

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP**

**USO E EFICIÊNCIA DE RECURSOS
NATURAIS NO CULTIVO DE PEIXES,
CAMARÕES E VEGETAIS**

Ariel Calister Franchini
Bióloga

Jaboticabal, São Paulo

2023

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP**

**USO E EFICIÊNCIA DE RECURSOS
NATURAIS NO CULTIVO DE PEIXES,
CAMARÕES E VEGETAIS.**

Ariel Calister Franchini

Orientadora: Profa. Dra. Patrícia Maria Contente Moraes Valenti

**Co-Orientadora: Profa. Dra. Mara Cristina Pessoa da
Cruz**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Aquicultura do Centro de Aquicultura da UNESP – CAUNESP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Aquicultura.

**Jaboticabal, São Paulo
2023**

F816u Franchini, Ariel Calister
Uso e eficiência de recursos naturais no cultivo de peixes, camarões e vegetais / Ariel Calister Franchini -- Jaboticabal, 2023
vi, 74 p.: il.; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura, 2023
Orientadora: Patrícia Maria Contente Moraes Valenti
Coorientadora: Mara Cristina Pessoa da Cruz
Banca examinadora: Gelcirene de Albuquerque Costa, Alexandre Augusto Oliveira Santos, Bruno de Lima Preto, Fernando Henrique Agostinho dos Santos
Bibliografia

1. Integração aquicultura-agricultura. 2. IMTA. 3. Sustentabilidade ambiental. I. Título. II. Jaboticabal-Centro de Aquicultura

CDU 639.3:631

Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Jaboticabal/SP - Karina Gimenes Fernandes - CRB 8/7418



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Unidade Complementar - Jaboticabal

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: USO E EFICIÊNCIA DE RECURSOS NATURAIS NO CULTIVO DE PEIXES, CAMARÕES E VEGETAIS

AUTORA: ARIEL CALISTER FRANCHINI

ORIENTADORA: PATRICIA MARIA CONTENTE MORAES VALENTI

COORIENTADORA: MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Aquicultura, pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. PATRICIA MARIA CONTENTE MORAES VALENTI (Participação Virtual)
/ Centro de Aquicultura da UNESP, CAUNESP, Jaboticabal-SP

Documento assinado digitalmente
gov.br GELCIRENE DE ALBUQUERQUE COSTA
Data: 13/09/2023 17:22:55-0900
Verifique em <https://validar.jb.gov.br>

Profa. Dra. GELCIRENE DE ALBUQUERQUE COSTA (Participação Virtual)
Departamento de Pesca e Aquicultura / Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE

Documento assinado digitalmente

Prof. Dr. ALEXANDRE AUGUSTO OLIVEIRA SANTOS (Participação Virtual)
/ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Piúma-ES

gov.br ALEXANDRE AUGUSTO OLIVEIRA SANTOS
Data: 02/09/2023 20:14:54-0300
Verifique em <https://validar.jb.gov.br>

Prof. Dr. BRUNO DE LIMA PRETO (Participação Virtual)
/ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Alegre-ES

Documento assinado digitalmente
gov.br BRUNO DE LIMA PRETO
Data: 14/09/2023 13:15:10-0300
Verifique em <https://validar.jb.gov.br>

Dr. FERNANDO HENRIQUE AGOSTINHO DOS SANTOS BARBOSA GONÇALVES (Participação Virtual)
/ Virginia Seafood AREC, Virginia Tech, Hampton, VA (EUA)

Fernando
Henrique A
Goncalves

Digitally signed by
Fernando Henrique A
Goncalves
Date: 2023.09.05 09:34:29
-04'00'

Jaboticabal, 27 de julho de 2023

SUMÁRIO

Lista de figuras	iii
Lista de tabelas.....	iv
Agradecimentos	1
Ao Apoio financeiro e Institucional:	2
RESUMO GERAL	3
GENERAL ABSTRACT	4
Capítulo I – Introdução geral	5
1. INTRODUÇÃO	6
2. REFERÊNCIAS	10
Capítulo II – Efeito da adição de espécies detritívoras bentônicas (efeito IMTA) no cultivo do lambari-do-rabo amarelo em viveiros escavados de fundo natural	14
RESUMO.....	15
ABSTRACT	16
1. INTRODUÇÃO	17
2. OBJETIVO GERAL.....	20
2.1 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	21
4. RESULTADOS	24
5. DISCUSSÕES.....	28
6. CONCLUSÃO	32
7. REFERÊNCIAS	33
Capítulo III – Avaliação do desempenho ambiental de sistemas integrados com <i>Astyanax lacustris</i> , <i>Macrobrachium rosenbergii</i> e <i>Prochilodus lineatus</i>	37
RESUMO	38

ABSTRACT	39
1. INTRODUÇÃO	40
2. OBJETIVO GERAL	42
3. MATERIAL E MÉTODOS	42
3.1. Local experimental e design	42
3.2. Preparação dos viveiros, estocagem e manejo	42
3.3. Água de abastecimento e efluente	43
3.4. Determinação dos parâmetros de qualidade da água	43
3.5. Quantificação do sedimento e análise dos nutrientes	44
3.6. Estimação dos gases do efeito estufa	45
3.7. Animais povoados e despescados	45
3.8. Indicadores de sustentabilidade ambiental	46
3.9. Análise estatística	47
4. RESULTADOS	47
5. DISCUSSÃO	50
6. CONCLUSÃO	52
7. REFERÊNCIAS	53
Capítulo IV - Aproveitamento do sedimento de sistemas de aquicultura para a produção de plantas condimentares	56
RESUMO	57
ABSTRACT	58
1. INTRODUÇÃO	69
2. OBJETIVO GERAL	61
2.1. Objetivos Específicos	61
3. MATERIAL E MÉTODOS	61
4. RESULTADOS	64
5. DISCUSSÃO	68
6. CONCLUSÃO	69
7. REFERÊNCIAS	70

Capítulo II – Efeito da adição de espécies detritívoras bentônicas (efeito IMTA) no cultivo do lambari-do-rabo amarelo em viveiros escavados de fundo natural.

Lista de figuras

Figura 1: Viveiros experimentais do setor de carcinicultura do CAUNESP.....	21
Figura 2: Tratamento LP (lambari e camarão) e LPC (lambari, camarão e curimbata).....	22
Figura 3: Gráfico de amônia na água entre diferentes tratamentos mostrando a variação entre coletas.....	25
Figura 4: Gráfico de nitrito na água entre diferentes tratamentos mostrando a variação entre coletas.....	25
Figura 5: Gráficos de nitrato na água entre diferentes tratamentos mostrando a variação entre coletas.....	26
Figura 6: Gráfico de nitrogênio inorgânico total na água entre diferentes tratamentos mostrando a variação entre coletas.....	26
Figura 7: Dados do fósforo total $\mu\text{g/L-1}$ na água, monitorados durante o experimento, entre os diferentes tratamentos, mostrando a variação entre coletas.....	27

Capítulo IV – Aproveitamento do sedimento de sistemas de aquicultura para a produção de plantas condimentares.

Lista de figuras

Figura 1 - A: Laboratório de fertilidade do solo, B: Casa de germinação, C: Mudanças transplantadas, D: vasos, E: Telas para retenção de sedimentos e raízes de plantas e F: Irrigação.....	62
Figura 2: Exemplo de distribuição de espécies em blocos em cada tratamento. ...	63

Capítulo II – Efeito da adição de espécies detritívoras bentônicas (efeito IMTA) no cultivo do lambari-do-rabo-amarelo em viveiros escavados de fundo natural.

Lista de tabelas

Tabela 1: Parâmetros de qualidade da água medidos no cultivo integrado LP: lambari-do-rabo-amarelo e camarão; LPC: lambari-do-rabo-amarelo, camarão e curimbata, NA: não se aplica, NIT: nitrogênio inorgânico total.....	24
Tabela 2: Desempenho produtivo dos organismos entre os diferentes tratamentos. LP: lambari-do-rabo-amarelo e camarão; LPC: lambari-do-rabo-amarelo , camarão e curimbata.....	28
Tabela 3: Comparação de sistemas de cultivo de camarão-da-malásia (<i>M. rosenbergii</i>).....	31

Capítulo III – Avaliação do desempenho ambiental de sistemas integrados com *Astyanax lacustris*, *Macrobrachium rosenbergii* e *Prochilodus lineatus*.

Lista de tabelas

Tabela 1: Métodos de análise das variáveis químicas da água..	44
Tabela 2: Parâmetros da qualidade da água (Média ± DP) monitorados durante o experimento. LP = cultivo integrado de lambari-do-rabo-amarelo e camarão-da-malásia; LPC = lambari-do-rabo-amarelo, camarão-da-malásia e curimbatá; NA = não se aplica, TIN = Nitrogênio inorgânico total, TP = Fósforo total	44
Tabela 3: Dados de produção dos sistemas integrados de lambari-do-rabo-amarelo (<i>A. lacustris</i>) e camarão-da-malásia (<i>M. rosenbergii</i>) e sistema integrado de lambari-do-rabo-amarelo (<i>A. lacustris</i>), camarão-da-malásia (<i>M. rosenbergii</i>) e curimbatá (<i>P. lineatus</i>)..	48
Tabela 4: Média dos indicadores de sustentabilidade ambiental obtidos em cada um dos sistemas de produção. LP: sistema integrado de lambari-do-rabo-amarelo e camarão-da-malásia e LPC: sistema integrado de lambari-do-rabo-amarelo, camarão-da-malásia e curimbatá.....	49

Capítulo IV – Aproveitamento do sedimento de sistemas de aquicultura para a produção de plantas condimentares.

Lista de tabelas

Tabela 1: Concentrações de contaminantes biológicos no sedimento do viveiro..	64
Tabela 2: Nutrientes disponíveis no sedimento na fase inicial do cultivo de cebolinha, coentro, manjericão, orégano e salsa	65
Tabela 3: Classes de interpretação de teores de nutrientes e valores de atributos químicos do solo, segundo IAC (2014).	65
Tabela 4: Nutrientes disponíveis no substrato na fase inicial do cultivo de cebolinha, coentro, manjericão, orégano e salsa.	65
Tabela 5: Médias (\pm DP) das faixas de conteúdo de macronutrientes nas plantas de cebolinha, coentro, manjericão, orégano e salsa	66
Tabela 6: Médias (\pm DP) dos valores de massa seca de cebolinha, coentro, manjericão, orégano e salsa (g por planta)	67

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê”.

(Arthur Schopenhauer)

Agradecimentos

Ao Centro de Aquicultura da UNESP (CAUNESP) pela oportunidade de conceder recursos e espaço para a realização do trabalho.

À minha Orientadora Profa. Dra. Patrícia Maria Contente Moraes-Valenti, pela paciência e incentivo durante todo o curso e, pela orientação não só na execução do trabalho, mas também na orientação da vida, mostrando o que podemos sempre progredir e melhorar o caminho para tais mudanças.

A minha Co-Orientadora, Dra. Mara Cristina Pessoa da Cruz, também por sua orientação, paciência, atenção, disponibilidade na execução do trabalho e também carinho e amizade.

Ao Prof. Dr. Wagner Cotroni Valenti, a quem admiro pela competência e dedicação com os alunos.

Agradeço a todos meus colegas do setor de Carcinicultura, ao técnico e grande amigo Roberto por sempre estar me salvando quando mais precisava e em especial ao meu grande amigo e irmão científico Dalton pela parceria do início ao final do experimento.

A minha família, em especial aos meus pais João e Vanessa e ao meu irmão João pelo apoio, carinho e por sempre acreditarem em mim, aos meus tios Luiz e Marta pelo suporte, carinho e incentivo nesses anos de trabalho e as minhas primas Ana e Gabi, por não me deixarem ficar louca.

Ao meu namorado Jhonatan, pelo apoio, amor, carinho e sempre esteve ao meu lado.

E a todos que contribuíram de alguma forma direta ou indiretamente para a realização desse trabalho.

Ao Apoio financeiro e Institucional:

Do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq,
agradeço pela Bolsa de Doutorado;

RESUMO GERAL

O presente estudo teve como objetivo avaliar o uso e a eficiência dos recursos naturais na produção de peixes, camarões e vegetais em um sistema de integração aquicultura-agricultura (IAA). No primeiro capítulo avaliamos o desempenho zootécnico e qualidade da água no sistema integrado do lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax lacustris*), camarão-da-malásia (*Macrobrachium rosenbergii*) e curimbatá (*Prochilodus lineatus*). No segundo capítulo avaliamos a sustentabilidade ambiental dos cultivos integrados com duas e três espécies. No terceiro capítulo, após o período de cultivo os viveiros foram drenados e secos para coleta do sedimento dos viveiros de fundo natural para o plantio de cebolinha (*Allium schoenoprasum*), coentro (*Coriandrum sativum*), manjerição (*Ocimum basilicum*), orégano (*Origanum vulgare*) e salsa (*Petroselinum crispum*). Antes do plantio, o sedimento passou por análise microbiológica para averiguar a existência de algum patógeno de risco para a saúde. Os resultados do primeiro experimento não mostraram diferença na qualidade da água entre os tratamentos, mas indicaram diferença no crescimento e produtividade do camarão-da-malásia, que foram menores no cultivo junto com o lambari e curimbatá. Apesar dessa diferença, esse tratamento mostrou uma boa produtividade total do sistema. O segundo estudo mostrou uma maior eficiência no uso de espaço e recursos no tratamento com três espécies, apenas no indicador de liberação de poluentes no sedimento que esse tratamento foi menos eficiente que o tratamento com as duas espécies (LP). Já o resultado do terceiro estudo mostrou diferenças nos valores de K, Ca, N e S. Entretanto, essas diferenças dos macronutrientes não afetaram o crescimento das plantas, sugerindo que o sedimento pode substituir o substrato comercial de forma similar ou superior.

Palavras-chave: IAA – Aquicultura e Agricultura Integrada, IMTA, sustentabilidade ambiental.

GENERAL ABSTRACT

The present research aimed to evaluate the use and efficiency of natural resources in the production of fish, prawns and vegetables in an integrated aquaculture-agriculture (IAA) system. In the first study we evaluated the zootechnical performance and water quality in the integrated system of lambari (*Astyanax lacustris*), Giant river prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) and curimbatá (*Prochilodus lineatus*). In the second study we evaluate the environmental sustainability of integrated systems with two and three species. In the third study after harvesting, the ponds were drained and dried to collect the sediment for planting chives (*Allium schoenoprasum*), coriander (*Coriandrum sativum*), basil (*Ocimum basilicum*), oregano (*Origanum vulgare*) and parsley (*Petroselinum crispum*). Before planting, the sediment was subjected to a microbiological analysis to verify the existence of any pathogen that poses a health risk. The results of the first experiment didn't show any difference in water quality between the treatments, but showed a difference in the zootechnical performance of the giant river prawn reared with lambari and curimbata. Despite of the individual difference, this treatment showed a good total productivity of the system. The second study showed greater efficiency in the use of space and resources in the treatment with three species, only in the indicator of pollutant release in the sediment that this treatment was less efficient than the treatment with two species (LP). The result of the third research showed differences in the values of K, Ca, N and S in the plants. However, these differences didn't affect plant growth and suggested that the sediment can replace the commercial substrate in a similar or superior way.

Keywords: IAA - Integration aquaculture–agriculture, IMTA, environmental sustainability.

Capítulo I – Introdução Geral

1. INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial ocasiona um aumento na demanda de alimentos, principalmente para proteínas de alta qualidade. Esse fato tem impulsionado o desenvolvimento de vários setores do agronegócio, como a aquicultura (Azra *et al.*, 2021). Em 2020, ano dos dados consolidados pelo estudo, a pesca e a aquicultura atingiram um recorde histórico de 214 milhões de toneladas.

Somente aquicultura cresceu 5,7% na soma do cultivo de algas e animais aquáticos, alcançando um volume de 122,6 milhões de toneladas em todo o mundo. Esses resultados só não foram melhores, devido às consequências da pandemia global. De acordo com os dados da FAO (2022), aquicultura cresceu mais rápido do que a pesca de captura nos últimos dois anos e espera-se um aumento ainda maior na próxima década. Em 2020, somente a produção animal aquícola alcançou 87,5 milhões de toneladas, 6% a mais que em 2018. Por outro lado, a produção da pesca de captura caiu para 90,3 milhões de toneladas, o que representa um decréscimo de 4,0% em relação à média registrada nos três anos anteriores. De acordo com a FAO (2022), a produção total de animais aquáticos está projetada para atingir 202 milhões de toneladas em 2030, principalmente devido ao crescimento contínuo da aquicultura.

Segundo Troell, et al. (2023) a aquicultura pode desempenhar um papel crucial na obtenção de uma produção alimentar sustentável e nutritiva, contribuindo para a segurança alimentar, meios de subsistência, economias e práticas culturais, alinhando-se assim com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas. De acordo com os números-chave do relatório o Estado Mundial da Pesca e Aquicultura (FAO/SOFIA) (2022), a Produção mundial total de animais aquáticos e algas foi de 214 milhões de toneladas. Já a produção animal de aquicultura alcançou 87,5 milhões de toneladas, atingindo um novo recorde. Entre os países produtores de organismos aquáticos, a China ainda é a líder global no mercado de pescados. Pelos registros da FAO, o país asiático produziu 83,9 milhões de toneladas de peixe com captura e aquicultura só em 2020. Excetuando-se a China, a Ásia contribuiu com 34% de toda a produção, as Américas com 14%, a União Europeia com 10%, a África com 7% e a Oceania com 1% (FAO, 2020).

