Número 25/15). Foi ofertada ração comercial extrusada na quantia de 3% da biomassa, dividida em três vezes ao dia. Os níveis de garantia do fabricante de ração eram 32% proteína bruta Kg^{-1} , 300 mg vitamina C Kg^{-1} , 10% umidade, matéria mineral 12%, matéria fibrosa 5.5%, EE (mín) 60 g Kg^{-1} , Ca 5 (mín) - 25 (máx) g Kg^{-1} , P (mín.) 6 g Kg^{-1} Cu: 5 mg Kg^{-1} , Fe: 30 mg Kg^{-1} , Mn: 30 mg Kg^{-1} , Zn: 60 mg Kg^{-1} . A sobrevivência, peso final, ganho de peso (balança digital semianalítica, 0.001 g, Shimadzu[®]) e conversão alimentar (alimento fornecido/ganho em peso) dos peixes foi avaliada ao final do estudo, que teve duração de 46 dias.

3.4 VARIÁVEIS DE QUALIDADE DE ÁGUA

Os parâmetros de oxigênio dissolvido e temperatura da água (equipamento multiparâmetros YSI[®] 55), pH (pHmetro portátil ou fita indicadora pH 0-14, Macherey-Nagel[®]), condutividade elétrica (condutivímetro portátil EC/TDS Hanna Instruments[®], HI 99300), alcalinidade total (titulação segundo Baumgarten et al., 1996), amônia e nitrito total (colorimetria em espectrofotômetro Quimis[®] de acordo com Koroleff (1976) e Strickland e Parsons (1972), respectivamente), sólidos suspensos totais (SST – filtragem e pesagem-verificado pelo método de volatilização gravimétrica de acordo com Strickland e Parsons (1972)), volume de bioflocos (cone Imhoff) e turbidez (turbidímetro, unidades nefelométricas de turbidez, Hanna Instruments[®], HI 98703) foram continuamente monitorados durante o estudo para acompanhamento da qualidade de água.

3.5 ÍNDICES DE PRODUÇÃO

Após 46 dias de ensaio, foi realizada a colheita das hortaliças e coleta dos peixes para avaliação do desempenho produtivo das plantas e dos peixes nos diferentes tratamentos.

Dez plantas de cada tratamento foram coletadas para análise da altura da planta (cm), diâmetro da cabeça (cm), comprimento da raiz (cm), número de folhas por planta, peso fresco das folhas e raízes (g), peso seco das folhas e raízes (g) e o peso fresco e seco das plantas (g). O material foi colocado em sacolas de papel e seco em estufa por 36 horas a 70°C e pesado com balança analítica (0.001 g, Marte[®]). O teor de Clorofila *a*, *b* e (*a+b*) das folhas foi realizado em tréplicas (três análises por folha), uma folha por planta no topo de cada umas das 10 plantas, usando um clorofilômetro portátil (Clorofil LOG[®] modelo CFL 1030- Falker Agricultural Automation), que expressa resultados em um Índice Falker de Clorofila.

A biometria inicial e final dos peixes foi realizada para verificar o comprimento total (cm) e biomassa (g). Também foi calculada a sobrevivência (%), ganho de peso (g), taxa de crescimento diário (g dia⁻¹) e conversão alimentar (CA) ao final do estudo.

3.6 DELINEAMENTO ESTATÍSTICO

O estudo foi realizado em delineamento inteiramente ao acaso, com três tratamentos e três repetições cada. Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando detectada diferença significativa entre os tratamentos na análise de variância, o teste de Tukey foi aplicado. Quando não cumpridas as premissas para análise de variância de normalidade e/ou homocedasticidade dos dados, a análise não paramétrica de Kruskal-Wallis foi aplicada. Os valores em percentual foram previamente transformados (arcoseno da raiz quadrada de $x/1$) (SOKAL; ROHLF, 2012). As análises estatísticas foram executadas ao nível de significância de 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os sistemas de produção avaliados neste estudo mostraram resultados preliminares que apontam para a possibilidade de se usar um tanque único para a produção vegetal e de peixes.

Os parâmetros de qualidade de água dos três sistemas avaliados podem ser observados na Tabela 1. Não foi observada diferença significativa ($p>0,05$) para a temperatura da água, sólidos suspensos totais e amônia tóxica. Os outros parâmetros a seguir mostraram diferenças significativas. AquaBF mostrou um valor maior que Aqua e Hidro para nitrito e turbidez. O tratamento Hidro teve maior concentração média de oxigênio dissolvido, e pH mais ácido que Aqua e AquaBF. Para condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais e alcalinidade foram observadas diferenças entre os três tratamentos. A condutividade elétrica e sólidos dissolvidos totais mostraram correlação positiva (0,998).