Apesar da maior parte dessa atividade esteja destinada ao consumo humano, alguns subprodutos também podem ser destinados para fins não alimentares como a farinha de peixe para produção de ração e a quitosana, extraída da carapaça de camarões e óleos para a produção de biocombustíveis (FAO, 2018; Šimat, V. 2021; Errico *et al.*, 2022).

No Brasil, aquicultura é um dos setores de proteína animal que mais crescem no país (Suplicy, 2020). A produção de peixes de cultivo estão cada vez mais conquistando espaço na mesa do brasileiro e pedindo espaço para fazer parte do mercado internacional. Em 2021 a piscicultura nacional produziu 841.005 mil toneladas, desempenho que alcançou cerca de R\$ 8 bilhões em receita (Anuário Peixe BR 2023). Mesmo o Brasil sendo um país privilegiado pela diversidade de organismos aquáticos (Kubitza, 2016), pela grande extensão continental, possuindo ~8.000 Km de costa, por possuir ~12,5% da água doce superficial do planeta, sem contar com os aquíferos (Riggo, 2018), seu potencial para a aquicultura ainda é pouco explorado. A tecnologia mais utilizada na aquicultura brasileira consiste no uso de sistemas de baixa sustentabilidade. Os sistemas de aquicultura tanto no Brasil como no mundo são realizados em monocultivo arraçoados (Valenti *et al.*, 2021). Porém, esse sistema é pouco eficiente, já que menos de 20% da dieta fornecida aos animais é realmente transformada em biomassa, pois mais de 80% da dieta é perdida no efluente não havendo retorno à produção (Valenti *et al.*, 2011; Boyd *et al.*, 2020). Parte da alimentação fornecida aos animais é transformada em resíduos poluidores nos efluentes e em forma de gases. Uma outra parte é incorporada em organismos como fitoplâncton e zooplâncton. Estes, embora possam vir a ser uma fonte de alimento, não têm valor comercial direto (Henry-Silva & Camargo 2018; Flickinger *et al.*, 2019a; Flickinger *et al.*, 2019b), comprometendo a sustentabilidade do ambiental e econômica. Assim, o uso de sistemas integrados podem aperfeiçoar a utilização dos insumos e recursos naturais. podendo também ser uma alternativa para melhorar a sustentabilidade da aquicultura, bem como, otimizar o uso das instalações e da mão-de-obra (Boyd *et al.*, 2020; Valenti *et al.*, 2021).

Entre os sistemas integrados de produção e aproveitando o meio aquático trimendisional, destacam-se os cultivos em Aquicultura multitrófica integrada (*Integrated Multi-Trophic Aquaculture* - IMTA). Esse sistema consiste no cultivo de espécies de diferentes níveis tróficos com funções complementares no

ecossistema, de forma que permita alimentação das espécies com resíduos, nutrientes e/ou subprodutos da espécie principal, tendo um melhor aproveitamento e complementariedade das funções ecossistêmicas das espécies cultivadas (Chopin *et al.*, 2013; Chopin *et al.*, 2013; Boyd *et al.*, 2020). IMTA pode ser realizado tanto em sistemas marinhos como de água doce, combinando várias espécies com níveis tróficos e funções complementares diferentes, aproveitando a mesma unidade de área. Essas combinações de espécies podem ser feitas com mariscos, camarões e peixes; camarões e algas; peixes e moluscos entre outros (Boyd *et al.*, 2020). Além do IMTA, outros sistemas integrados podem ser realizados em cultivo consorciado de arroz com peixe (rizipiscicultura) ou arroz com camarão (rizicarcinicultura) (Marques *et al.*, 2016). Nesse contexto, a aquicultura estaria sendo realizada de uma forma mais sustentável, procurando contemplar os três pilares da sustentabilidade que são o social, o ambiental e o econômico, para que a atividade seja perene (Valenti *et al.* 2011).

Mesmo que a Aquicultura seja desenvolvida de forma sustentável. Ela pode impactar de alguma forma o ambiente em que está inserida. Pensando em minimizar esses efeitos, foram desenvolvidos sistemas alternativos com técnicas para minimizar impactos negativos. Essa tecnologia possibilita a reciclagem de biomassa para melhoramento da qualidade da água e aproveitamento dos resíduos (Rakocy, J. E., Bailey, D. S., Shultz, R. C., & Thoman, 2004). Uma das técnicas usadas denomina-se Aquicultura-Agricultura Integrada (IAA). Esse sistema de produção já foi praticado na China há mais de mil anos, como uma prática produtiva e sustentável (Moriarty, 1985; Zajdbaand, 2011). O sistema IAA, consistia em uma rotação de culturas de peixes e vegetais, onde a produção de peixes era estimulada após o cultivo da cultura vegetal no fundo dos viveiros. Visava tirar vantagem do resíduo vegetal, para restaurar a fertilidade do viveiro pela oxidação aeróbia da matéria orgânica (Moriarty, 1985). Esse método também já foi usado na Europa Oriental em grandes viveiros na Hungria, onde faziam a integração da produção do “fish duck” (*Harpadon nehereus*), seguido pela produção de arroz (Moriarty, 1985). Infelizmente o IAA perdeu seu espaço para o uso de fertilizantes químicos (Moriarty, 1985). O IAA pode ser considerado um sistema ideal para pequenos produtores porque pode promover uma interação simultânea ou sequencial entre duas ou mais atividades, como exemplo a aquaponia, hidroponia, fertirrigação etc. (Zajdbaand, 2011). Também pode ser considerado como uma solução prática para a

insegurança alimentar contínua, desnutrição, pobreza para os pequenos produtores de países em desenvolvimento (Limbu, *et al.* 2017). Isso é possível pois pode aproveitar resíduos de produções diferentes para um aumento da sustentabilidade de ambas (Klinger & Naylor 2012; Thomas *et al.*, 2021), alcançando uma melhor eficiência dos recursos hídricos, visando aumentar a produção da propriedade, sem aumentar o consumo de água. Outra vantagem, é que pode utilizar efluentes ricos em nutrientes para irrigar cultivos, além de permitir a redução do uso de fertilizantes (Baganz *et al.*, 2022).

O uso do sistema IAA na aquicultura, seria uma forma de fitorremediação para tratar os resíduos que se acumulam no fundo do viveiro ou são lançados para o ambiente. A fitorremediação consiste no uso de plantas com a finalidade de reduzir as concentrações ou toxicidade de contaminantes no ambiente (Ali *et al.* 2013). O IAA poderia auxiliar em sistemas de produção mais econômico e ambientalmente sustentável para os aquicultores, pois a oferta de dois produtos com mercados diferentes aumentaria a resiliência do sistema (Valenti *et al.* 2018). Assim, o sedimento presente no fundo dos viveiros de fundo natural poderia ser utilizado para o plantio de vegetais.

Pensando nessa tecnologia, esse trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho zootécnico e qualidade da água no sistema integrado do lambari-dorabo-amarelo (*Astyanax lacustris*), camarão-da-malásia (*Macrobrachium rosenbergii*) e curimatá (*Prochilodus lineatus*), com o plantio de cebolinha (*Allium schoenoprasum*), coentro (*Coriandrum sativum*), manjericão (*Ocimum basilicum*), orégano (*Origanum vulgare*) e salsa (*Petroselinum crispum*), aproveitando o sedimento pós-despesca dos viveiros, que são ricos em nutrientes, para estabilizar o solo e gerar uma renda extra ao produtor.

2. REFERÊNCIAS

- Ali, H., Khan, E. & Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals— concepts and applications. *Chemosphere*, 91(7), 869-881.
- Azra, M. N., Okomoda, V. T., Tabatabaei, M., Hassan, M., & Ikhwanuddin, M. (2021). The contributions of shellfish aquaculture to global food security: assessing its characteristics from a future food perspective. *Frontiers in Marine Science*, 8, 654897.
- Baganz, GF, Junge, R., Portella, MC, Goddek, S., Keesman, KJ, Baganz, D., ... & Kloas, W. (2022). O princípio aquapônico - é tudo sobre acoplamento. *Reviews in Aquaculture* , 14 (1), 252-264.
- Boyd, C. E., D'Abramo, L. R., Glencross, B. D., Huyben, D. C., Juarez, L. M., Lockwood, G. S., ... & Valenti, W. C. (2020). Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(3), 578-633. Doi: 10.1111/jwas.12714.
- Chopin, T. (2013). Integrated multi-trophic aquaculture—ancient, adaptable concept focuses on ecological integration. *Global Aquaculture Advocate*, 16(2), 16-19.
- Chopin, T., MacDonald, B., Robinson, S., Cross, S., Pearce, C., Knowler, D., Noce, A., Reid, G., Cooper, A., Speare, D., Burridge, L., Crawford, C., Sawhney, M., Ang, K. P., Backman, C., & Hutchinson, M. (2013). The Canadian Integrated Multi-Trophic Aquaculture Network (CIMTAN) - A Network for a New Era of Ecosystem Responsible Aquaculture. *Fisheries*, 38(7), 297-308. DOI: 10.1080/03632415.2013.791285.
- Errico, S., Spagnoletta, A., Verardi, A., Moliterni, S., Dimatteo, S., & Sangiorgio, P. (2022). *Tenebrio molitor* como fonte de compostos naturais interessantes, seus processos de recuperação, efeitos biológicos e aspectos de segurança. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* , 21 (1), 148-197.
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. (2018). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2018. Building climate resilience for food security and nutrition*. Rome, FAO.

- FAO. 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture. Sustainability in action. Rome. Nature and Resources, p. 1-206 Disponível em: <https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- FAO. 2022. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- Flickinger, D. L., Costa, G. A., P. Dantas, D., Moraes-Valenti, P., & Valenti, W. C. (2019a). The budget of nitrogen in the grow-out of the Amazon river prawn (*Macrobrachium amazonicum* Heller) and tambaqui (*Colossoma macropomum* Cuvier) farmed in monoculture and in integrated multitrophic aquaculture systems. *Aquaculture Research*, 50(11), 3444-3461. DOI: 10.1111/are.14304
- Flickinger, D. L., Dantas, D. P., Proença, D. C., David, F. S., & Valenti, W. C. (2019b). Phosphorus in the culture of the Amazon river prawn (*Macrobrachium amazonicum*) and tambaqui (*Colossoma macropomum*) farmed in monoculture and in integrated multitrophic systems. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(4), 1002-1023. DOI: 10.1111/jwas.12655
- Henry-Silva, G. G., & Camargo, A. F. M. (2018). Impacto das atividades de aqüicultura e sistemas de tratamento de efluentes com macrófitas aquáticas– relato de caso. *Boletim do Instituto de Pesca*, 34(1), 163-173. Disponível em: <https://www.institutodepesca.org/boletim/index.php/bip/article/view/782>.
- Kubitza, F. (2016). Brazilian aquaculture: Constraints and challenges (Part 1). *Global Aquaculture Advocate* (<http://advocate.gaalliance.org>).
- Klinger, D., & Naylor, R. (2012). Searching for solutions in aquaculture: charting a sustainable course. *Annual Review of Environment and Resources*, 37, 247-276.
- Limbu, S.M., Shoko, A.P., Lamtane, H.A., Mgana, H.F., Mgaya, Y.D. (2017). Fish polyculture system integrated with vegetable farming improves yield and economic benefits of small-scale farmers 3631–3644. <https://doi.org/10.1111/are.13188>.
- Marques, H. L., New, M. B., Boock, M. V., Barros, H. P., Mallasen, M. & Valenti, W. C. (2016). Integrated freshwater prawn farming: state-of-the-art and future potential. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 24(3), 264-293.

- Moriarty, D., Pollard, P., Alongi, D. D., Wilkinson, C. C. & Gray, J. (1985, January). Bacterial productivity and trophic relationships with consumers on a coral reef (MECOR I). In Proceedings of the 5th International Coral Reef Congress, Tahiti, 27 May-1 June 1985-pages: 3: 457-462.
- PEIXE BR (2023). A força do peixe brasileiro. Disponível em: https://www.aen.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2023-03/anuariopeixebr2023.pdf. Acesso em: 1 mai.2023.
- Rakocy, JE, Bailey, DS, Shultz, RC, & Thoman, ES (2004). Atualização na produção de tilápias e hortaliças no sistema aquapônico UVI. Em Novas dimensões da tilápia cultivada: anais do sexto simpósio internacional sobre tilápia na aquicultura, realizado em setembro (pp. 12-16).
- Riggo, R. F. Q. (2018). A mercantilização do Aquífero Guarani: uma análise jurídica à luz da teoria do Bem Viver (Master's thesis).
- Šimat, V. (2021). Valorização dos subprodutos do processamento de frutos do mar. In Valorização de resíduos e subprodutos agroalimentares (pp. 515-536). Imprensa Acadêmica.
- Suplicy, F. M. (2020). A review of the multiple benefits of mussel farming. *Reviews in Aquaculture*, 12(1), 204-223.
- Thomas, M., Pasquet, A., Aubin, J., Nahon, S., & Lecocq, T. (2021). When more is more: taking advantage of species diversity to move towards sustainable aquaculture. *Biological reviews*, 96(2), 767-784.
- Troell M, Costa-Pierce B, Stead S, Cottrell R S, Brugere C, Farmery A K, Little D C, Strand Å, Pullin R, Soto D, Beveridge M, Salie K, Dresdner J, Moraes-Valenti P, Blanchard J, James P, Yossa R, Allison E, Devaney C and Barg U 2023 Perspectives on aquaculture's contribution to the Sustainable Development Goals for improved human and planetary health. *Journal of the World Aquaculture Society* 54: 251-342.
- Valenti, W. C., Kimpara, J. M., & de L Preto, B. (2011). Measuring aquaculture sustainability. *World Aquaculture*, 42(3), 26.

- Valenti, W. C., Kimpara, J. M., Preto, B. L. & Moraes-Valenti, P. (2018). Indicators of sustainability to assess aquaculture systems. *Ecological Indicators*, 88, 402-413.
- Valenti, W. C., Barros, H. P., Moraes-Valenti, P., Bueno, G. W., & Cavalli, R. O. (2021). Aquaculture in Brazil: past, present and future. *Aquaculture Reports*, 19, 100611.
- Zajdband, A. D. (2011). Integrated agri-aquaculture systems. *Genetics, biofuels and local farming systems*, 87-127.

Capítulo II – Efeito da adição de espécies detritívoras bentônicas (efeito IMTA) no cultivo do lambari-do-rabo-amarelo em viveiros escavados.

RESUMO

A maioria dos sistemas de aquicultura utilizados no mundo são os de monocultivo arraçoados com dietas comerciais. Essa alimentação não é totalmente consumida pelos animais, causando um desperdício em que parte é lançada no efluente de corpos de água naturais e outra é depositada no sedimento dos viveiros. Isso gera um grande acúmulo de nutrientes no sedimento após a despesca. O objetivo deste trabalho foi determinar o desempenho produtivo no sistema de cultivo integrado de lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax lacustris*), com duas espécies com hábitos bentônicos detritívoros, como o camarão-da-malásia (*Macrobrachium rosenbergii*) e o curimbatá (*Prochilodus lineatus*), visando otimizar o uso de espaço e recursos naturais. Nesse experimento, foram utilizados doze viveiros experimentais retangulares de fundo natural (~0,015 ha), O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC) com dois tratamentos e seis repetições, sendo LP – cultivo integrado de lambari-do-rabo-amarelo e camarão-da-malásia e LPC – cultivo integrado de lambari-do-rabo-amarelo, camarão-da-malásia e curimbatá (LPC). Os alevinos de lambari ($0,04 \pm 0,02$ g) e pós-larvas de camarão ($0,05 \pm 0,03$ g) foram estocados com densidade de 40 e 5 ind.m⁻² respectivamente. Os curimbatás ($26,95 \pm 9,89$ g) foram estocados em seis viveiros na densidade de 3 ind.m⁻². Apenas o lambari foi alimentado a 10% de sua biomassa, com uma dieta comercial de 36% de proteína bruta com granulometria de 2,3 mm, fornecida duas vezes ao dia. Já o camarão e o curimbatá se alimentaram apenas com resíduos de ração e fezes do lambari, além da biota natural presente nos viveiros. O experimento teve duração de 62 dias. A inclusão do curimbatá não aumentou a produtividade total das espécies (1,9 vs 1,8 t.ha⁻¹), entretanto reduziu a produtividade do camarão em 34%. Mesmo assim, a presença do curimbatá não afetou o desempenho do lambari que era a espécie alvo desse cultivo.

Palavras-chave: Aquicultura integrada, IMTA, lambari-do-rabo-amarelo, camarão-da-malásia, curimbatá, produtividade.

ABSTRACT

In aquaculture, the most common systems are intensively fed monoculture. This feed is not completely consumed by the animals, causing waste in which part is released into the effluent of natural bodies of water and the other is large accumulation of nutrients at the bottom of the ponds after harvesting. This study evaluated the compatibility in the inclusion of two species with detritivores benthic habits, such as giant river prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) and curimbata (*Prochilodus lineatus*) in farming system of yellow tail lambari (*Astyanax lacustris*) in attempt of optimize use of space and natural resources. The experiment was carried out in a completely randomized design in twelve earth ponds $\sim 0.015 \text{ ha}^{-1}$, with two treatments (types of production systems) and six replications each. Each treatment corresponds to an integrated farming system: LP - yellow tail lambari and giant river prawn and LPC - yellow tail lambari, giant river prawn and curimbata. Fingerlings of lambari ($0.04 \pm 0.02 \text{ g}$) and postlarvae of giant river prawn ($0.05 \pm 0.03 \text{ g}$) were stoked in all ponds at density of 40 and 5 individuals per m^{-2} respectively. Curimbata ($26.95 \pm 9.89 \text{ g}$) was stoked in six ponds, selected at random at density of 3 individuals per m^{-2} . Only the lambari was fed at a daily rate of 10% of the estimated biomass, twice a day, in the morning and late afternoon with a commercial diet with 36% crude protein and granules 2.3 mm. Giant river prawn and curimbata were fed and benefited from wastes produced in the system. The experiment lasted 62 days. The inclusion of curimbatá did not increase the total productivity of the species (1.9 vs 1.8 $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$), however it reduced shrimp productivity by 34%. Even so, the presence of curimbatá did not affect the performance of lambari, which was the target species for this cultivation.

Key words: Integrated aquaculture, IMTA, yellow tail lambari, giant river prawn, curimbata, yield.

1. INTRODUÇÃO

Aquicultura é um dos setores de produção de proteína animal que mais crescem no Brasil (Suplicy, 2020). A produção de peixes de cultivo estão cada vez mais conquistando espaço na mesa do brasileiro e pedindo espaço para fazer parte do mercado internacional. Em 2021 a piscicultura nacional produziu 841.005 mil toneladas, desempenho que alcançou cerca de R\$ 8 bilhões em receita (Anuário Peixe BR 2023). Mesmo o Brasil sendo um país privilegiado pela diversidade de organismos aquáticos (Kubitza, 2016), pela grande extensão continental, possuindo ~8.000 Km de costa e possuir ~12,5% da água doce superficial do planeta, sem contar com os aquíferos (Riggo, 2018), seu potencial para a aquicultura ainda é pouco explorado. A tecnologia mais utilizada na aquicultura brasileira consiste no uso de sistemas de baixa sustentabilidade.

Os sistemas de aquicultura tanto no Brasil como no mundo são realizados em monocultivo intensivamente arraçoados (Valenti *et al.*, 2021). Porém, esse sistema é pouco eficiente, já que menos de 20% da dieta fornecida aos animais é realmente transformada em biomassa, pois mais de 80% da dieta é perdida no efluente não havendo retorno à produção (Valenti *et al.*, 2011; Boyd *et al.*, 2020). Parte da alimentação fornecida aos animais é transformada em resíduos poluidores nos efluentes e em forma de gases. Uma outra parte é incorporada em organismos como fitoplâncton e zooplâncton. Estes, embora possam vir a ser uma fonte de alimento, não têm valor comercial direto (Henry-Silva & Camargo 2018; Flickinger *et al.*, 2019a; Flickinger *et al.*, 2019b), comprometendo a sustentabilidade do ambiental e econômica. Assim, o uso de sistemas integrados podem aperfeiçoar a utilização dos insumos e recursos naturais, podendo também ser uma alternativa para melhorar a sustentabilidade da aquicultura, bem como, otimizar o uso das instalações e da mão-de-obra (Boyd *et al.*, 2020; Valenti *et al.*, 2021).

Entre os sistemas integrados de produção para aproveitar o meio aquático trimendimensional, destacam-se os cultivos em “Aquicultura Multitrófica Integrada” (*Integrated Multi-Trophic Aquaculture - IMTA*). Esse sistema consiste no cultivo de espécies de diferentes níveis tróficos com funções complementares no ecossistema, de forma que permita alimentação das espécies com resíduos, nutrientes e/ou subprodutos da espécie principal, tendo um melhor aproveitamento e complementariedade das funções ecossistêmicas das espécies cultivadas (Chopin, 2013; Chopin *et al.*, 2013; Boyd *et al.*, 2020). IMTA pode ser realizado

tanto em sistemas marinhos como de água doce, combinando várias espécies com níveis tróficos e funções complementares diferentes, aproveitando a mesma unidade de área. Essas combinações de espécies podem ser feitas com mariscos, camarões e peixes; camarões e algas; peixes e moluscos entre outros (Boyd *et al.*, 2020). Além do IMTA, outros sistemas integrados podem ser realizados em cultivo consorciado de arroz com peixe (rizipiscicultura) ou arroz com camarão (rizicarcinicultura) (Marques *et al.*, 2016). Nesse contexto, a aquicultura estaria sendo realizada de uma forma mais sustentável, procurando contemplar os três pilares da sustentabilidade que são o social, o ambiental e o econômico, para que a atividade seja perene (Valenti *et al.*, 2011; Valenti *et al.*, 2018).

Alguns cultivos integrados em água doce já vêm sendo realizados no Brasil com espécies como camarão-da-malásia (*Macrobrachium rosenbergii*), e tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) e carpas (Santos & Valenti, 2002; Wang & Lu, 2016; Rodrigues *et al.*, 2019a; Rodrigues *et al.*, 2019b). Essas espécies estão entre as mais cultivadas no mundo inteiro, apresentam uma excelente adaptação ao Brasil, além de um grande valor comercial e bom potencial de mercado, tornando a produção muito mais rentável (New & Valenti, 2017; Marques *et al.*, 2016). Além disso, em cultivos integrados podem colaborar na melhoria da qualidade de água dos viveiros (Flickinger *et al.*, 2019a; Flickinger *et al.*, 2019b).

Das espécies de peixe de água doce nativas cultivadas destacam-se o lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax lacustris*, Lütken, 1875) e o curimatá (*Prochilodus lineatus*, Valenciennes, 1837). O *A. lacustris* (antigo *Astyanax bimaculatus*; Lucena & Soares, 2016) é encontrado na região sudeste do Brasil. Com hábito alimentar onívoro-opportunista, se alimenta de algas, insetos, microcrustáceos, partículas de macrófitas e folhas, frutas, sementes e escamas (Fonseca *et al.*, 2017; Valladão *et al.*, 2018). O lambari-do-rabo-amarelo tem sido uma excelente escolha para o cultivo, pois possui um elevado valor comercial em várias regiões, tanto na forma de isca viva para pesca esportiva como para consumo humano. Sua produção vem crescendo no estado de São Paulo em grandes fazendas. É um peixe de pequeno porte que pode ser consumido com os ossos e até mesmo a cabeça e vísceras. Sua biomassa é rica em vitaminas, minerais e outros nutrientes, favorecendo a segurança alimentar em populações carentes (Fonseca *et al.*, 2017). Outras espécies de lambaris como *Deuterodon iguape* (lambari-da-mata-atlântica), também vem sendo estudada e juntamente

com o *A. lacustris* poderiam substituir a sardinha na pesca de atum. *A. lacustris* tem um bom potencial de mercado na forma de peixe enlatado (Porto-Foresti *et al.*, 2005). Se essas práticas forem definidas, em breve haverá um aumento na demanda de mercado, e conseqüentemente na produção dessa espécie.

Outra espécie nativa de água doce com grande potencial de cultivo é o *P. lineatus*, conhecido popularmente como curimatá. Segundo o Anuário da Peixe BR (2022) o curimatá é a segunda espécie mais exportada no Brasil representando ~1.136 toneladas da produção, contribuindo com ~US\$ 1.796.222, perdendo somente para as exportações de tilapias ~8.529 toneladas com ~ US\$ 18.238.162 . O curimatá possui o hábito alimentar detritívoro, seguido pelo consumo de algas, sendo considerado como pertencente aos grupos tróficos inferiores (Sampaio *et al.*, 2010; Freire *et al.*, 2012; Valenti *et al.*, 2021). É um peixe muito consumido, principalmente por populações de pescadores próximas de grandes rios da América do Sul. Esse peixe já é produzido em todos os estados do Brasil, sendo considerada a quinta espécie nativa, mais produzida para o consumo humano. Além disso, existe também uma criação, em grande escala, de juvenis para a liberação em bacias impactadas por hidrelétricas nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil (Valenti *et al.*, 2021). Essa espécie já foi introduzida na aquicultura da China e Vietnã (Kalous *et al.*, 2012). Mostrou potencial para cultivo integrado com tambaqui (*Colossoma macropomum*) e *M. amazonicum*, aumentando a produtividade do sistema, portanto, pode ser uma alternativa para uma aquicultura mais sustentável (Franchini *et al.*, 2020).

Além da escolha das espécies de acordo com seu potencial de cultivo ou de mercado, é necessário compreender os processos ecológicos inerentes a esse sistema para se obter um bom aproveitamento da exploração do sistema aquícola. Este é um fator crucial para se obter um melhor aproveitamento tanto da dieta comercial fornecida para a espécie estudada, quanto do alimento natural presente nos viveiros de cultivo. O objetivo será o aumento de uma produção sustentável dos alimentos oriundos da aquicultura integrada.

Analisando as espécies utilizadas em sistemas IMTA de água doce, observou-se a possibilidade da realização de um cultivo em sistema integrado do lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax lacustris*), do camarão-da-malásia (*Macrobrachium rosenbergii*) e curimatá (*Prochilodus lineatus*). A combinação dessas três espécies parece ser muito promissora neste contexto. A introdução do

camarão-da-malásia em sistemas integrados poderia aumentar a produtividade do aquicultor mesmo quando não há aumento da produção devido ao seu alto preço no mercado (Zimmerman *et al.*, 2009).

Estudos anteriores mostraram que o cultivo integrado de lambari com camarão-da-amazônia foi tecnicamente possível, pois apresentou um aumento na lucratividade. Neste somente o lambari recebeu a dieta comercial e o camarão se alimentou apenas com resíduos de ração e fezes do lambari, além da biota natural presente nos viveiros. Em outras pesquisas anteriores de cultivo integrado com tambaqui e camarão-da-amazônia, a maior parte dos nutrientes contidos na ração, fornecida somente ao tambaqui, ficou acumulada no sedimento dos viveiros (Dantas *et al.*, 2020). Parte desses nutrientes foi aproveitada pelo camarão-da-amazônia, que é onívoro-detritívoro. Porém, a maior parte ficou acumulada na forma de detritos. Esses resíduos poderiam ser consumidos pelo curimatá, já que é iliófago.

Assim, a introdução do camarão-da-malásia no cultivo integrado com lambari-do-rabo-amarelo e curimatá poderia ser uma alternativa para o melhor aproveitamento de sedimentos presentes no fundo dos viveiros. Esse camarão possui grande potencial de mercado, já que é considerado de grande porte com bom preço de venda nos mercados, suas pós-larvas podem ser adquiridas em larviculturas comerciais do Brasil e ainda não havia sido testado em cultivos junto com as duas espécies citada. Assim, o cultivo em IMTA dessas três espécies na mesma unidade de área poderia maximizar os recursos aos aquicultores, além de ser uma boa alternativa para melhoria da sustentabilidade ambiental, econômica e social no cenário da aquicultura brasileira.

2. OBJETIVO GERAL

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da inclusão do curimatá (*P. lineatus*) no cultivo integrado de lambari (*A. lacustris*) e camarão-da-malásia (*M. rosenbergii*) sobre o crescimento, sobrevivência, produtividade e conversão alimentar das espécies em separado e em conjunto.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Neste estudo, as seguintes hipóteses foram testadas:

- O curimbatá não influenciará no desenvolvimento do lambari e do camarão;
- A inclusão do curimbatá aumentará a biomassa total produzida, sem aumentar o gasto alimentar;
- A dieta inerte será melhor aproveitada no cultivo integrado com as três espécies.
- A inclusão do curimbatá não irá afetar a qualidade da água do cultivo

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Setor de Carcinicultura do Centro de Aquicultura (CAUNESP), Universidade estadual Paulista, Brasil ($21^{\circ}15'22''S$ e $48^{\circ}18'48''O$). O experimento foi conduzido no período de 14 de janeiro de 2020 a 16 de março de 2020, quando o período é quente e chuvoso. Foram utilizados doze viveiros retangulares de fundo natural com área de $\sim 0,015$ ha e profundidade de ~ 1 m.



Fonte: Google Imagens.

Figura 1: Viveiros experimentais do Setor de Carcinicultura do CAUNESP.

Inicialmente, os viveiros foram drenados e secos ao ar livre e alimentados com água hipereutrófica e sem fluxo contínuo de água, pois esta era apenas repostada pelas perdas por evaporação e infiltração dos viveiros. Esse manejo, sem renovação, tem sido utilizado em outros cultivos com sucesso (Kimpara *et al.*, 2011;

David *et al.*, 2017 a, b). Foram utilizadas telas de malha de 1 mm na entrada de cada viveiro para contenção de predadores e competidores. Essas telas eram limpas semanalmente. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC) com dois tratamentos e seis repetições cada. Os tratamentos foram os cultivos integrados de lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax lacustris*) e camarão-da-malásia (*Macrobrachium rosenbergii*) (LP) e lambari-do-rabo-amarelo, camarão-da-malásia e curimatá (LPC). As densidades de estocagem dos animais foram de lambaris = 40 ind.m⁻², camarão = 5 ind.m⁻² e curimatá = 3 ind.m⁻². Para os lambaris, foi escolhida a mesma densidade já utilizada pelos produtores. Já as densidades dos camarões e curimatás, foram escolhidas de modo a termos uma primeira abordagem do que seria uma biomassa compatível com o cultivo das três espécies.

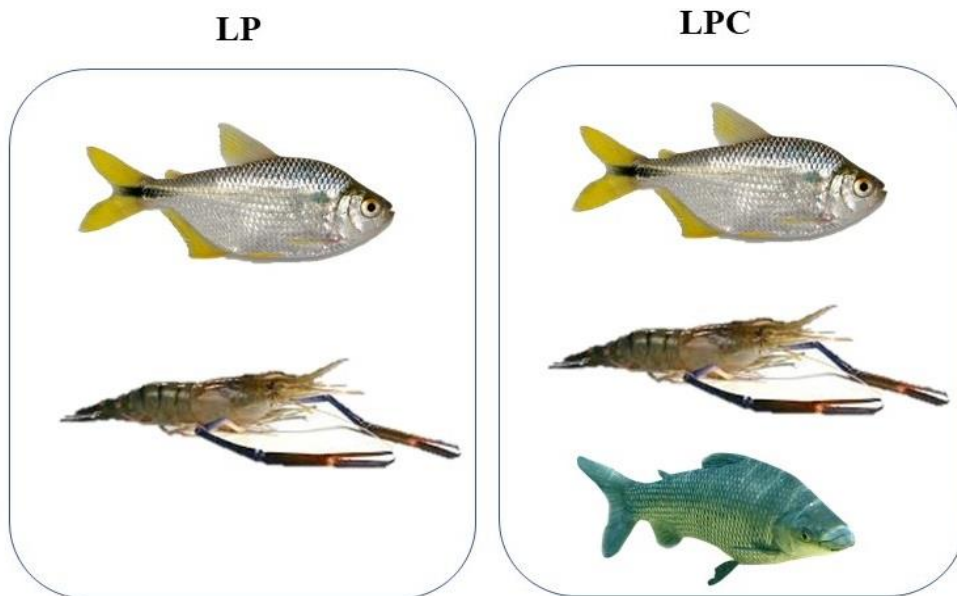


Figura 2: Tratamento LP (lambari e camarão) e LPC (lambari, camarão e curimatá).

A estocagem dos animais foi realizada seguindo o método de aclimação utilizado pelos produtores. Os viveiros foram povoados com alevinos de lambari com idade de 15 dias, pós-larvas de camarão com 20 dias e curimatá com 1 ano. Todos os alevinos e pós-larvas foram adquiridos no CAUNESP. A massa média inicial dos lambaris, camarão-da-malásia e curimatá foram de $0,04 \pm 0,02$ g, $0,05 \pm 0,03$ g, e $26,95 \pm 9,89$ g respectivamente. Amostras aleatórias de 100 indivíduos foram coletadas para realizar a biometria durante o experimento. A massa individual

dos animais foi obtida por meio de uma balança eletrônica (Marte-AS 2000C, Brasil) com precisão de 0,01 g. O comprimento total do *M. rosenbergii* e o comprimento total e padrão dos peixes foram determinados respectivamente, com paquímetro digital de precisão de 0,01 mm e ictiômetro de madeira de precisão de 0,1 cm. O comprimento total do *M. rosenbergii* foi determinado pela distância da margem distal do rostro até a extremidade distal do telson (Moraes-Riodades & Valenti, 2002). O comprimento total dos peixes correspondeu à distância entre a boca e o final mais longo da nadadeira caudal, enquanto o comprimento padrão se refere à distância entre a boca e o final do pedúnculo caudal (Holden & Raitt, 1974).

A espécie alvo foi o lambari-do-rabo-amarelo, que foi alimentado duas vezes ao dia com 10% da biomassa total estocada. A dieta fornecida foi a ração comercial para peixes onívoros (Guabi-Aqua Onívoros QS, Guabi Tech Juvenil – 36% de proteína bruta, granulometria de 2,3 mm). O curimatá e o camarão-da-malásia se beneficiaram dos nutrientes, subprodutos e resíduos da dieta fornecida aos lambaris produzidos no sistema. Baseado na literatura, arraçoamento diário foi reduzido pela metade, em dias que o OD variou pela manhã entre 2,5 a 3,5 mg/L e suspensos, quando esta concentração apresentou nível abaixo de 2,5 mg/L. Nesses casos, aeradores de emergência da marca Bernauer, modelo B-500 Aquahobby, monofásico – água doce (6,18), eram acionados até que o nível de OD se estabilizasse. Esse manejo manteve a taxa de OD na água sempre em níveis adequados para o bem estar dos organismos cultivados (Moraes-Valenti & Valenti, 2010).