Tabela 1 – Dados de qualidade de água.

	Hidro	Aqua	AquaBF	P
Temperatura (°C)	18±2.6	18±2.50	18±2.53	0.832
Sólidos suspensos totais (mg L ⁻¹)	225±241	375±391	425±238	0.129
Amônia (NH ₃ -N mg L ⁻¹)	0.006±0.003	0.010±0.015	0.021±0.038	0.691
Amônia total (mg L ⁻¹)	1.91±2.07b	0.66±0.99ab	0.37±0.55a	0.022
Nitrito (NO ₂ -N mg L ⁻¹)	0.060±0.086a	0.046±0.049a	0.224±0.266b	0.002
Turbidez (NTU)	6.8±5.2a	7.3±6.6a	211.6±154.2b	<0.0001
Oxigênio dissolvido (mg L ⁻¹)	7.11± 1.21b	6.52±1.78a	5.87±1.85a	< 0.0001
pH	5±0.9a	7±0.4b	7±0.6b	<0.0001
Condutividade (µS cm ⁻¹)	341.5±146c	45.4±6a	172.5±54b	<0.0001
Sólidos dissolvidos totais (mg L ⁻¹)	1834±79c	25±3a	92±31b	<0.0001
Alcalinidade (CaCO ₃ mg L ⁻¹)	4 ±5a	20±10b	54±11c	<0.0001

Fonte: O Autor (2015)

Letras diferentes nas linhas indicam diferença significativa entre os valores ($p<0.05$).

Valores (valor médio ± desvio padrão) de parâmetros de qualidade da água para os sistemas de hidroponia (Hidro), aquaponia (Aqua) e aquaponia com bioflocos (AquaBF) usados para a produção de alface (*Lactuca sativa*) e jundiás (*Rhamdia quelen* Quoy & Gaimard, 1824); valores P (teste Kruskal-Wallis).

Na Tabela 2, se observa os resultados de crescimento dos peixes durante o período experimental e também das variáveis utilizadas para analisar o desenvolvimento das

hortaliças nos três tratamentos. Durante o estudo não foi possível considerar diferença significativa ($p>0.05$) no crescimento dos peixes com a adição dos bioflocos, apesar deste tratamento, AquaBF, apresentar taxa de conversão alimentar melhor. A sobrevivência dos peixes foi de 100% em ambos os tratamentos.

Tabela 2 – Dados de crescimento de peixes e plantas.

	Hidro	Aqua	AquaBF	P
Peixes				
Peso inicial (g peixe ⁻¹)	-	20.00±1.34	19.04±0.54	0.181
Peso final (g peixe ⁻¹)	-	31.06±1.29	31.18±1.40	1.00
Ganho de peso (g peixe ⁻¹)	-	11.06±0.55	12.14±1.52	0.423
Ganho de peso dia ⁻¹ (g peixe ⁻¹)	-	0.24±0.01	0.26±0.03	0.423
Taxa de conversão alimentar	-	1.32±0.14	1.15±0.15	0.275
Alface				
Peso fresco (g planta ⁻¹)	2.6±0.6a	24.6±14.1b	39.8±30.9b	<0.0001
Peso seco (g planta ⁻¹)	0.48±0.33a	2.39±1.23b	3.68±2.11b	<0.0001
Peso fresco raízes (g planta ⁻¹)	8.4±2.16a	28.1±10.3b	32.1±14.0b	<0.0001
Peso seco raízes (g planta ⁻¹)	1.68±0.41a	3.33±1.11b	3.84±1.54b	<0.0001
Peso fresco total (g planta ⁻¹)	10.7±1.98a	52.75±24.28b	76.67±47.21b	<0.0001
Peso seco total (g planta ⁻¹)	2.14±0.53a	5.71±2.22b	8.36±4.72b	<0.0001
Comprimento raízes (cm planta ⁻¹)	7.4±3.7a	42.0±6.9b	39.3±7.5b	<0.0001
Altura (cm planta ⁻¹)	6.3±0.7a	12.0±1.5b	14.5±3.7b	<0.0001
Número de folhas/planta	11±2a	17±4b	20±7b	<0.0001
Diâmetro (cm planta ⁻¹)	7.87±0.8a	15.7±2.7b	18.9±4.8b	<0.0001
Diâmetro do caule (cm planta ⁻¹)	0.72±0.25a	1.03±0.20b	0.93±0.23b	<0.0001
Clorofila <i>a</i> (CIF)	15.00±2.35a	16.96±1.49b	14.45±2.26a	<0.0001
Clorofila <i>b</i> (CIF)	2.89±0.47a	3.29±0.40b	2.73±0.41a	<0.0001
Clorofila <i>a+b</i> (CIF)	17.88±2.80a	20.25±1.85b	17.18±2.64a	<0.0001