Foram monitoradas diariamente as variáveis da água temperatura (C°), oxigênio dissolvido (OD), condutividade (S/M) e pH por meio da sonda YSI multiparâmetro, modelo 556 (YSI 556 MPS). Já as variáveis químicas de compostos nitrogenados e fósforo foram monitorados quinzenalmente, de acordo com a metodologia APHA (2005). A transparência foi registrada semanalmente com disco de Secchi (Boyd, 2020).

O experimento teve duração de 62 dias. Esse foi o tempo necessário para que o lambari atingisse o tamanho de 7 cm, tamanho ideal para ser comercializado como isca viva. O camarão-da-malásia foi comercializado para consumo humano como *petisco* e o curimatá foi destinado ao mercado de *peixamento*, que seria a

reposição de peixes das represas. A principal justificativa para a introdução desta última espécie é a otimização dos recursos que se acumulam no fundo dos viveiros.

Depois de despescados, os animais foram contados, pesados e medidos, utilizando balança de precisão (Gehaka BK 2000 – precisão: 0,01g) e ictiômetro de madeira (precisão de 1 cm). A média de sobrevivência, ganho de massa e comprimento foram obtidos para cada espécie. A produtividade por espécie e a produção total de espécies foram calculadas para cada viveiro e convertidas em $t.ha^{-1}$, dividindo a produtividade pela área do viveiro (em m^{-2}) e multiplicando por 10.000. A taxa de conversão alimentar (FCR) foi calculada para o lambari e as espécies agrupadas dividindo-se a dieta total fornecida durante o experimento pelo ganho final de biomassa durante o experimento, ou seja, biomassa despescada menos biomassa estocada. Após a despesca dos animais, os viveiros foram drenados e secos para o próximo cultivo.

Os resultados encontrados neste estudo foram submetidos aos testes de normalidade de Shapiro-Wilk e homocedasticidade por Bartlett. Sendo atendidas essas premissas, os dados foram submetidos ao teste T – Student, com nível de significância de 5% ($P \leq 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas pelo software R - Statistic (versão 4.0.2).

Alguns viveiros com os tratamentos LPC (viveiros 13 e 16) apresentaram baixo nível de oxigênio dissolvido no final do cultivo, bem como alguns animais invasores (Ex: cágados e traíras). Em função disso, a sobrevivência e ganho de massa individual dos curimatás foram muito menores em relação aos dos outros viveiros com o mesmo tratamento. Por esse motivo, esses dados foram considerados *outliers* e foram excluídos da análise. Como cada tratamento teve seis repetições, a retirada desses dados não afetou a análise estatística.

4. RESULTADOS

Nas variáveis limnológicas, o valor mínimo de oxigênio dissolvido no período da manhã foi de 1,21 mg. L^{-1} . À tarde, o oxigênio dissolvido atingiu concentração mínima de 1,10 mg. L^{-1} e máxima de 18,65 mg. L^{-1} . A amplitude térmica mínima pela manhã foi de 22,0 °C e 31,0 °C e à tarde foi de 26,4 °C e 34,9 C durante todo o ciclo produtivo (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros da qualidade da água (Média \pm DP) monitorados durante o experimento. LP = cultivo integrado de lambari-do-rabo-amarelo e camarão-da-malásia; LPC = lambari-do-rabo-amarelo, camarão-da-malásia e curimatã; NA = não se aplica, TIN = Nitrogênio inorgânico total, TP = Fósforo total

Variáveis	Entrada	LC		LCC	
		Manhã	Tarde	Manhã	Tarde
Temperatura (°C)	NA	27,7 \pm 0,2	31,0 \pm 0,1	27,6 \pm 0,1	36,5 \pm 0,2
OD (mg L ⁻¹)	NA	6,1 \pm 0,6	11,6 \pm 0,8	6,3 \pm 0,3	12,4 \pm 0,7
Saturação (%)	NA	76 \pm 5,6	152 \pm 6,5	81 \pm 6,5	164 \pm 3,7
Condu. (μ S cm ⁻¹)	NA	119 \pm 4,3	122 \pm 5,1	117 \pm 1,1	121 \pm 0,8
pH	NA	8,8 \pm 0,4	9,6 \pm 0,1	8,7 \pm 0,2	9,6 \pm 0,1
N-Amônia (μ g L ⁻¹)	21 \pm 7	12 \pm 7	NA	12 \pm 8	NA
N-Nitrito (μ g L ⁻¹)	26 \pm 13	17 \pm 11	NA	11 \pm 9	NA
N-Nitrato (μ g L ⁻¹)	41 \pm 6	15 \pm 14	NA	13 \pm 12	NA
TIN (μ g L ⁻¹)	87 \pm 10	44 \pm 28	NA	36 \pm 24	NA
TP (μ g L ⁻¹)	25 \pm 4	25 \pm 2	NA	25 \pm 3	NA

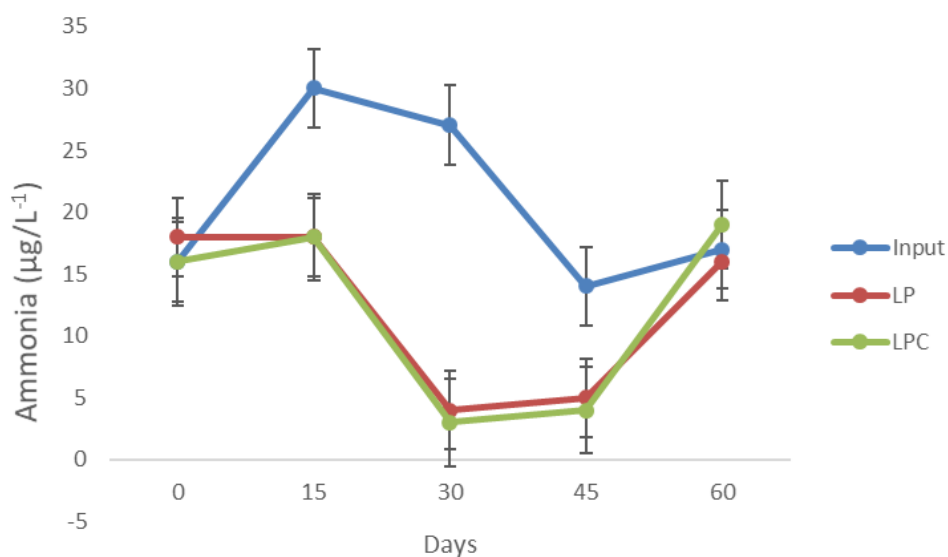


Figura 3: Dados da amônia μ g/L⁻¹ na água, monitorados durante o experimento, entre os diferentes tratamentos, mostrando a variação entre coletas.

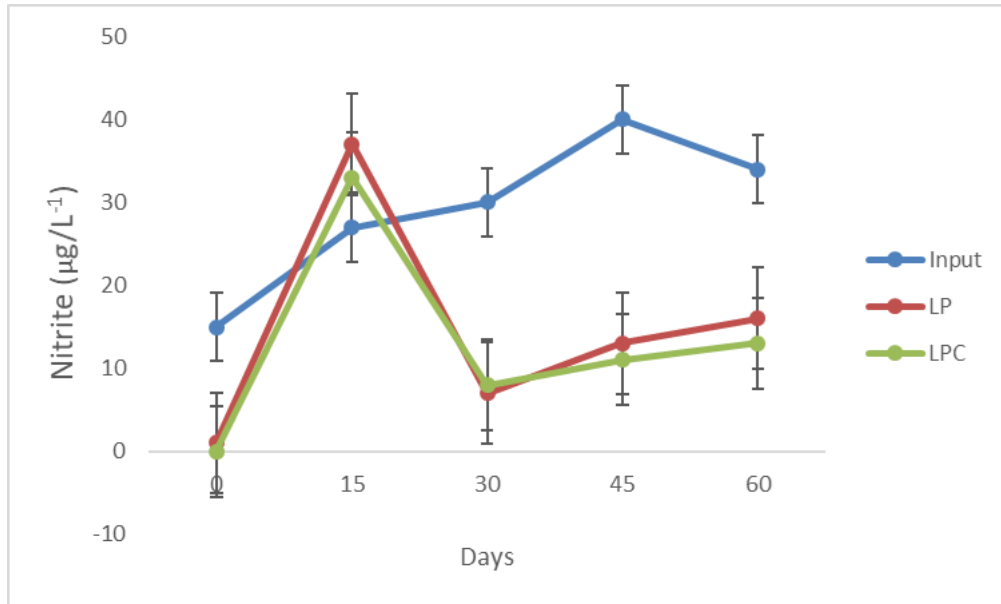


Figura 4: Dados de nitrito $\mu\text{g/L}^{-1}$ na água, monitorados durante o experimento, entre os diferentes tratamentos, mostrando a variação entre coletas.

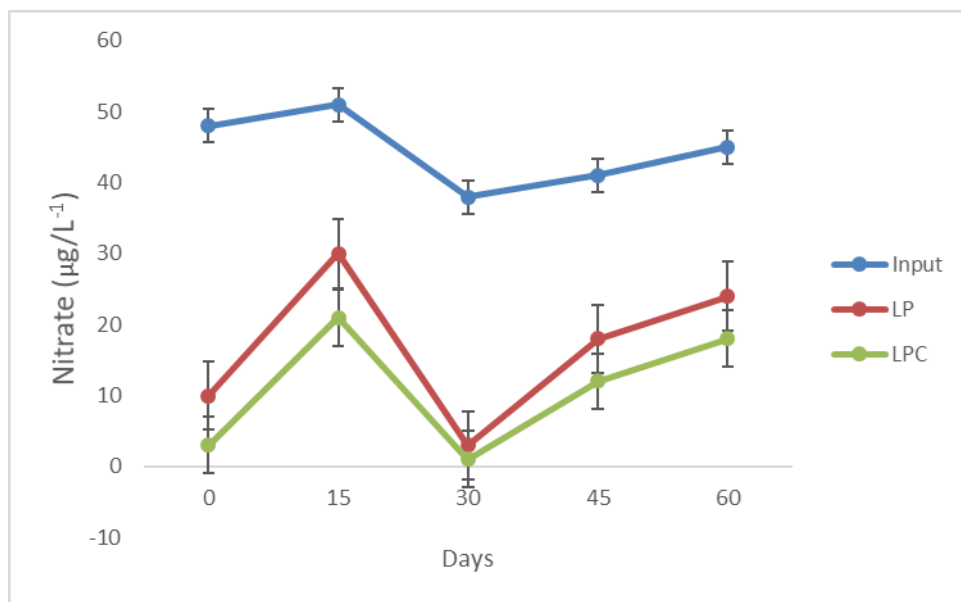


Figura 5: Dados de nitrato $\mu\text{g/L}^{-1}$ na água, monitorados durante o experimento, entre os diferentes tratamentos, mostrando a variação entre coletas.

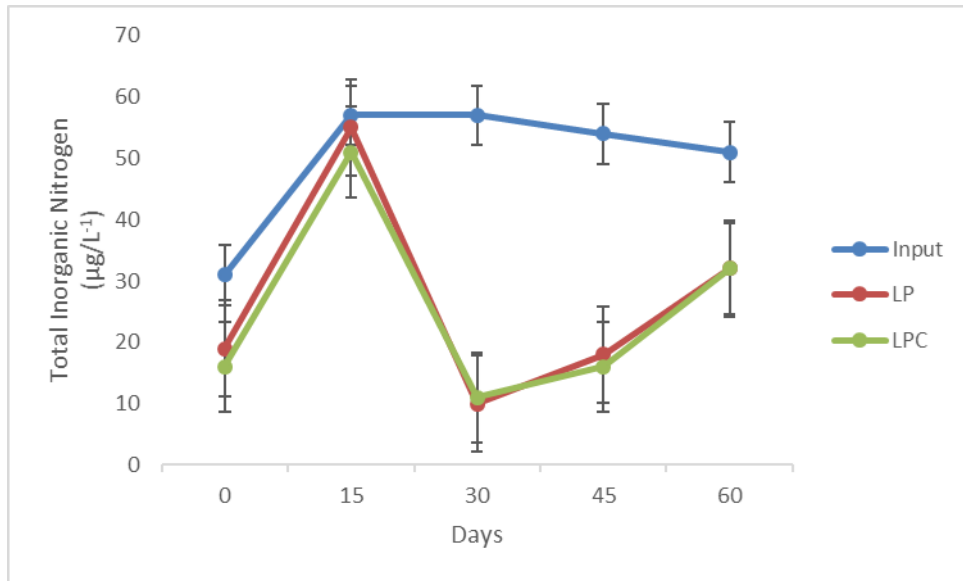


Figura 6: Dados do nitrogênio inorgânico total (TIN) $\mu\text{g/L}^{-1}$ na água, monitorados durante o experimento, entre os diferentes tratamentos, mostrando a variação entre coletas.

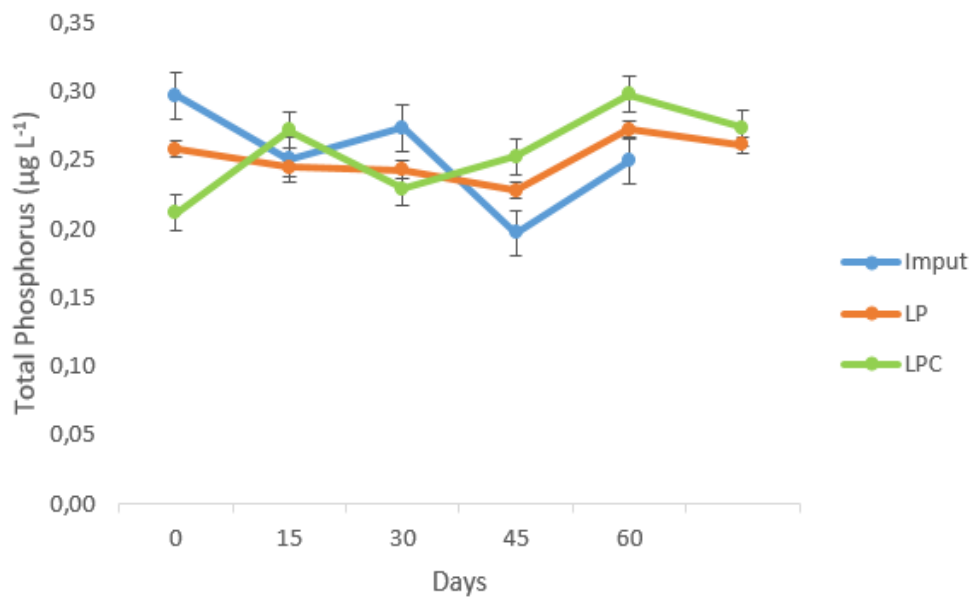


Figura 7: Dados do fósforo total $\mu\text{g/L}^{-1}$ na água, monitorados durante o experimento, entre os diferentes tratamentos, mostrando a variação entre coletas.

Em ambos os tratamentos os lambaris não mostraram diferença estatística significativa na sobrevivência, comprimento médio final, ganho de massa média, massa média final, produtividade e taxa de conversão alimentar. A sobrevivência dos camarões não apresentou diferença entre os tratamentos. Entretanto, houve

diferença no comprimento médio final, ganho de massa média, massa média final e produtividade, sendo significativamente maiores no tratamento LC (Tabela 2).

Tabela 2. Desempenho produtivo dos animais entre os diferentes tratamentos (Média \pm DP). LP = Lambari-do-rabo-amarelo e camarão-da-malásia; LPC = lambari-do-rabo-amarelo, camarão-da-malásia e curimbatá; FCR = taxa de conversão alimentar; NA = não aplicável. Comprimentos e Pesos Iniciais: *A. lacustris* = 1,47 \pm 0,15 cm; 0,04 \pm 0,02 g; *M. rosenbergii* = 1,76 \pm 0,44 cm; 0,05 \pm 0,03 g; *P. lineatus* = 13,42 \pm 1,26 cm; 26,95 \pm 9,89 g.

	LP	LPC
Produtividade total (t.ha ⁻¹)	1,9 \pm 0,5	2,5 \pm 0,3
Dieta total fornecida (t.ha ⁻¹)	2,5 \pm 0,8	2,4 \pm 0,3
FCR Total	1,3 \pm 0,5	1,5 \pm 0,3
<i>A. lacustris</i>		
Ganho de massa média (g)	5,6 \pm 1,9	6,2 \pm 2,2
Massa final média (g)	5,6 \pm 1,9	6,2 \pm 2,2
Comprimento final médio (cm)	6,5 \pm 0,9	6,8 \pm 0,9
Produtividade (t.ha ⁻¹)	1,5 \pm 0,5	1,5 \pm 0,4
Sobrevivência (%)	70 \pm 15	62 \pm 13
FCR	1,7 \pm 0,7	1,8 \pm 0,5
<i>M. rosenbergii</i>		
Ganho de massa média (g)	8,9 \pm 0,9 ^a	5,8 \pm 1,2 ^b
Massa final média (g)	8,9 \pm 0,9 ^a	5,9 \pm 1,2 ^b
Comprimento final médio (cm)	9,8 \pm 0,5 ^a	8,5 \pm 0,7 ^b
Produtividade (t.ha ⁻¹)	0,4 \pm 0,03 ^a	0,3 \pm 0,05 ^b
Sobrevivência (%)	89 \pm 7	89 \pm 3
<i>P. lineatus</i>		
Ganho de massa média (g)	NA	7,0 \pm 4,0
Massa final média (g)	NA	33,9 \pm 4,0
Comprimento final médio (cm)	NA	13,6 \pm 1,3
Produtividade (t.ha ⁻¹)	NA	0,8 \pm 0,2
Sobrevivência (%)	NA	74,9 \pm 13,4

* Diferentes letras entre as linhas indicam diferenças entre os tratamentos pelo teste *t*-Student ($P \leq 0,05$).