Fonte: O Autor (2015)

Letras diferentes nas linhas indicam diferença significativa entre os valores ($p<0.05$).

Parâmetros de crescimento de jundiás (*Rhamdia quelen* Quoy & Gaimard, 1824) e alface (*Lactuca sativa*) durante 46 dias em sistemas de hidroponia (Hidro), aquaponia (Aqua) e aquaponia com bioflocos (AquaBF); valores médios são apresentados como média \pm desvio padrão.

Diferenças significativas foram observadas no crescimento das hortaliças. Foi observado que os tratamentos Aqua e AquaBF foram mais produtivos que Hidro, o qual apresentou médias menores para diâmetro da cabeça, altura, diâmetro do caule, comprimento das raízes, número de folhas, peso fresco e peso seco das raízes e folhas. Aqua e Aqua BF não mostraram diferenças significativas entre eles para essas variáveis. Os resultados de clorofila *a* e *b* foi significativamente superior em Aqua comparado com Hidro e AquaBF.

Os parâmetros de qualidade da água se mantiveram dentro das características consideradas adequadas para a sobrevivência do jundiá durante o período de estudo (BALDISSEROTTO *et al.*, 2004).

Comparações de produtividade de vegetais em sistemas hidropônicos e aquapônicos demonstraram equivalência entre eles (BLIDARIU; GROZEA, 2011), entretanto, neste estudo os sistemas aquapônicos demonstraram vantagens significativas no crescimento das hortaliças quando comparados a hidropônico.

Os tratamentos Aqua e AquaBF apresentaram condições ambientais que possibilitaram o desenvolvimento dos peixes durante o período experimental, com ganho de peso médio de 11,06g em Aqua e 12,14g em AquaBF, sem diferença significativa entre os dois tratamentos.

O jundiá é conhecido por apresentar crescimento positivo mesmo em temperaturas nas quais outras espécies tropicais poderiam parar o desenvolvimento (GARCIA *et al.*, 2008), por isso pode ser considerado uma espécie interessante para produtores de aquaponia de regiões de clima subtropical. Os sistemas estavam no mesmo ambiente, não ocorrendo diferença estatística entre os valores de temperatura da água, que esteve dentro dos limites normais para o inverno na Região Sul do Brasil (GARCIA *et al.*, 2008). A temperatura do ar e da água durante o experimento também estiveram propícias para o crescimento e qualidade das hortaliças. Temperaturas entre 15 e 24°C, com mínimo de 7°C são ideais para o crescimento de alface (CAMPOS, 2013).

Altos teores de oxigênio dissolvido na água são benéficos para os micro-organismos fixadores presentes nas raízes das plantas, enquanto que em baixas concentrações de oxigênio dissolvido existe maior chance de efeitos negativos nesses micro-organismos (RAKOCY, 2007). A baixa concentração de oxigênio nos tratamentos Aqua e AquaBF foi causada pelo consumo dos peixes e dos micro-organismos aeróbicos (HARGREAVES, 2013).

Os valores de sólidos suspensos totais mostraram grande desvio padrão, atribuído à grande precipitação durante o período experimental. O uso de estufas pode prevenir este tipo de interferência. Em sistemas de aquaponia é comum a utilização de filtros mecânicos ou tanques de sedimentação para evitar o bloqueio do sistema (CORTEZ *et al.*, 2009). Uma vez que o estudo fez uso de bioflocos, estes mecanismos não foram utilizados. O uso da tecnologia de bioflocos promove um aumento controlado dos sólidos suspensos totais pela presença de flocos microbianos que também podem servir de alimento para os peixes (AVNIMELECH, 2007). A concentração ideal de sólidos suspensos totais pode ser diferente de uma espécie para outra e pode variar de acordo com o estágio de desenvolvimento da espécie e do método de criação. Poli *et al.* (2015) indicaram a concentração de sólidos suspensos totais – SST de 200 mg/L para melhorar o desenvolvimento de larvas de jundiá em sistema de bioflocos. Contudo, neste estudo não foi possível observar benefícios da adição de bioflocos para o desenvolvimento dos peixes em relação ao tratamento sem a presença de bioflocos, talvez devido ao elevado valor de SST.

A adição de bioflocos nos tanques do tratamento AquaBF promoveu uma boa qualidade da água mesmo sem renovação e sem efeitos negativos para as plantas. O uso de bioflocos também não causou efeitos negativos aos peixes quando comparado ao tratamento Aqua, tendo 100% de sobrevivência em ambos os tratamentos. O inóculo de bioflocos utilizado nos tanques AquaBF foi coletado de um reator de bioflocos fertilizado com melão, que junto com as partículas em suspensão aumentam a turbidez da água nos tanques. A alta turbidez inibe o desenvolvimento de organismos fotoautotróficos como o fitoplâncton, o que é geralmente positivo. A proliferação de fitoplâncton em sistemas de bioflocos não é desejada, pois pode causar flutuações nos níveis de oxigênio dissolvido, concentração de amônia e pH (BURFORD *et al.*, 2003).

As médias de alcalinidade demonstraram que a presença de peixes e a adição de ração aumentaram a produção de bicarbonatos. Este aumento foi de 5,5 vezes para Aqua e 13,5 vezes para Aqua BF. O bicarbonato é responsável por manter os valores de pH estáveis (SANTOS *et al.*, 2010), mas em altos níveis requer maior cuidado no manejo do pH para realizar o cultivo de alface. O aumento da alcalinidade no sistema com bioflocos também pode ser explicado pela ocorrência de um processo de desnitrificação nas microzonas anóxicas no interior dos bioflocos (EBELING *et al.*, 2006) e pela retirada de nitrito da água pelas plantas que liberam OH⁻ na água, aumentando o pH e a alcalinidade (CARRIJO *et al.*, 2000). Estes resultados são suportados por Zou *et al.* (2016) que demonstraram a presença de bactérias desnitrificantes vivendo em ambientes aquapônicos alcalinos.

Carrijo *et al.* (2000) propuseram uma solução para cultivo hidropônico de alface com condutividade elétrica (CE) entre 1.5 e 2.3 mS cm⁻¹, e segundo Martinez & Silva Filho (1997) o valor máximo de CE tolerado pela alface é de 2,5 mS cm⁻¹. Sobre sólidos dissolvidos totais (SDT), Rakocy *et al.* (2006) recomenda a manutenção em torno de 1.000 a 1.500 ppm para hidroponia e 200 a 400 para aquaponia. Neste estudo, os valores médios de CE para o tratamento Hidro foram mais elevados do que nos tratamentos Aqua e AquaBF. Entretanto a CE permaneceu em aproximadamente 20% do recomendado. Houve uma correlação positiva entre CE e SDT, como esperado e já relatado por Walton (1989).

No tratamento Hidro, os valores de SDT estavam de acordo com os indicados na literatura, enquanto nos tratamentos de Aqua e AquaBF ficaram abaixo do recomendado na literatura. Isso indica que Hidro tinha uma maior quantidade de íons dissolvidos na água (CE e SDT) e desta forma, mais nutrientes para as plantas, que não se refletiu em melhor crescimento das plantas, sendo observado melhor crescimento nos sistemas de aquaponia que apresentaram CE significativamente menor.

A medição da clorofila foliar, usada como um indicador fisiológico, é importante para avaliar o estado nutricional da planta em relação ao nitrogênio (ARGENTA *et al.*, 2001). O nitrogênio tem um papel na formação de aminoácidos, proteínas, enzimas, coenzimas, vitaminas e pigmentos como a clorofila nas plantas, sendo determinante para o seu crescimento e desenvolvimento (LUZ *et al.*, 2008), indicando uma relação entre nitrogênio e a concentração de clorofila nas folhas (FERREIRA *et al.*, 2006; OLIVEIRA *et al.*, 2010). Os resultados de concentração de clorofila *a*, *b* e *a + b* neste estudo não indicaram diferença entre AquaBF e Hidro, com concentrações mais baixas que o tratamento Aqua. Apesar disso, as plantas em ambos os tratamentos de aquaponia apresentaram maior crescimento. Licamele (2009) reportou índices de biomassa e clorofila iguais comparando aquaponia e hidroponia. Entretanto, neste estudo, os índices de clorofila não foram considerados bons parâmetros, uma vez que o sistema que apresentou maior concentração de clorofila não apresentou bom desenvolvimento das plantas, possivelmente devido a parâmetros inerentes ao próprio desenho experimental dos tratamentos analisados.