5. DISCUSSÃO

Os sistemas integrados estudados neste trabalho mostraram-se tecnicamente viáveis, apresentando um crescimento considerável das espécies cultivadas em apenas 62 dias. Os lambaris em sistema integrado com camarão apresentaram uma produtividade semelhante à obtida com adição do curimbatá. O cultivo foi encerrado quando os lambaris atingiram o tamanho comercial. Assim, as outras duas espécies podem ser comercializadas como juvenis ou serem

transferidas para outro sistema de cultivo integrado para completar a fase de engorda. O camarão-da-malásia produzido em sistema integrado com lambari e curimatá apresentou uma produtividade inferior em relação à do sistema com apenas o lambari-do-rabo-amarelo. Isso indica uma interação negativa entre o camarão-da-malásia e o curimatá decorrente de comportamento agonístico ou competição por espaço, oxigênio ou alimento. Por outro lado, não foi observada nenhuma variação significativa nas principais variáveis da qualidade da água com a introdução do curimatá nos viveiros de cultivo (Moraes-Valenti & Valenti, 2010; Brown *et al.*, 2010; Karplus & Sagi, 2010).

No presente estudo, o desempenho dos lambaris foi semelhante quando comparado aos sistemas de produção dessa espécie em *hapas*. Evangelista *et al.*, (2013) obtiveram lambaris com massa corporal final de 6,64 g, enquanto Sussel *et al.*, (2014) obtiveram lambaris com massa média final de 7,14 g, ambos estudos realizados em *hapas* com densidade de estocagem de 450 ind.m⁻³. A sobrevivência foi maior em sistemas com *hapas* com taxa de 98% (Sussel *et al.*, 2014), enquanto no presente estudo as taxas de sobrevivência foram 70% para o tratamento LP e de 61% para o tratamento LPC. No entanto, a produtividade obtida no presente estudo foi superior por se tratar de um sistema de cultivo em viveiros com densidade de estocagem maiores (40 ind.m⁻²). Vale ressaltar que esse foi um dos primeiros estudos em IMTA com três espécies sendo estas lambari, camarão-da-malásia e curimatá, Portanto, torna-se difícil a comparação com cultivos em *hapas* com alta densidade de lambaris em monocultivo. No presente estudo, o valor utilizado na densidade foi baseado em cultivos de lambaris de produtores locais, em cultivos de viveiros escavados, pois ainda não há dados na literatura que indique uma densidade mais apropriada para o cultivo desta espécie. Futuras pesquisas que avaliem a capacidade de suporte desse sistema podem vir a auxiliar nesse processo (Cho & Bureau, 1998).

Atualmente, ainda há pouca literatura sobre sistemas integrados de lambaris em viveiros escavados. Marques *et al.*, (2021) realizaram cultivos semelhantes em sistemas IMTA com lambaris, camarão-da-amazônia e curimatá, em 60 dias, tempo semelhante ao presente estudo. Desse modo, o atual trabalho é um dos primeiros a avaliar o cultivo integrado de lambari-do-rabo-amarelo com outras espécies. A diferença é que os sistemas de Marques *et al.*, (2021) trabalhou com

lambari, curimbatá e camarão-da-amazônia, sendo este último, espécie de pequeno porte e já o presente estudo trabalhou com lambari, curimbatá e camarão-da-malásia, que é um camarão de grande porte. Este último, parece ser mais territorialista que o camarão-da-amazônia. Talvez por isso, a inclusão do curimbatá, de hábito alimentar iliófago junto ao *M. rosenbergii* que é onívoro detritívoro, pode ter causado uma competição por alimentos no mesmo espaço físico dentro dos viveiros. Esse pode ter sido um dos motivos de não ter aumentado a produtividade total das espécies (1,9 vs 1,8 t.ha⁻¹), pois houve redução da produtividade do camarão em 34% no tratamento com as três espécies cultivadas juntas.

Alguns produtores testaram outros sistemas de cultivo integrado adicionando espécies de alto valor em viveiros de produção de lambari. Cultivos integrados de camarões de água doce têm um bom potencial e já tem sido bastante estudado (Marques *et al.*, 2016). No entanto, estudos dos cultivos integrados de lambari ainda são muito recentes, mas são caminhos importantes para novas pesquisas a serem realizadas (Fonseca *et al.*, 2017).

No presente trabalho, o camarão-da-malásia apresentou altas porcentagens de sobrevivência em ambos os tratamentos, comparando com os resultados de sobrevivência e produtividade de *M. rosenbergii* com outros estudos em sistemas também integrados de cultivo (Tabela 3). Rahman *et al.*, (2018) obtiveram sobrevivência semelhante (89%) e produtividade superior (0,5 t.ha⁻¹) na criação de camarão-da-malásia (*M. rosenbergii*), rohu (*Labeo rohita*) e mola (*Amblypharyngodon mola*), nos quais utilizaram densidade de estocagem muito menor (2 ind.m⁻²) e período de cultivo de seis meses, afetando positivamente a sobrevivência e a produtividade do cultivo. O tempo de cultivo do camarão-da-malásia é geralmente de 4 a 8 meses (Valenti *et al.*, 2010) e, portanto, essa menor produtividade no presente trabalho é esperada. Além disso, o desempenho produtivo do camarão-da-malásia diferiu entre os tratamentos. O comprimento médio final, massa média final, ganho de massa média e produtividade no tratamento LP foram superiores ao tratamento LPC. Essas diferenças indicam um efeito negativo do curimbatá sobre os camarões, como comportamento agonístico ou competição por recursos.

Marques *et al.*, (2021) observou que o sistema integrado do lambari-do-rabo-amarelo (*A. lacustris*), camarão-da-amazônia (*M. amazonicum*) e curimbatá (*P.*

lineatus) (LPC) aumentou a biomassa final das três espécies em relação ao monocultivo de lambari e ao cultivo integrado do lambari com o camarão-da-amazônia (LP). A conversão alimentar (FCR) total encontrada nesse estudo foi de $1,8 \pm 0,3$ no tratamento LP e de $1,4 \pm 0,3$ no tratamento LPC, diferente das FCR total do presente estudo, que foram similares nos tratamentos LP ($1,3 \pm 0,5$) e LPC ($1,5 \pm 0,3$). Franchini *et al.*, (2020) observaram resultados semelhantes no cultivo integrado de tambaqui (*Colossoma macropomum*), camarão-da-amazônia (*Macrobrachium amazonicum*) e curimatá (*Prochilodus lineatus*). No entanto, nesse trabalho, embora a produtividade do camarão tenha diminuído em 34%, quando o curimatá foi incluído no sistema, a biomassa de curimatá produzida compensou a redução na produtividade do camarão-da-amazônia. Entretanto, os estudos de Marques *et al.*, (2021) e Franchini *et al.*, (2020) foram realizados com camarão-da-amazônia (*M. amazonicum*), espécie de camarão diferente da espécie usada no atual, que foi com camarão-da-malásia (*M. rosenbergii*). De uma forma geral, o Gênero *Macrobrachium* apresenta o comportamento social agressivo e territorialista (Kuris *et al.*, 1987; Karplus *et al.*, 1992; Karplus *et al.*, 2000; Brown *et al.*, 2010; Karplus & Sagi, 2010; Moraes-Valenti & Valenti, 2010; Moraes-Valenti *et al.*, 2010).

Os curimatás utilizados nos estudos citados acima foram alevinos de 2,6 g (Franchini *et al.*, 2020) e 2,5 g (Marques *et al.*, 2021), enquanto os curimatás do presente estudo foram juvenis de ~ 27 g e ~ 1 ano, esses animais foram escolhidos pois se esperava um crescimento compensatório em seu desenvolvimento. Esse crescimento compensatório pode não ter acontecido devido ao curto período de cultivo de ~2 meses que é o período de desenvolvimento do lambari-do-rabo-amarelo.

O tamanho e a idade dos curimatás utilizados também podem ter causado a diminuição do desempenho dos camarões e FCR total do sistema. Os resultados obtidos no atual estudo mostraram que não houve diferença significativa na de conversão alimentar (FCR). Isso se deve ao fato de que o crescimento do curimatá foi suficiente apenas para compensar a mortalidade dos curimatás e a redução no crescimento de *M. rosenbergii*, observada no tratamento LPC. Dessa forma, as produtividades e FCR foram similares nos dois tratamentos. Isso pode ser decorrente do tamanho dos curimatás estocados, do curto período de cultivo ou do efeito de competição com *M. rosenbergii* por espaço e alimento. Futuros estudos

considerando alevinos de curimatá de diferentes tamanhos e cultivos mais longos integrados com *M. rosenbergii* devem ser realizados para avaliar essas hipóteses. Os três estudos realizados até o presente focando na inclusão do curimatá como terceira espécie em cultivos integrados (Franchini *et al.*, 2020; Marques *et al.*, 2021 e o presente estudo), indicaram que a inclusão do curimatá pode reduzir ou não os custos com ração, mas pode aumentar o número de produtos e de mercados explorados pelo produtor. Os juvenis de curimatá de vários tamanhos podem ser vendidos para fazendas de engorda ou empresas hidrelétricas para serem soltos nos rios, visando mitigar o impacto causado pelas barragens (Valenti *et al.*, 2021). O aumento da quantidade de produtos e de mercados explorados pelo produtor, aumenta a sustentabilidade econômica do empreendimento (Valenti *et al.*, 2018).

Tabela 3. Comparação de sistemas de criação de camarão-da-malásia (*M. rosenbergii*).

Sistemas	Sobrevivência (%)	Produtividade (t.ha ⁻¹)	Densidade (m ⁻²)	Autores
Integrado	89	0,4	5	Este estudo
	62	1,1	10	Karlovia <i>et al.</i> , (2019)
	89	0,5	2	Rahman <i>et al.</i> , (2018)
	67	0,3	10	Khan <i>et al.</i> , (2016)
Monocultivo	75	1,8	10	Karlovia <i>et al.</i> , (2019)
Rizi-carcinicultura	62	0,1	10	Dewi <i>et al.</i> , (2020)
	22	0,2	5	Boock <i>et al.</i> , (2016)

6. CONCLUSÃO

Os cultivos de lambari-do-rabo-amarelo e camarão-da-malásia com ou sem a adição do curimatá em sistemas integrados apresentaram-se tecnicamente viáveis. A produção do lambari apenas com camarão mostrou um desempenho produtivo semelhante ao sistema com o curimatá. Já os camarões cultivados com curimatá apresentaram desempenho produtivo inferior ao sistema com apenas lambari, isso pode estar relacionado com a idade do curimatá utilizado no presente estudo, pois o povoamento foi realizado com juvenis de quase um ano, bem maiores do que os alevinos utilizados no povoamento em estudos anteriores. Por essa razão, o povoamento com alevinos menores seria mais indicado em cultivo integrado.

Os resultados obtidos confirmam a hipótese de que a inclusão do curimbatá no sistema não afeta o desempenho zootécnico dos lambaris, mas demonstraram que reduz o crescimento do camarão-da-malásia. Entretanto, a inclusão do curimbatá aumentou levemente a produtividade total do sistema. Mas os resultados reforçam a hipótese da inclusão de uma terceira espécie iliófaga, como o curimbatá não prejudica a qualidade da água do cultivo e aumenta a produtividade total do sistema.

7. REFERÊNCIAS

- APHA (2005). Standard Methods for the *Examination* of Water and Wastewater, 1st ed. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington
- ANUÁRIO Peixe BR da Piscicultura (2022). Produção Brasileira de Peixes de Cultivo Sobe 4,7% e Atinge 841.005 Toneladas. Associação Brasileira da Piscicultura. 79 p.
- Boock, M. V., Marques, H. L. A., Mallasen, M., Barros, H. P., Moraes-Valenti, P., Valenti, W. C. (2016). Effects of prawn stocking density and feeding management on rice–prawn culture. *Aquaculture*, 451: 480-487. doi:10.1016/j.aquaculture.2015.10.009
- Boyd C.E. (2020). Water Quality Protection. In: **Water Quality** Springer, Cham. 339 p.
- Brown, J. H., New, M. B. & Ismael, D. (2010). Biology. In: New, M.B., Valenti, W.C., Tidwell, J.H., D'Abramo, L.R., Kutty, M.N. (Eds.), *Freshwater Prawns: Biology and Farming*. Wiley-Blackwell, Oxford, pp.18-39.
- Cho, C. Y. & Bureau, D. P. (1998). Development of bioenergetic models and the Fish-PrFEQ software to estimate production, feeding ration and waste output in aquaculture. *Aquatic Living Resources*, 11(4): 199-210.
- Chopin, T. (2013). Integrated multi-trophic aquaculture—ancient, adaptable concept focuses on ecological integration. *Global Aquaculture Advocate*, 16(2), 16-19.
- Chopin, T., MacDonald, B., Robinson, S., Cross, S., Pearce, C., Knowler, D., Noce, A., Reid, G., Cooper, A., Speare, D., Burridge, L., Crawford, C., Sawhney, M., Ang, K. P., Backman, C., & Hutchimson, M. (2013). The Canadian Integrated Multi-Trophic Aquaculture Network (CIMTAN) - A Network for a New Era of Ecosystem Responsible Aquaculture. *Fisheries*, 38(7), 297-308. DOI: 10.1080/03632415.2013.791285.
- Dantas, DP, Flickinger, DL, Costa, GA, Batlouni, SR, Moraes-Valenti, P., & Valenti, WC (2020). Viabilidade técnica da integração da carcinicultura amazônica na primeira fase de engorda de tambaqui em tanques estagnados, utilizando água rica em nutrientes. *Aquicultura* , 516 , 734611.
- David, F.S., Proença, D.C., Valenti, W.C., (2017a). Nitrogen budget in integrated aquaculture systems with Nile tilapia and Amazon River prawn. *Aquac. Int.* 25, 1733–1746. <https://doi.org/10.1007/s10499-017-0145-y>.
- David, F.S., Proença, D.C., Valenti, W.C., (2017b). Phosphorus budget in integrated multitrophic aquaculture systems with Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) and Amazon River Prawn (*Macrobrachium amazonicum*). *J. World Aquacult. Soc.* 48 (3), 402–414.
- Dewi, R. R. S. P. S., Krettiawan, H., Anggraeni, F., Kusnendar, E. (2020). Productivity and profitability of rice-freshwater prawn culture in different

- stocking density of prawn. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 521, No. 1, p. 012021). IOP Publishing. doi:10.1088/1755-1315/521/1/012021
- Evangelista, M. M., Sussel, F. R. Boock, M. V., Marques, H. L. A. (2013). Densidades de estocagem do lambari-do-rabo-amarelo, *Astyanax altiparanae*, em tanques-rede in: XI Reunião Científica do Instituto de Pesca, São Paulo - SP - 08 a 10 de abril de 2013 Anais... São Paulo: Instituto de Pesca. p. 42-44
- Flickinger, D. L., Costa, G. A., Dantas, D. P., Moraes-Valenti, P., Valenti, W. C. (2019a). The budget nitrogen in the grow-out of the Amazon river prawn (*Macrobrachium amazonicum* Heller) and tambaqui (*Colossoma macropomum* Cuvier) farmed in monoculture and integrated multitrophic aquaculture systems. *Aquaculture Research*, 00: 1-18. doi:10.1111/are.14304.
- Flickinger, D. L., Dantas, D. P., Proença, D. C., David, F. S., Valenti, W. C. (2019b). Phosphorus in the culture of the Amazon river prawn (*Macrobrachium amazonicum*) and tambaqui (*Colossoma macropomum*) farmed in monoculture and in integrated multitrophic systems. *Journal of the World Aquaculture Society*, In Press. doi:10.1111/jwas.12655
- Fonseca, T., Costa-Pierce, B. A., Valenti, W. C. (2017). Lambari aquaculture as a means for the sustainable development of rural communities in Brazil. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 25(4): 316-330. doi:10.1080/23308249.2017.1320647
- Franchini, A. C., Costa, G. A., Pereira, S. A., Valenti, W. C., Moraes-Valenti, P. (2020). Improving production and diet assimilation in fish-prawn integrated aquaculture, using iliophagus species. *Aquaculture*, 521: 735048. doi:10.1016/j.aquaculture.2020.735048
- Freire, K. M. F., Machado, M. L. Crepaldi, D. (2012): Overview of Inland Recreational Fisheries in Brazil. *Fisheries*, 37: 11, 484-494. doi:10.1080/03632415.2012.731867
- Henry-Silva, G. G., & Camargo, A. F. M. (2018). Impacto das atividades de aqüicultura e sistemas de tratamento de efluentes com macrófitas aquáticas—relato de caso. *Boletim do Instituto de Pesca*, 34(1), 163-173. Disponível em: <https://www.institutodepesca.org/boletim/index.php/bip/article/view/782>.
- Holden, M. J. & Raitt, D. F. S. (1974). Manual of fisheries science. Part 2-Methods of resource investigation and their application. Documents Techniques FAO sur les Peches (FAO)-Documentos Tecnicos de la FAO sobre la Pesca (FAO).
- Kalous, L., Bui, A.T., Petrtyl, M., Bohlen, J., Chaloupková, P. (2012). The South American freshwater fish *Prochilodus lineatus* (*Actinopterygii*: Characiformes: Prochilodontidae): New species in Vietnamese aquaculture. *Aquaculture Research*, 43: 955–958. doi:10.1111/j.1365-2109.2011.02895.x
- Karlovia, S. K., Bakhtiyar, Y., Langer, S. (2019). Comparison of the Growth Potential of *Macrobrachium rosenbergii* in Mono and Polyculture Conditions in Earthen Culture Ponds of Jammu, India. *Journal of Ecophysiology and Occupational Health*, 19(3-4), 112-119. doi: 10.18311/jeoh/2019/23499.