Os valores mais altos de amônia total encontrados em Aqua quando comparado com AquaBF, apesar de não diferirem significativamente, podem ser explicados pela presença de bactérias heterotróficas e autotróficas no sistema de bioflocos, o qual apresentou os menores valores para esse composto tóxico aos peixes. Bactérias heterotróficas fazem a captura da amônia e a transformam em proteínas microbiana e bactérias autotróficas quimiossintetizantes fazem a oxidação da amônia em nitrito e nitrito em nitrato (EBELING *et al.*, 2006). Esta

hipótese é reforçada pelas medições de concentração de nitrito na água, que foram mais altas em AquaBF que nos outros tratamentos. As bactérias nitrificantes podem também estar associadas a substratos no tanque ou nas raízes das plantas (RAKOCY *et al.*, 2006).

O sistema de bioflocos é composto por micro-organismos heterotróficos, autotróficos e fotoautotróficos (BURFORD *et al.*, 2003), e o aumento e prevalência das bactérias heterotróficas são desejados para promover a decomposição de matéria orgânica, reduzir as taxas de amônia e servir de alimento adicional para os peixes (AVNIMELECH, 1999). Tang & Chen (2015) reportaram que pequenas quantidades de substrato de carbono orgânico podem beneficiar a nitrificação, corroborando com os achados deste estudo.

Os resultados apresentados pelos tratamentos Aqua (nitrito 0.046mg L⁻¹; amônia 0.010mg L⁻¹) e AquaBF (nitrito 0.224mg L⁻¹; amônia 0.021mg L⁻¹) demonstraram a efetividade da reciclagem dos compostos nitrogenados, ficando abaixo dos níveis de segurança para a espécie. Níveis de amônia de 0,4 a 2,0 mg L⁻¹, dependendo do pH podem provocar mortes dos jundiás em poucos dias, enquanto os níveis de nitrito (NO₂) de 0,5 a 1,0 mg L⁻¹ já são prejudiciais ao metabolismo dos peixes (GRAEFF *et al.*, 2008).

A baixa produtividade de alface no tratamento Hidro pode ser explicado pelo pH ácido (5,0) da água que nos dois tratamentos de aquaponia mostraram valores mais apropriados para fornecer os componentes biológicos presentes nesses sistemas (RAKOCY *et al.*, 2006).

O pH afeta o fornecimento de nutrientes na água já que a nitrificação é inibida quando o pH está baixo (TANG; CHEN, 2015), sendo confirmado por Zou *et al.* (2016) que reportou concentrações baixas de nitrito com pH 6.0 em aquaponia. A maioria das plantas em hidroponia suportam variações de pH entre 5.5 e 6.5 (CARMELLO; ROSSI, 1997), mas seu melhor desenvolvimento ocorre entre os pH 5.8 e 6.2 e, pH menor que 6.0, reduz a disponibilidade de fósforo, cálcio, magnésio e molibdênio para as plantas (RAKOCY *et al.*, 2006). Este resultado está de acordo com o encontrado por Zou *et al.* (2016) que obteve melhor produção de vegetais em pH 6.0 do que em pH 7.5 e 9.0, em aquaponia, tendo sido encontrado em ambos os tratamentos de aquaponia um pH igual 7. É importante ressaltar que o nutriente mais retirado da água pelas plantas é o nitrato e, por isso, a nitrificação deve ser estimulada em sistemas de aquaponia e o pH deve ser ajustado para se adequar a ela.

Em termos de produção de alface, o número de folhas em Aqua e AquaBF foi maior que os observados por Geisenhoff *et al.* (2014), que estudou vários substratos para alface, embora o período experimental usado por esses autores tenha sido de 33 dias. A maior média de peso seco e fresco das plantas inteiras, cabeça, raízes e número de folhas foi observado nos tratamentos Aqua e AquaBF, mostrando uma melhor produtividade que o tratamento Hidro.

Um das principais vantagens da aquaponia é a possibilidade de otimizar os recursos utilizados beneficiando duas ou mais culturas, como peixes e plantas. Além disso, a produção de vegetais sem o uso de agrotóxicos, que traria prejuízo aos peixes, faz deste um método interessante econômica e ecologicamente. Segundo Graber & Junge (2009), um sistema típico de aquaponia pode produzir aproximadamente 7 Kg de vegetais para cada 1 Kg de peixes. Neste estudo, os sistemas Aqua e AquaBF produziram, em média, 1,9 e 2,6 Kg de alface para cada 1 kg de peixes, respectivamente, indicando que, produtivamente, AquaBF obteve números melhores que Aqua, mesmo sem diferenças significativas entre eles. Desta forma, deve ser levado em conta o fato dos nutrientes serem disponibilizados para as plantas diariamente pela oferta de ração, e a adição de bioflocos beneficia este sistema.

A AquaBF elimina a necessidade de renovação de água ou o uso de um biofiltro, comum em sistemas tradicionais de aquaponia, e sem a adição de fertilizantes químicos, como usam os sistemas de hidroponia.

Figura 4 –Imagem dos tanques ao final do estudo.



Fonte: Andréa Ferreto da Rocha (2015)

5 CONCLUSÃO

A aquaponia se mostrou um sistema de cultivo viável em pequena escala, sem grandes investimentos e com manejo simples, podendo ser considerada uma atividade interessante para pequenos produtores e para a agricultura familiar. Este sistema, além de unir recursos para realizar dois cultivos diferentes, também é livre de fertilizantes químicos e tem baixa demanda por água.

O nitrato é o nutriente mais retirado da água pelas plantas, desta forma, a nitrificação deve ser estimulada em sistemas de aquaponia para melhorar a reciclagem deste e de outros nutrientes e otimizar ao máximo os recursos empregados no cultivo, fazendo dela um sistema interessante tanto do ponto de vista ecológico quanto econômico. O pH, que se mostrou importante para o crescimento das alfaces neste estudo, deve ser ajustado para se adequar à nitrificação, uma vez que, possivelmente, impactou a absorção de nutrientes pelas raízes.

A aquaponia pode ser utilizada em conjunto com o sistema de bioflocos, que tem papel similar ao de um biofiltro em sistemas convencionais de aquaponia, o de promover a reciclagem de nutrientes, podendo eliminar a necessidade deles, além de servir de suplementação alimentar.

O jundiá se mostrou adaptado às condições locais e de cultivo, resistindo a temperaturas mínimas de 7,8°C e máximas de 33,7°C, sem mortalidade, sendo assim uma espécie viável em locais com temperaturas mais baixas.

Os resultados observados neste estudo permitem concluir que o jundiá pode ser considerado uma espécie interessante para aquaponia em regiões semitemperadas, em conjunto com hortaliças como a alface, com e sem bioflocos, indicando uma produtividade total (peixes + hortaliças) mais elevada quando comparada ao sistema de hidroponia. O uso de bioflocos em sistemas de aquaponia precisa de mais estudos para aperfeiçoar e simplificar o uso desta tecnologia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARGENTA, G. et al. Teor de Clorofila na folha como indicador de nível nitrogênio em cereais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.4, p.715-722, 2001.

AVNIMELECH, Y. **Biofloc Technology**: A practical guide book. 2.ed. Baton Rouge: The World Aquaculture Society, 2009.

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

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

AZIM, M.E; LITTLE, D.C. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, Amsterdam, v.283, p.29-35, 2008

BALDISSEROTTO, B. Piscicultura continental no Rio Grande do Sul: situação atual, problemas e perspectivas para o futuro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.1, jan-fev 2009.

BALDISSEROTTO, B.; SILVA, L.V.F. Qualidade da água. In: BALDISSEROTTO B, RADÜNZ NETO J. (Ed). **Criação do jundiá**. Santa Maria: UFSM, p.73-94, 2004.

BAUMGARTEN, M.G.Z. et al. **Manual de análises em oceanografia química**. Rio Grande: Ed. Furg, 1996.

BLIDARIU, F.; GROZEA, A. Increasing the economical efficiency and sustainability of indoor fish farming by means of aquaponics-review. **Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies**, Timisoara, v.44, n.2, p.1-8, 2011.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Pecuária Municipal 2013**. Rio de Janeiro, v.41, p.1-108, 2013.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Pecuária Municipal 2016**. Rio de Janeiro, v.44, p.1-28, 2016.