- Karplus, I., Hulata, G., Ovadia, D., Jaffia, R., (1992). Social control of growth in *Macrobrachium rosenbergii*: IV. The role of claws in bull– runt interactions. *Aquaculture* 105, 281–296.
- Karplus, I. & Malecha, S., Sagi, A., (2000). The biology and management of size variation. In: New, M.B., Valenti, W.C. (Eds.), *Freshwater Prawn Culture: the Farming of *Macrobrachium rosenbergii**. Blackwell, Oxford, pp. 254– 289.
- Karplus, I. & Sagi, A. (2010). The Biology and Management of Size Variation. In: New, M.B., Valenti, W.C., Tidwell, J.H., D'Abramo, L.R., Kutty, M.N. (Eds.), *Freshwater Prawns: Biology and Farming*. Wiley-Blackwell, Oxford, pp. 316-345.
- Kubitza, F. (2016). Brazilian aquaculture: Constraints and challenges (Part 1). *Global Aquaculture Advocate* (<http://advocate.gaalliance.org>).
- Kuris, A.M., Ra'anan, Z., Sagi, A., Cohen, D., (1987). Morphotypic differentiation of male Malaysian giant prawns, *Macrobrachium rosenbergii*. *Journal of Crustacean Biology* 7, 219– 237.
- Khan, M. S. R., Khan, M. M., Akter, N., Wahab, M. A. (2016). Strain performance of tilapia in freshwater prawn polyculture. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 14(1): 127-134.
- Marques, H.L.A., New, M.B., Boock, M.V., Barros, H.P., Mallasen, M., Valenti, W.C. (2016). Integrated freshwater prawn farming: State-of-the-art and future potential. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 24: 264–293. doi:10.1080/23308249.2016.1169245
- Marques, A. M., Boaratti, A. Z., Belmudes, D., Ferreira, J. R., Mantoan, P. V., Moraes-Valenti, P. & Valenti, W. C. (2021). Improving the efficiency of lambari production and diet assimilation using integrated aquaculture with benthic species. *Sustainability*, 13(18), 10196.
- Moraes-Riodades, P., & Valenti, W. C. (2002). Crescimento relativo do camarão canela *Macrobrachium amazonicum* (Heller)(Crustacea, Decapoda, Palaemonidae) em viveiros. *Revista Brasileira de Zoologia*, 19, 1169-1176.
- Moraes-Valenti, P. & Valenti, W.C., (2010). Culture of the Amazon River prawn *Macrobrachium amazonicum*. In: New, M.B., Valenti, W.C., Tidwell, J.H., D'Abramo, L.R., Kutty, M.N. (Eds.), *Freshwater Prawns: Biology and Farming*. Wiley-Blackwell, Oxford, pp. 485–501.
- Moraes-Valenti, P., Preto, B.L., Morais, P.A. & Valenti, W.C., (2010). Effect of density on population development in the Amazon River prawn *Macrobrachium amazonicum*. *Aquat. Biol.* 9, 291–301.
- New, M.B. & Valenti, W.C. (2017). *Tilapia-Macrobrachium* Polyculture. In: PERSCHBACHER, P.W. and STICKNEY, R.R. *Tilapia in intensive co-culture*. Oxford, Wiley-Blackwell. p. 165-184. doi:10.1002/9781118970652
- Rahman, M. M., Sultana, S., Kabiraj, M., Das, M. (2018). Role of micro and macronutrients enrich fertilizers on the growth performance of prawn (*Macrobrachium rosenbergii*), rohu (*Labeo rohita*) and mola

- (*Amblypharyngodon mola*) in a polyculture system. *International Journal of Agricultural Research, Innovation and Technology (IJARIT)*, 8(2355-2020-1655), 47-53. doi:10.3329/ijarit.v8i2.40555
- Riggo, R. F. Q. (2018). A mercantilização do Aquífero Guarani: uma análise jurídica à luz da teoria do Bem Viver (Master's thesis).
- Rodrigues, C. G., Engle, C., Garcia Neto, B. F., Amorim, R. V., & Valenti, W. C. (2019a). The effect of choice of targeted market, production scale, and land tenure on the economics of integrated tilapia-prawn production. *Aquaculture Economics & Management*, 23(2), 204-217.
- Rodrigues, C. G., Garcia, B. F., Verdegem, M., Santos, M. R., Amorim, R. V., & Valenti, W. C. (2019b). Integrated culture of Nile tilapia and Amazon river prawn in stagnant ponds, using nutrient-rich water and substrates. *Aquaculture*, 503, 111-117.
- Sampaio, L. A., Ono, E., Routledge, E.A.B., Correia, E.S., Moraes-Valenti, P., Martino, R.C. (2010). Brazilian Aquaculture Update. *Journal of the world Aquaculture Society*, 32 - 42.
- Santos, M. J. D. & Valenti, W. C. (2002). Production of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* and freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* stocked at different densities in polyculture systems in Brazil. *Journal of the World Aquaculture Society*, 33(3), 369-376.
- Suplicy, F. M. (2020). A review of the multiple benefits of mussel farming. *Reviews in Aquaculture*, 12(1), 204-223.
- Sussel, F. R., Viegas, E. M. M., Evangelista, M. M., Gonçalves, G. S., Salles, F. A., & Gonçalves, L. U. (2014). Replacement of animal protein with vegetable protein in the diets of *Astyanax altiparanae*. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 36(4): 343-348.
- Valenti, W.C.; New, M. B.; Salin, K.R. & Ye, J. (2010). Grow-out Systems: Monoculture In: NEW, M. B.; VALENTI, W. C.; TIDWELL, J. H.; D'ABRAMO, L. R. & KUTTY, M. N. (Ed.) *Freshwater prawns: biology and farming*. Oxford, Wiley-Blackwell. p. 154-179.
- Valenti, W. C., Kimpara, J. M., & de L Preto, B. (2011). Measuring aquaculture sustainability. *World Aquaculture*, 42(3), 26.
- Valenti, W.C., Kimpara, J.M., Preto, B. de L., Moraes-Valenti, P. (2018). Indicators of sustainability to assess aquaculture systems. *Ecological Indicators*, 88: 402–413. doi:10.1016/j.ecolind.2017.12.068
- Valenti, W.C.; Barros, H.P.; Moraes-Valenti, P.; Cavalli, R.O. (2021). Aquaculture in Brazil: past, present and future. *Aquaculture Reports*, 19, e100611.p. 1-18. doi: 10.1016/j.aqrep.2021.100611
- Valladão, G. M. R., Gallani, S. U., and Pilarski, F. (2018). South American fish for continental aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 10(2): 351-369. doi:10.1111/raq.12164

Wang, M. & Lu, M. (2016). Policultivo de Tilápia: uma revisão global. *Pesquisa em aquicultura* , 47 (8), 2363-2374.

Zimmermann, S., Nair, C. M., New, M. B. (2009). Grow-out systems – polyculture and integrated culture, 195–217. In: *Freshwater prawns: biology and farming*. (New, M. B., W. C. Valenti, J. H. Tidwell, L. R. D’Abramo, M. N. Kutty Eds.). Oxford: Wiley- Blackwell.

Capítulo III – Avaliação do desempenho ambiental de sistemas integrados com *Astyanax lacustris*, *Macrobrachium rosenbergii* e *Prochilodus lineatus*.

RESUMO

A produção de alimentos proveniente da aquicultura cresce mais a cada ano e vem sendo criticada por seus impactos ambientais negativos. O caminho em direção da sustentabilidade é incerto e precisa ser avaliado. Foi utilizado um conjunto de indicadores para avaliar a sustentabilidade ambiental, principalmente o uso e eficiência dos recursos em sistemas integrados usando espécies detritívoras bentônicas. O estudo teve duração de dois meses, onde foram utilizados dois tratamentos e seis repetições cada. Os tratamentos foram constituídos em LP: sistema integrado de lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax lacustris*) e camarão-da-malásia (*Macrobrachium rosenbergii*) e LPC: sistema integrado de lambari-do-rabo-amarelo (*A. lacustris*), camarão-da-malásia (*M. rosenbergii*) e curimbatá (*Prochilodus lineatus*). A sustentabilidade foi medida com base na utilização do espaço e recursos naturais, eficiência na utilização dos recursos e a poluição liberada no meio ambiente. Os resultados mostraram que o tratamento LP apresentou melhor liberação de poluentes no sedimento. Já o tratamento LPC melhorou a utilização e eficiência no uso de espaço e dos recursos, tendo menos liberação de poluentes nos efluentes.

Palavras-chave: sustentabilidade, indicadores ambientais, sistemas integrados

ABSTRACT

Food production from aquaculture grows more each year and has been criticized for its negative environmental impacts. The path towards sustainability is uncertain and needs to be evaluated. A set of indicators was used to assess environmental sustainability, mainly the use and efficiency of resources in integrated systems using benthic detritivore species. The study lasted two months, where two treatments and six repetitions each were used. The treatments consisted of LP: integrated system of yellow tail lambari (*Astyanax lacustris*) and the giant river prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) and LPC: integrated system of yellow tail lambari (*A. lacustris*), giant river prawn (*M. rosenbergii*) and curimbatá (*Prochilodus lineatus*). Sustainability was measured based on the use of space and natural resources, efficiency in the use of resources and the pollution released into the environment. The results showed that the LP treatment presented better release of pollutants into the sediment. However, LPC treatment improved the use and efficiency in the use of space and resources, with less release of pollutants in the effluents.

Keywords: Sustainability, Environmental Indicators, Integrated systems.

1. INTRODUÇÃO

A aquicultura continental vem crescendo cada vez mais a cada ano, em 2018 sua produção foi de ~51,3 milhões de toneladas de pescado, correspondendo a 62,5% de todo pescado para alimentação mundial (FAO, 2020). Essa produção crescente é de grande importância para a manutenção da segurança alimentar e como fonte de geração de renda. Apesar de sua importância, ela também carrega consigo o potencial de gerar uma grande carga de matéria orgânica (Turcios & Papenbrock, 2014). Neste contexto, a utilização de indicadores ambientais tornou-se a base para monitorar e avaliar o impacto da produção aquícola nos ecossistemas aquáticos.

Os indicadores ambientais são ferramentas importantes para avaliar o desempenho ambiental das explorações aquícolas, identificando áreas de melhoria e desenvolvendo estratégias de gestão sustentável. Esses indicadores podem abranger uma ampla gama de aspectos ambientais, como qualidade da água, biodiversidade, uso de recursos naturais, gestão de resíduos e impactos nos habitats costeiros (Kimpura *et al.*, 2012; Valenti *et al.*, 2018). Em suma, os indicadores ambientais desempenham um papel fundamental na produção aquícola e podem avaliar de forma objetiva e abrangente o impacto da aquicultura no meio ambiente. Por meio do monitoramento e aprimoramento desses indicadores, é possível promover uma produção mais sustentável e garantir a conservação dos ecossistemas aquáticos, atendendo à crescente demanda por proteínas aquícolas de forma responsável e ética. Compreender essas tendências permite fazer projeções de curto prazo e decisões relevantes para o futuro (Valenti *et al.*, 2021; Troell *et al.*, 2023).

Além disso, o cultivo integrado é uma técnica milenar que vem sendo utilizada para solucionar os problemas ambientais, sociais e econômicos da aquicultura moderna. A prática da aquicultura integrada consiste no cultivo de espécies de diferentes níveis tróficos com funções complementares no ecossistema (Marques *et al.*, 2016). Essa forma de cultivo permite a alimentação de uma das espécies com resíduos, nutrientes e por subprodutos gerados por outra espécie presente no mesmo ambiente (Chopin *et al.*, 2013). Esses subprodutos gerados pelo cultivo de espécie são reciclados para se transformarem em insumos

(i.e. fertilizantes, alimentos e energia) para outras espécies, aproveitando assim, as integrações sinérgicas das mesmas (Chopin *et al.*, 2013; Valenti *et al.*, 2021; Jiang *et al.*, 2022).

A escolha das espécies para compor um sistema integrado depende, entre outras coisas, da viabilidade técnica e econômica dos sistemas produtivos, da existência de um pacote tecnológico e nichos de mercado para as espécies cultivadas (Marques *et al.*, 2016). Entre as espécies cultivadas, a produção do lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax lacustris*) é um exemplo de atividade que vem ganhando espaço nos meios de produção. Esta vem sendo explorada de modo predominante em sistemas de monocultivo e apoiadas em práticas de produção sem muita informação científica e padronização (Fonseca *et al.*, 2017). No entanto, a produção de lambaris tem potencial suficiente para crescer de forma sustentável, sugerindo ser realizada em sistemas integrados (Fonseca *et al.*, 2022).

Outra espécie bastante utilizada na aquicultura é o camarão-da-malásia (*Macrobrachium rosenbergii*). Este, por ser uma espécie de água doce, pode ser cultivado nas mesmas instalações que o *A. lacustris*. Isso representa uma ótima oportunidade para os piscicultores aumentarem a produtividade do sistema, expandindo o mercado e aumentarem os lucros, utilizando a mesma infraestrutura de cultivo (Marques *et al.*, 2021). Além dessas duas espécies citadas, o curimatá (*Prochilodus lineatus*), outro peixe de água doce, também pode ser incluído como uma terceira espécie cultivada no mesmo sistema integrado. A inclusão de uma outra espécie pode aumentar a circularidade do sistema, manter a viabilidade técnica e proporcionar uma maior diversidade de mercado (Franchini *et al.*, 2020; Marques *et al.*, 2021).

O desenvolvimento da aquicultura sustentável deve incluir as dimensões econômicas, ambientais e sociais (Valenti *et al.*, 2018). Essas dimensões são essenciais para estabelecer uma atividade perene. Porém, o maior desafio é medir a sustentabilidade dos sistemas aquícolas (Boyd *et al.*, 2020). Assim, utilizando os indicadores de sustentabilidade podemos medir a eficiência dos nossos sistemas de produção aquícolas de forma métrica, averiguando seus pontos fortes e fracos para que possam ser corrigidos e tornar o sistema mais sustentável nas três dimensões.

2. OBJETIVO

- Avaliar a sustentabilidade ambiental dos sistemas integrados de lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax lacustris*) e camarão-da-malásia (*Macrobrachium rosenbergii*) e sistema integrado com adição do curimatá (*Prochilodus lineatus*).
- Quantificar e comparar a sustentabilidade ambiental de sistemas integrados com duas e três espécies e identificar os pontos fortes e fracos de cada sistema de produção.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Delineamento Experimental

O experimento foi realizado no Setor de Carcinicultura do Centro de Aquicultura (CAUNESP), Universidade estadual Paulista, Brasil (21°15'22"S e 48°18'48"O). O experimento foi conduzido no período de 14 de janeiro de 2020 a 16 de março de 2020, quando o período é quente e chuvoso. Foram utilizados doze viveiros retangulares de fundo natural com área de ~0,015 ha e profundidade de ~1 m.

3.2. Preparação dos viveiros, estocagem e manejo

Inicialmente os viveiros foram drenados e expostos ao sol até estarem completamente secos. Toda vegetação e sedimento remanescente foram removidos. Em seguida, os viveiros foram tratados (250 kg.ha⁻² CaCO₃). Após 3 dias os viveiros foram abastecidos com água hipereutrófica onde tem sido utilizada em culturas sem renovação com sucesso (Kimpura *et al.*, 2011; David *et al.*, 2017 a, b). A água de entrada dos viveiros foi ajustada para compensar as perdas de água por infiltração e evaporação. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC) com dois tratamentos e seis repetições cada. Os tratamentos foram LP - os cultivos integrados de lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax lacustris*) e camarão-da-malásia (*Macrobrachium rosenbergii*) e LPC - lambari-do-rabo-amarelo, camarão-da-malásia e curimatá (LPC). As densidades de estocagem dos animais foram de lambaris = 40 ind.m⁻², camarão = 5 ind.m⁻² e curimatá = 3 ind.m⁻².

A espécie alvo foi o lambari-do-rabo-amarelo, que foi alimentado duas vezes ao dia com 10% da biomassa total estocada. A dieta fornecida foi a ração comercial para peixes onívoros (Guabi-Aqua Onívoros QS, Guabi Tech Juvenil – 36% de proteína bruta, granulometria de 2,3 mm). O curimatá e o camarão-da-malásia se beneficiaram dos nutrientes, subprodutos e resíduos da dieta fornecida aos lambaris produzidos no sistema.

3.3. Água de abastecimento e efluentes

A entrada de água nos viveiros foi ajustada apenas para repor as perdas por infiltração e evaporação. Desse modo, não havia saída de efluente dos viveiros durante o ciclo de cultivo. A determinação do volume de água da entrada foi feita a cada 15 dias, onde foi obtida a partir do fechamento total da água de entrada por cerca de oito horas. Ao final deste período, foi avaliado quanto o nível de água diminuiu. A cada quinze dias amostras de água dos viveiros foram coletadas e a amostra do efluente foi obtida apenas no momento da despesca de cada um dos viveiros, visto que não havia renovação de água do sistema. Essas amostras foram armazenadas em garrafas plásticas e mantidas em freezer (-18°C) até o momento da análise.