BRASIL. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Aquicultura no Brasil**. Brasília: SEBRAE, 2015. 76p.

BURFORD, M.A. et al. Nutrient and microbial dynamics in high-intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize. **Aquaculture**, Amsterdam, v.219, p.393–411, 2003.

CAMPOS, A.D. 14300-Identificação de critérios para cultivo de alface orgânica no Rio Grande do Sul. **Cadernos de Agroecologia**, Porto Alegre, v.8, n.2, p.1-5, 2013.

CARMELLO, Q.A.C.; ROSSI, F. Hidroponia - solução nutritiva. **Centro de Produções Técnicas**, Viçosa, n.111, 56 p., 1997.

CARRIJO, A.O. et al. Princípios de nutrição mineral, formulação e manejo da solução nutritiva In: CARRIJO AO, MAKISHIMA M. (Ed). **Princípios de Hidroponia**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2000. (Circular Técnica 22).

CARVALHO, R.O. et al. Hydroponic lettuce production and minimally processed lettuce. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, p.290-293, 2015. Special issue.

CASTELLANI, D. et al. Aquaponia: Aproveitamento do efluente do berçário secundário do Camarão-da-Amazônia (*Macrobrachium amazonicum*) para produção de alface (*Lactuca sativa*) e agrião (*Rorippa nasturtium aquaticum*) hidropônicos. **Bioikos**, Campinas, v.23, n.2, p.67-75, 2009.

CORTEZ, G.E.P. et al. Qualidade química da água residual da criação de peixes para cultivo de alface em hidroponia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.4, p.494–498, 2009.

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

EBELING, J.M. et al. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic control of ammonia-nitrogen in aquaculture production systems. **Aquaculture**, Amsterdam, v.257, p.346-358, 2006.

EMERENCIANO, M.G.C. et al. Aquaponia: uma alternativa de diversificação na aquicultura. **Panorama da Aquicultura**, Rio Janeiro, v.25, n.147, p24-35, jan-fev 2015.

EMERENCIANO, M. et al. Biofloc Technology (BFT): a review for aquaculture application

and animal food industry. In: MATOVIC, M.D. (Ed). **Biomass Now – Cultivation and Utilization**. [Rijeka]: InTech, 2013. p.201-328.

FERREIRA, M.M.M. et al. Índice SPAD e teor de clorofila no limbo foliar do tomateiro em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica, em duas épocas de cultivo. **Revista Ceres**, Viçosa, v.53, p.83-92, 2006.

FIGUEIRÓ, R.P. et al. Ganho de peso de alevinos jundiá em diferentes densidades em sistema bioflocos. In: SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 7., 2015, Alegrete, **Anais...** Alegrete: Universidade do Pampa, 2015, v.7, n.2. [sem paginação].

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The state of world fisheries and aquaculture 2014**. Rome: FAO, 2014. 223p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The state of world fisheries and aquaculture 2016**. Rome: FAO, 2014. 190p.

GARCIA, L.D.O. et al. Freshwater temperature in the state of Rio Grande do Sul, Southern Brazil, and its implication for fish culture. **Neotropical Ichthyology**, v.6, n.2, p.275-281, 2008.

GEISENHOFF, L.O. et al. Produção de alface crespa em aquaponia utilizando diferentes substratos. **Revista Hidroponia**. Novo Hamburgo, 23/10/2014 Disponível em: <<http://www.revistahidroponia.com.br/noticias/noticia.php?noticia=27716>>. Acesso em 12 ago. 2016.

GODDEK, S. et al. Challenges of sustainable and commercial aquaponics – review. **Sustainability**, Basel, v.7, p.4199-4224, 2015.

GOMES, L.C. et al. Biologia de jundiá *Rhamdia quelen* (Teleostei, pimelodidae). **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.1, p.179-185, 2000.

GRABER, A.; JUNGE, R. Aquaponic Systems: nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. **Desalination**, Amsterdam, v.246, p.147-156, 2009.

GRAEFF, A. et al. Produção de alevinos de jundiá (*Rhamdia quelen*). **Boletim Técnico Epagri**, Florianópolis, v.140, 34p., 2008.

HARGREAVES, J.A. **Biofloc production systems for aquaculture**. Auburn: Southern Regional Aquaculture Center, 2013. (SRAC Publication, n.4503).