3.4. Determinação dos parâmetros de qualidade da água

Foram monitoradas diariamente as variáveis da água temperatura (C°), oxigênio dissolvido (OD), condutividade (S/M) e pH por meio da sonda YSI multiparâmetro, modelo 556 (YSI 556 MPS). Já as variáveis químicas de compostos nitrogenados e fósforo foram monitorados quinzenalmente, de acordo com a metodologia APHA (2005). A transparência foi registrada semanalmente com disco de Secchi (Boyd, 2020).

Tabela 1: Tabela dos métodos de análises das variáveis químicas da água.

Váriavel	Método de análise	Referência
N-Amônia total	Fenato+colorimétrico	APHA (2005)
N-Nitrito	Colorimétrico	APHA (2005)
N-Nitrato	Redução em cádmium	APHA (2005)
N-Total	Semi-Macro-Kjeldahl	APHA (2005)
P-Total	Cloreto estanhoso	APHA (2005)

Tabela 2. Parâmetros da qualidade da água (Média \pm DP) monitorados durante o experimento. LP = cultivo integrado de lambari-do-rabo-amarelo e camarão-da-malásia; LPC = lambari-do-rabo-amarelo, camarão-da-malásia e curimatá; NA = não se aplica, TIN = Nitrogênio inorgânico total, TP = Fósforo total

Variáveis	Entrada	LC		LCC	
		Manhã	Tarde	Manhã	Tarde
Temperatura (°C)	NA	27,7 \pm 0,2	31,0 \pm 0,1	27,6 \pm 0,1	36,5 \pm 0,2
OD (mg L ⁻¹)	NA	6,1 \pm 0,6	11,6 \pm 0,8	6,3 \pm 0,3	12,4 \pm 0,7
Saturação (%)	NA	76 \pm 5,6	152 \pm 6,5	81 \pm 6,5	164 \pm 3,7
Conduti. (μ S cm ⁻¹)	NA	119 \pm 4,3	122 \pm 5,1	117 \pm 1,1	121 \pm 0,8
pH	NA	8,8 \pm 0,4	9,6 \pm 0,1	8,7 \pm 0,2	9,6 \pm 0,1
N-Amônia (μ g L ⁻¹)	21 \pm 7	12 \pm 7	NA	12 \pm 8	NA
N-Nitrito (μ g L ⁻¹)	26 \pm 13	17 \pm 11	NA	11 \pm 9	NA
N-Nitrato (μ g L ⁻¹)	41 \pm 6	15 \pm 14	NA	13 \pm 12	NA
TIN (μ g L ⁻¹)	87 \pm 10	44 \pm 28	NA	36 \pm 24	NA
TP (μ g L ⁻¹)	25 \pm 4	25 \pm 2	NA	25 \pm 3	NA

3.5. Quantificação do sedimento e análise dos nutrientes

Para a quantificação de sedimento gerado pelo processo de produção, foram utilizados coletores de Tripton. Estes coletores são compostos por seis tubos de PVC de 1,9 L com 97 cm de diâmetro e 25,4 cm de comprimento, com área total de 0,045 m². Foi colocado um coletor em cada viveiro e mantido por 24 horas, quinzenalmente. As amostras foram drenadas dos coletores e secas a temperatura de 95 a 100 °C (AOAC, 1995 – método 934.01) pesadas e analisadas em laboratório para a determinação da quantidade total de sedimento acumulado ao longo do período experimental, e dos conteúdos de carbono orgânico total, nitrogênio total, fósforo total, a partir da mesma metodologia utilizada para a

determinação dos animais e ração.

3.6. Estimação dos gases do efeito estufa

As liberações de gás carbônico (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) para a atmosfera podem ocorrer por emissões ebulitivas (bolhas) e por trocas de gás por difusão na interface água-ar (Matvienko *et al.*, 2000). Para capturar essas bolhas, foram utilizados funis de fibra de vidro suspensos por flutuadores que eram instalados nos viveiros durante todo período de cultivo. O diâmetro da boca do funil tem 0,3mm, com um ângulo de 60°, terminando em diâmetro de 20 mm. Na extremidade do funil foi conectado um recipiente de 1,5L que coletou as bolhas liberadas durante todo cultivo. Após este período, os recipientes foram levados ao laboratório para análise cromatográfica.

A difusão na interface água-ar foi avaliada pelo método do equilíbrio, no qual porções confinadas de ar são permitidas a parcialmente se equilibrar com o gás dissolvido na água durante período de 0, 2, 4 e 8 minutos, usando câmaras de difusão. Todas as amostras foram acondicionadas em tubos de transferência para análises cromatográficas (Shimadzu – GC-2014 Permanent Gas Analyzer). Esse sistema GC apresenta dois sensores, o detector de condutividade térmica (TCD) e detector de ionização por chama (FID), os quais quantificam CO₂ e CH₄. Os valores de massa de metano e óxido nitroso foram convertidos em equivalentes de CO₂, considerando o Potencial de Aquecimento Global (Global Warming Potential – GWP) para o período de 100 anos, de acordo com o 6º Relatório de Avaliação de IPCC (IPCC, 2021). Assim, a massa de metano foi multiplicada por 27,2 e a de óxido nitroso por 273, que corresponde à quantidade de energia que cada unidade de massa de um determinado gás pode manter na atmosfera, em relação à mesma unidade de massa de CO₂.

3.7. Animais povoados e despescados

Amostras de 100 indivíduos de cada espécie foram coletadas no início e fim do experimento e abatidas em gelo, pesadas e medidas. Além dessas, uma amostra de ~20 g de ração foi utilizada para determinação de carbono orgânico total, nitrogênio total, fósforo total e energia. Em seguida, foram secos em estufa

com circulação forçada a 60°C até a estabilizar a massa e posteriormente trituradas. O conteúdo de carbono total e nitrogênio total foi determinado pelo Analisador CHNS Elementar – Vario MACRO Cube. O conteúdo de fósforo total foi determinado pelo método de colorimetria do metavanadato, aplicado em amostras previamente incineradas em mufla por 4 horas a 550°C (Michelsen, 1957). O teor de energia foi determinado pelo método Dynamic 25°C em calorimetria IKA modelo C2000 basic.

3.8. Indicador de sustentabilidade ambiental

A sustentabilidade ambiental foi medida de acordo com Valenti *et al.*(2018), com base em três aspectos: (A) Uso dos recursos naturais; (B) Eficiência na utilização dos recursos; (C) Poluentes lançados ao meio ambiente.

A. Os indicadores utilizados para medir o uso dos recursos naturais foram:

1. **Espaço:** área utilizada por produção. A área utilizada é a soma das áreas dos viveiros, monges e canais para água.
2. **Água:** Volume total de água utilizada por produção. O volume total foi obtido para cada viveiro pela soma do volume para enchê-lo com o volume de água de reposição. Em seguida foi feita a média dos viveiros de cada tratamento.
3. **Material:** Massa de nutrientes aplicado no sistema por produção.
 - 3.1. **Nitrogênio:** A massa de nitrogênio aplicada é a soma do nitrogênio contido na ração ofertada e animais estocados.
 - 3.2. **Fósforo:** A massa de fósforo aplicada é a quantidade de fósforo contida na ração ofertada e animais estocados.
 - 3.3. **Carbono:** A massa de carbono aplicada é a quantidade de carbono contida na ração oferecida e nos animais estocados.

B. Os indicadores utilizados para medir a eficiência no uso dos recursos foram:

5. **Materiais:** Massa de material aplicado por massa do mesmo material incorporado na produção.
 - 5.1. **Nitrogênio:** A massa de nitrogênio aplicada é a soma do nitrogênio contido na ração ofertada e nos animais estocados.

5.2: Fósforo: A massa de fósforo aplicada é a soma do fósforo contido na ração ofertada e nos animais estocados.

5.3. Carbono: A massa de carbono aplicada é a soma do carbono contido na ração ofertada e nos animais estocados.

C. Os indicadores utilizados para medir os poluentes lançados no meio ambiente e acumulados nos viveiros foram:

6. Potencial de eutrofização: Carga (massa) de nutrientes liberados em efluentes / massa ou unidades produzidas.

7. Potencial de poluição orgânica: Carga (massa) de matéria orgânica lançada em efluentes / massa ou unidades produzidas.

8. Acúmulo de Nitrogênio: A massa de nitrogênio liberada no efluente foi calculada por meio da concentração de nitrogênio total contida no efluente e multiplicada pelo volume de efluente lançado no ambiente.

9. Acúmulo de Fósforo: A massa de fósforo liberada no efluente foi calculada por meio da concentração de fósforo total contida no efluente e multiplicada pelo volume de efluente lançado no ambiente.

10. Acúmulo de Carbono: A massa de carbono liberada no efluente foi calculada por meio da concentração de carbono total contida no efluente e multiplicada pelo volume de efluente lançado no ambiente.

3.9. Análise estatística

Os resultados obtidos com este estudo foram submetidos aos testes de normalidade por Shapiro – Wilk e homocedasticidade por Bartlett. Na sequência, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), seguido pelo teste de Tukey, sendo considerado nível de significância de 5% ($P \leq 0.05$). Todas as análises foram realizadas pelo software R versão 4.0.2.

4. RESULTADOS

Analisando os resultados dos indicadores de sustentabilidade ambiental, notamos que todos não obtiveram diferença estatística entre os tratamentos, mas podemos notar que o tratamento LPC se mostrou levemente mais eficiente na maioria dos indicadores, exceto na liberação de poluentes no sedimento. Os

nutrientes como nitrogênio, fósforo e carbono foram eficientemente incorporados na biomassa produzida, possibilitando que baixas quantidades de poluentes fossem liberadas no efluente em relação ao sistema LP. No entanto, a liberação de poluentes no sedimento foi maior no sistema com as três espécies (LPC) (Tabela 4).

Tabela 3: Dados de produção dos sistemas integrados de lambari-do-rabo-amarelo (*A. lacustris*) e camarão-da-malásia (*M. rosenbergii*) e sistema integrado de lambari-do-rabo-amarelo (*A. lacustris*), camarão-da-malásia (*M. rosenbergii*) e curimatã (*P. lineatus*).

Variável	Tratamento	
	LP	LPC
Massa Média Individual Inicial (g)		
<i>A. lacustris</i>	0,04 ± 0,02	0,04 ± 0,03
<i>M. rosenbergii</i>	0,05 ± 0,03	0,05 ± 0,04
<i>P. lineatus</i>		26,95 ± 9,89
Massa Média Individual Final (g)		
<i>A. lacustris</i>	5,6 ± 1,9	6,2 ± 2,2
<i>M. rosenbergii</i>	8,9 ± 0,9 ^a	5,9 ± 1,2 ^b
<i>P. lineatus</i>		33,9 ± 4,0
Sobrevivência (%)		
<i>A. lacustris</i>	70 ± 15	62 ± 13
<i>M. rosenbergii</i>	89 ± 7	89 ± 3
<i>P. lineatus</i>		75 ± 13
Produtividade Individual (t.ha⁻¹)		
<i>A. lacustris</i>	1,5 ± 0,5	1,5 ± 0,4
<i>M. rosenbergii</i>	0,4 ± 0,03 ^a	0,3 ± 0,05 ^b
<i>P. lineatus</i>		0,2 ± 0,1
Produtividade total do Sistema	1,9 ± 0,5	2,5 ± 0,3

Em relação a dependência de água, o tratamento LPC utilizou $60,46 \pm 35,36$ m⁻³.kg de pescado produzido, já o tratamento LP acabou utilizando $61,95 \pm 27,52$ m⁻³.kg. O uso de espaço também foi melhor no tratamento LPC, onde a produtividade total do sistema foi 31,6% maior que o tratamento LP (Tabela 3). Com esse resultado podemos ver o porque o indicador do uso de espaço foi melhor no tratamento LPC, pois houve melhor maximização do espaço para produção de três espécies (Tabela 4).

Tabela 4: Média dos indicadores de sustentabilidade ambiental obtidos em cada um dos sistemas de produção. LP: sistema integrado de lambari-do-rabo-amarelo e camarão-da-malásia e LPC: sistema integrado de lambari-do-rabo-amarelo, camarão-da-malásia e curimatá.

Indicadores	Unidade	Sistemas de produção	
		LP	LPC
Uso de Recursos			
Uso de espaço	ha.kg	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,00
Dependência de água	m ³ .kg	61,95 ± 27,52	60,46 ± 35,36
Uso de Nitrogênio	kg.ciclo	0,07 ± 0,03	0,05 ± 0,02
Uso de Fósforo	kg.ciclo	0,03 ± 0,01	0,01 ± 0,01
Uso de Carbono	kg.ciclo	0,55 ± 0,24	0,43 ± 0,14
Eficiência no uso de recursos			
Eficiência no uso de Nitrogênio	%	44,74 ± 18,55	57,50 ± 23,37
Eficiência no uso de Fósforo	%	48,57 ± 22,01	72,05 ± 23,01
Eficiência no uso de Carbono	%	29,62 ± 10,29	34,80 ± 12,00
Liberação de poluentes - Efluente			
Potencial de eutrofização - Nitrogênio	kg.ciclo	0,006 ± 0,002	0,004 ± 0,001
Potencial de eutrofização - Fósforo	kg.ciclo	0,001 ± 0,000	0,001 ± 0,000
Potencial de eutrofização - Carbono	kg.ciclo	0,109 ± 0,034	0,086 ± 0,027
Liberação de poluentes - Sedimento			
Acumulo de Nitrogênio	kg.ciclo	0,062 ± 0,027	0,067 ± 0,038
Acumulo de Fósforo	kg.ciclo	0,022 ± 0,007	0,028 ± 0,007
Acumulo de Carbono	kg.ciclo	0,615 ± 0,189	0,680 ± 0,189

Nos indicadores de eficiência no uso de recursos e liberação de poluentes no efluente se mostraram menos eficientes no tratamento LP utilizando mais recursos e liberando esses nutrientes no efluente (Tabela 4), sendo assim, o tratamento LPC conseguiu melhor maximizar o uso de recursos. Já na liberação de poluentes no sedimento, os acúmulos de nitrogênio, fósforo e carbono foram maiores no tratamento LPC. Isso pode ser um efeito da espécie adicionada (*P. lineatus*) que tem hábitos bentônicos e detritívoros, sendo assim, ao revolver o sedimento o *P. lineatus* acabou proporcionando a liberação de mais material particulado e acabou voltando mais nutrientes no sedimento.

5. DISCUSSÃO

Para entender os indicadores ambientais é preciso analisar bem os números e tentar interpretar qual a razão dos valores encontrados e o que ocorreu no sistema. Os indicadores de sustentabilidade ambiental calculados para os dois tipos de sistema integrado estudados, mostrou maior sustentabilidade no cultivo com as três espécies, exceto para os indicadores de uso de espaço e liberação de poluentes no sedimento. Os sistemas integrados usam menos recursos e aproveitam melhor os nutrientes para a produção de biomassa comercializável, além de proporcionar menores liberações de nutrientes eutrofizantes no efluente e no sedimento (Marques, *dados não publicados*).

Já a liberação de poluentes no sedimento foi maior no tratamento LPC. Isso pode ser devido a bioturbação causada pelo camarão-da-malásia e curimatá que ao suspenderem os nutrientes acumulados no fundo dos viveiros, proporcionaram um aumento no desenvolvimento do fitoplâncton e conseqüentemente das comunidades zooplânctônicas. Por isso, o material particulado acaba sedimentando novamente para o fundo dos viveiros (Franchini *et al.*, 2020).

O tratamento LPC teve uma redução na dependência de água do sistema, utilizando $60,46 \pm 35,36 \text{ m}^{-3} \cdot \text{kg}$ de pescado produzido. Já o o tratamento LP utilizou $61,95 \pm 27,52 \text{ m}^{-3} \cdot \text{kg}$ de pescado produzido. Isso pode ter ocorrido devido à inclusão de mais espécie no cultivo, pois a dependência de água é drasticamente reduzida quando se intensifica a produção (Boyd *et al.*, 2020).

Na eficiência do uso dos recursos quando comparados a outros sistemas de produção, podemos observar que os sistemas integrados conseguem utilizar melhor esses recursos. Fialho *et al.*, (2021) reportaram eficiência nos sistemas de produção de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) em tanques rede de pequena e larga escala nas porcentagens de 24,4% de nitrogênio e 16,4% de fósforo (sistema de pequena escala) e 22,2% de nitrogênio e 16,1% de fósforo (sistema de larga escala). Em sistemas de monocultivo de lambari-do-rabo-amarelo (*A. lacustris*) em viveiros escavados Marques (*dados não publicados*) obteve um aproveitamento de nitrogênio de 39,99%, fósforo 43,89% e carbono 32,23%. Agora quando comparados os sistemas integrados com duas espécies, temos aproveitamento de nitrogênio de 84,13%, fósforo 44,84% e carbono 41,48% (sistema integrado de lambari-do-rabo-amarelo e camarão-da-amazônia). Já em sistemas com três

espécies, o aproveitamento foi nas porcentagens de 80,19% de nitrogênio, 62,45% de fósforo e 54,54% de carbono (sistema integrado de lambari-do-rabo-amarelo, camarão-da-amazônia e curimatá).