HARGREAVES, J.A. Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. **Aquaculture Engineering**, Essex, v.34, p.344-363, 2006.

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

KOROLEFF, F. Determination of nutrients. In: GRANSHOFF, K. (Ed). **Methods of seawater analysis**. Weinheim: Verlag Chemie, 1976. p.117-187.

KRUMMENAUER, D. et al. The Reuse of Water on the Culture of Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in BFT System. **Journal of the World Aquaculture Society**, Baton Rouge, v.45, n.1, p.3-14, 2014.

LICAMELE, J.D. **Biomass Production and Nutrient Dynamics in an Aquaponics System**. 2009. 173p. Dissertation (Doctor of Philosophy) – The University of Arizona, Tucson, 2009.

LUZ, G.L. et al. A Questão do nitrato em alface hidropônica e a saúde humana. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.8, p.2388-2394, 2008.

MALABARBA, L.R. et al. **Guia de identificação dos peixes da bacia do rio Tramandaí**. Porto Alegre: Ed. Via Sapiens, 2013. 140p.

MARTINEZ, H.E.P.; SILVA FILHO, J.B. **Introdução ao cultivo hidropônico de plantas**. Viçosa: UFV, 1997.

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

OLIVEIRA, N.L.C. et al. Efeito da urina de vaca no estado nutricional da alface. **Revista Ceres**, Viçosa, v.57, p.506-515, 2010.

POLI, M.A. et al. The use of biofloc technology in a South American catfish (*Rhamdia quelen*) hatchery: effect of suspended solids in the performance of larvae. **Aquacultural Engineering**, v.66, p.17-21, 2015.

RAKOCY, J. Ten guidelines for aquaponic systems. **Aquaponics Journal**, Montello, Issue 46, p.14-17, 2007.

RAKOCY, J.E. et al. **Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics—integrating fish and plant culture.** Auburn: Southern Regional Aquaculture Center, 2006. (SRAC publication, n.454)

RAVEN, J.A. et al. A comparison of ammonium and nitrate as nitrogen sources for photolithotrophs. **New Phytologist**, Dundee, v.121, p.19-32, 1992.

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

RUDOLF, J.C.D; HAEDO, C.A.D.G. **Crecimiento y sobrevivência de carpa común (*Cyprinus carpio*) y carassius (*Carassius auratus*) (*Osteichthys*, *Cyprinidae*) en un sistema super intensivo con aplicación de biofloc, comparando con sistema de filtro biológico y sistema tradicional con aireación.** Montevideo, 2013. 45p. Tese (Doutorado em Ciências Veterinárias) – Universidad de la República. Montevideo, 2013.

SANTOS, A.N. et al. Cultivo hidropônico de alface com água salobra subterrânea e rejeito da dessalinização em Ibimirim, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, p.961-969, 2010.

SEAWRIGHT D.E. et al. Nutrient dynamics in integrated aquaculture-hydroponics systems. **Aquaculture**, Amsterdam, v.160, p.215-237, 1998.

SOARES, E.C. et al. Peixe com salada! Aquaponia possibilita o cultivo de peixes e alfaces sem agrotóxico. **Panorama da Aquicultura**, Rio de Janeiro, v.25, n.148, p24-29, mar-abr 2015a.

SOARES, H.R. et al. Lettuce growth and water consumption in NFT hydroponic system using brackish water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, p.636-642, 2015b.

SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J. **Biometry: the principles and practice of statistics in biological research.** 4th ed. New York: W. H. Freeman, 2012. 937p.

STRICKLAND, J.D.H.; PARSONS, T.R. **A practical handbook of seawater analysis.** 2nd ed. Ottawa: Fisheries Research Board of Canada, 1972, (Bulletin,167).

TANG, H.L.; CHEN, H. Nitrification at full-scale municipal wastewater treatment plants: evaluation of inhibition and bioaugmentation of nitrifiers. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v.190, p.76–81, 2015.

WALTON, N.R.G. Electrical conductivity and total dissolved solids-what is their precise relationship? **Desalination**, Amsterdam, v.12, p.275-292, 1989.

WASIELESKY, W. et al. Cultivos em meios com flocos microbianos: um novo caminho a ser percorrido. **Panorama da Aquicultura**, Rio de Janeiro, v.16, n.96, jul-ago 2006.

ZOU, Y. et al. Effects of pH on nitrogen transformations in media-based aquaponics. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v.210, p.81-87, 2016.