O tratamento LPC apresentou melhor eficiência no uso de recursos comparado ao tratamento LP, utilizando 28% a mais de nitrogênio, 48% de fósforo e 17% de carbono. Quando compara-se os resultados do presente estudo com os diferentes tipos de sistemas de produção, podemos ver a eficiência dos sistemas integrados se forem comparados aos sistemas de tanques rede de pequena e larga escala, bem como aos sistemas de monocultivo. O sistema integrado com três espécies utilizou mais de 100% do nitrogênio e do fósforo quando comparado com um sistema em tanquerrede de pequena escala. Já no sistema de monocultivo em viveiro escavado, que é similar ao modelo de cultivo do presente estudo, podemos observar que a eficiência foi de 44% a mais nos teores de nitrogênio, 64% fósforo e 8% carbono.

Agora, se comparar o o trabalho de Marques (*dados não publicados*) que também realizou o estudo em um sistema com três espécies e com hábitos alimentares iguais, será notado que a eficiência no uso dos recursos foi de 39% a mais de nitrogênio e 57% de carbono, o fósforo teve eficiência maior no tratamento LPC (15%). Esse melhor desempenho no trabalho de Marques pode ser devido a idade dos curimatás (*P. lineatus*) utilizados, pois o presente estudo utilizou animais mais velhos com ~1 ano e no trabalho de Marques foi utilizado alevinos com ~15 dias. Nessa fase, o alevino de curimatá é mais filtrador do que bentônico (Franchini *et al.*, 2020), assim aproveitando melhor os nutrientes do sistema.

6. CONCLUSÃO

A utilização dos indicadores é adequada e eficaz para avaliar a sustentabilidade ambiental na aquicultura. Os principais aspectos do sistema foram detectados, identificados e quantificados. Entretanto, vale ressaltar para importância de mais estudos com os indicadores de sustentabilidade em sistemas integrados, pois esses são sistemas que estão aumentando cada vez mais sua utilização a cada ano. Além disso, podemos notar que a eficiência no uso dos recursos também aumenta mais quando intensificamos o sistema de produção.

Assim, a introdução de cultivos integrados, como propostos neste estudo pode vir a melhorar os dados desses indicadores em direção a resultados que alcancem sistemas de aquicultura mais sustentáveis, contemplando as três dimensões da sustentabilidade social, econômica e ambiental, otimizando o uso de espaço e recursos.

7. REFERÊNCIAS

- AOAC (1995), Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. 16th ed. AOAC International, Washington, DC.
- APHA (2005). Standard Methods for the *Examination* of Water and Wastewater, 1st ed. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington.
- Boyd, C. E., D'Abramo, L. R., Glencross, B. D., Huyben, D. C., Juarez, L. M., Lockwood, G. S., ... & Valenti, W. C. (2020). Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(3), 578-633.
- Chopin, T. (2013). Integrated multi-trophic aquaculture—ancient, adaptable concept focuses on ecological integration. *Global Aquaculture Advocate*, 16(2), 16-19.
- David, F. S., Proença, D. C., Valenti, W. C. (2017a). Nitrogen budget in integrated aquaculture systems with Nile tilapia and Amazon River prawn. *Aquaculture international*, 25: 1733-1746. doi 10.1007/s10499-017-0145-y. doi: 10.1007/s10499-017-0145-y
- David, F. S., Proença, D. C., Valenti, W. C. (2017b). Phosphorus Budget in Integrated Multi-Trophic Aquaculture Systems with Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) and Amazon River Prawn (*Macrobrachium amazonicum*). *Journal of the World Aquaculture Society*, 48(3):402-414. doi: 10.1111/jwas.12404
- FAO, (2020). (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Statistical Yearbook: World Fisheries and Aquaculture. FAO, Rome (Fonte: <http://www.fao.org>).
- Fialho, N. S., Valenti, W. C., David, F. S., Godoy, E. M., Proenca, D. C., Roubach, R., & Bueno, G. W. (2021). Environmental sustainability of Nile tilapia net-cage culture in a neotropical region. *Ecological Indicators*, 129, 108008.
- Fonseca, T., Costa-Pierce, B. A., & Valenti, W. C. (2017). Lambari aquaculture as a means for the sustainable development of rural communities in Brazil. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 25(4), 316-330.

- Fonseca, T., Valenti, W. C., Giannetti, B. F., Gonçalves, F. H., & Agostinho, F. (2022). Environmental accounting of the yellow-tail lambari aquaculture: sustainability of rural freshwater pond systems. *Sustainability*, 14(4), 2090.
- Franchini, A. C., Costa, G. A., Pereira, S. A., Valenti, W. C., & Moraes-Valenti, P. (2020). Improving production and diet assimilation in fish-prawn integrated aquaculture, using *iliophagus* species. *Aquaculture*, 521, 735048.
- IPCC (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R., Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. InPress.
- Jiang, Q., Bhattarai, N., Pahlow, M., & Xu, Z. (2022). Environmental sustainability and footprints of global aquaculture. *Resources, Conservation and Recycling*, 180, 106183.
- Kimpara, J. M., Tito Rosa, F. R., de Lima Preto, B., & Valenti, W. C. (2011). Limnology of *Macrobrachium amazonicum* grow-out ponds subject to high inflow of nutrient-rich water and different stocking and harvest management. *Aquaculture Research*, 42(9), 1289-1297.
- Kimpara, J. M., Zadjband, A. D., & Valenti, W. C. (2012). Métodos para medir a sustentabilidade na aquicultura.
- Marques, A. M. (2022). Viabilidade Técnica e Econômica e Sustentabilidade da Produção de lambari-do-rabo-amarelo em Monocultivo e Cultivo Integrado com camarão-da-amazônia e curimatá.
- Marques, H. L., New, M. B., Boock, M. V., Barros, H. P., Mallasen, M., & Valenti, W. C. (2016). Integrated freshwater prawn farming: state-of-the-art and future potential. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 24(3), 264-293.
- Marques, A. M., Boaratti, A. Z., Belmudes, D., Ferreira, J. R., Mantoan, P. V., Moraes-Valenti, P., & Valenti, W. C. (2021). Improving the efficiency of lambari

production and diet assimilation using integrated aquaculture with benthic species. *Sustainability*, 13(18), 10196.

Matvienko, B., Sikar, E., Pinguelli Rosa, L., Dos Santos, M. A., De Filippo, R., & Cimbliris, A. C. P. (2000). Gas release from a reservoir in the filling stage. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 27(3), 1415-1419.

Michelsen, O. B. (1957). Photometric determination of phosphorus as molybdovanadophosphoric acid. *Analytical Chemistry*, 29(1), 60-62.

Turcios, A. E., & Papenbrock, J. (2014). Sustainable treatment of aquaculture effluents—what can we learn from the past for the future?. *Sustainability*, 6(2), 836-856.

Troell, M., Costa-Pierce, B., Stead, S., Cottrell, R. S., Brugere, C., Farmery, A. K., ... & Barg, U. (2023). Perspectives on aquaculture's contribution to the Sustainable Development Goals for improved human and planetary health. *Journal of the World Aquaculture Society*, 54(2), 251-342.

Valenti, W. C., Kimpara, J. M., Preto, B. D. L., & Moraes-Valenti, P. (2018). Indicators of sustainability to assess aquaculture systems. *Ecological indicators*, 88, 402-413.

Valenti, W. C., Barros, H. P., Moraes-Valenti, P., Bueno, G. W., & Cavalli, R. O. (2021). Aquaculture in Brazil: past, present and future. *Aquaculture Reports*, 19, 100611.

Capítulo IV – Aproveitamento de sedimentos de sistemas aquícolas para a produção de plantas condimentares.

RESUMO

O objetivo com este trabalho foi avaliar o uso do sedimento pós despesca de sistemas aquícolas como substituto de substratos comerciais no cultivo de plantas condimentares. O delineamento experimental foi feito em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial, em que foram combinados cinco espécies de plantas condimentares e dois substratos de crescimento com cinco repetições. Os substratos foram o sedimento pós despesca, que foi comparado a um substrato comercial. As plantas utilizadas para este estudo foram a cebolinha, (*Allium schoenoprasum*), coentro (*Coriandrum sativum*), manjeriço (*Ocimum basilicum*), orégano (*Origanum vulgare*) e salsinha (*Petroselinum crispum*). O volume de sedimento e substrato foram padronizados em cada vaso, com variação na massa (sedimento: 1.150 kg; substrato: 0,720 kg). A irrigação foi realizada com água deionizada (sem nutrientes), de forma que as plantas utilizassem apenas os nutrientes presentes no sedimento e no substrato comercial. O experimento teve duração de 46 dias (maio a junho de 2020), após os quais as plantas foram coletadas e processadas para avaliar a produção de matéria seca da parte aérea e conteúdo dos macronutrientes (P, K, Ca, Mg, N e S). Os dados foram analisados por (ANOVA), seguida pelo teste de Tukey, com nível de significância de 5% ($P \leq 0,05$). Apenas a cebolinha apresentou diferença na produção de matéria seca, que foi maior no tratamento sedimento ($3,9 \pm 0,6$ g vs. $2,7 \pm 0,8$ g). Quando cultivados no sedimento dos viveiros, a cebolinha acumulou mais Ca, já o manjeriço além do Ca acumulou também S e menos K. A menor absorção de K não foi limitante para o manjeriço porque a produção em matéria seca não diferiu entre os tratamentos. Desse modo, pode-se sugerir que o sedimento dos viveiros é adequado para o cultivo de plantas condimentares. Portanto nutrientes que seriam desprezados no ambiente podem ser reaproveitados, aumentando a sustentabilidade do sistema e a aplicação dos princípios da economia circular.

Palavras-chave: Integração aquícultura – agricultura - IAA, sedimento, sustentabilidade, resíduos aquícolas, economia circular.

ABSTRACT

The aim of this research was to evaluate the aquaculture system sediment as a substitute for the commercial substrate in the cultivation of spice plants. A randomized, complete-blocks design experiment was carried out in a factorial scheme, in which five spice plants species and two growth substrates were combined with five replications. The substrates were the post-harvest sediment, which was compared to a commercial substrate. The plants used for this study were chives (*Allium schoenoprasum*), coriander (*Coriandrum sativum*), basil (*Ocimum basilicum*), oregano (*Origanum vulgare*) and parsley (*Petroselinum crispum*). The volume of sediment and substrate were standardized in each vase, with variation in mass (sediment: 1.150 kg; substrate: 0.720 kg). Irrigation was performed with deionized water (without nutrients), so that plants used only the nutrients present in the sediment and in the commercial substrate. The experiment lasted 46 days (May to June 2020), after which the plants were collected and processed to evaluate the dry matter production of the aerial part and content of macronutrients (P, K, Ca, Mg, N and S). Data were analyzed (ANOVA), followed by Tukey's test, with a significance level of 5% ($P \leq 0.05$). Only chives showed difference in dry matter production, which was higher in the pond (3.9 ± 0.6 g vs. 2.7 ± 0.8 g). When cultivated in pond sediment, chives accumulated more Ca and basil more Ca and S and less K. Lower L uptake wasn't limiting for basil because dry matter production didn't differ between treatments. Thus, it can be suggested that pond sediment is suitable for cultivation of spice plants. Therefore nutrients that would be discarded in the environment can be reused, increasing the sustainability of the system and the application of circular economy principles.

Keywords: Integration aquaculture – agriculture - IAA, sediment, sustainability, aquaculture waste, circular economy.

1. INTRODUÇÃO

A aquicultura continental vem crescendo a cada ano. Em 2018 sua produção foi de ~51,3 milhões de toneladas de pescado, correspondendo a 62,5% de todo pescado para alimentação mundial (FAO, 2020). Essa produção crescente é de grande importância para a manutenção da segurança alimentar e como fonte de geração de renda. Apesar de sua importância, ela também carrega consigo o potencial de gerar uma grande carga de matéria orgânica (Turcios & Papenbrock, 2014).

A poluição gerada por efluentes de fazendas aquícolas é um dos principais problemas da produção em viveiros escavados (Gnaneswari & Narala, 2022). Segundo Yang & Kim (2020) na criação de peixes e camarões, menos de 30% das quantidades de nitrogênio e fósforo fornecidos via ração são incorporados à biomassa final do cultivo. O fósforo é geralmente o fator limitante para o desenvolvimento do fitoplâncton em ambientes aquáticos (Verdegem, 2013; Coldebella *et al.*, 2020). Entre todas as formas ou frações de fosfato, o ortofosfato assume grande relevância por ser a principal forma assimilada pelas plantas aquáticas. Em geral, os resíduos da aquicultura (efluente e sedimento) são ricos em compostos de nitrogênio, fósforo, matéria orgânica e sólidos em suspensão (Casillas – Hernández *et al.*, 2006; Gnaneswari & Narala, 2022). Além da poluição direta, em que as características naturais são alteradas, os efluentes ricos em nutrientes da aquicultura afetam a comunidade bentônica, inibindo seu crescimento e também podem eutrofizar os ecossistemas receptores em geral (Angel *et al.*, 2019; Coldebella *et al.*, 2020).

A produção de sistemas integrados aquicultura – agricultura (IAA), embora não seja recente, tem sido redefinida para acomodar modelos e sistemas mais aplicáveis. Em linhas gerais, essas definições buscam uma ligação entre a aquicultura e outros sistemas de produção. Esses sistemas normalmente incorporam o uso integrado de recursos, incluindo solo, água e nutrientes (Buhmann *et al.*, 2015; Pinho *et al.*, 2017).

A utilização de sistemas integrados se enquadra perfeitamente no perfil de pequenas e médias propriedades. O IAA resulta em menores impactos ambientais, uma vez que os efluentes gerados pelas pisciculturas normalmente aumentam a produtividade da água e dos solos, evitando também o processo de eutrofização

(Phong *et al.*, 2007; Van Huong *et al.*, 2018). Este sistema também estimula a dinâmica dos fluxos de materiais e energia através do tratamento de resíduos e subprodutos de uma atividade como insumo em outra. Desta forma, alimentos para consumo humano, fertilizantes, ração animal e combustível podem ser produzidos com entrada mínima de nutrientes, água e outros recursos (Hu *et al.*, 2015; Limbu *et al.*, 2017; Gupta, 2020).

Dos resíduos dos sistemas aquícolas que muitas vezes são ignorados e descartados, temos a água (efluente) e o sedimento. A água dos sistemas de aquicultura pode ser aproveitada para fertirrigação de algumas hortaliças por ser rica em nutrientes, e na maioria das vezes para irrigação de pastagens, árvores frutíferas e algumas culturas de grãos (soja, milho, etc.) e até mesmo para os animais beberem (Pattillo *et al.*, 2020; Ayipio *et al.*, 2021). A fertirrigação auxilia muito no desenvolvimento das plantas, segundo Limbu *et al.*, (2017) a produtividade do cultivo integrado de peixes e hortaliças apresentou rendimento líquido de 13,33 t.ha⁻¹, para hortaliças não integradas 5,18 t.ha⁻¹ e 9,13 t.ha⁻¹ para hortaliças integradas sistema consorciado.

O sedimento, por outro lado, é o menos explorado dos resíduos da aquicultura. Estes geralmente, apenas são retirados dos tanques e viveiros e espalhados pelo chão, contribuindo assim para a degradação do ambiente. O manuseio e descarte inadequado do sedimento de viveiros levam à contaminação por nitrato das águas subterrâneas e à eutrofização das águas superficiais (Drozd *et al.*, 2020).

O sedimento dos sistemas de aquicultura é muito rico em nitrogênio, fósforo, carbono e matéria orgânica. Se esse sedimento fosse um solo, suas características seriam de solo de alta fertilidade, quase sem necessidade de fertilização, sendo ideal para o cultivo de hortaliças e outras plantas (Raj & Quaggio, 2001; Fermaki *et al.*, 2014; Drozd *et al.*, 2020). Esse material pouco explorado e com grande potencial pode ser utilizado como meio de produção de hortaliças para pequenos produtores (Franchini, *dados não publicados*) ou de outras formas, como veremos neste estudo. Para tornar a aquicultura e a agricultura mais sustentáveis, podemos utilizar a integração de ambos os sistemas para reduzir os impactos ao meio ambiente.

3. OBJETIVO GERAL

Utilizando o sistema integrado aquicultura – agricultura, este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade técnica do sedimento como possível substituto do substrato comercial no cultivo de plantas condimentares como cebolinha (*Allium schoenoprasum*), coentro (*Coriandrum sativum*) manjericão (*Ocimum basilicum*), orégano (*Origanum vulgare*) e salsinha (*Petroselinum crispum*), avaliando assim seu desempenho.

3.1. Objetivos Específicos:

- Avaliar a eficácia do sedimento proveniente de sistemas aquícolas como substituto do substrato comercial no plantio de hortaliças;
- Avaliar o desempenho da cebolinha, coentro, manjericão, orégano e salsinha nos tratamentos com sedimento e substrato comercial;
- Avaliar a reciclagem e aproveitamento dos nutrientes de cada uma das plantas nos diferentes tratamentos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no setor de fertilidade do solo da UUNESP/FCAV, Jaboticabal, São Paulo (-21.246552, -41.295752). O trabalho foi realizado no período de maio a junho de 2021 (46 dias). Foram utilizados 50 vasos plásticos de 500 ml onde foram transplantadas mudas de cebolinha (*Allium schoenoprasum*), coentro (*Coriandrum sativum*) manjericão (*Ocimum basilicum*), orégano (*Origanum vulgare*) e salsinha (*Petroselinum crispum*). A figura 1 mostra a localização do setor, os vasos utilizados e as mudas transplantadas.

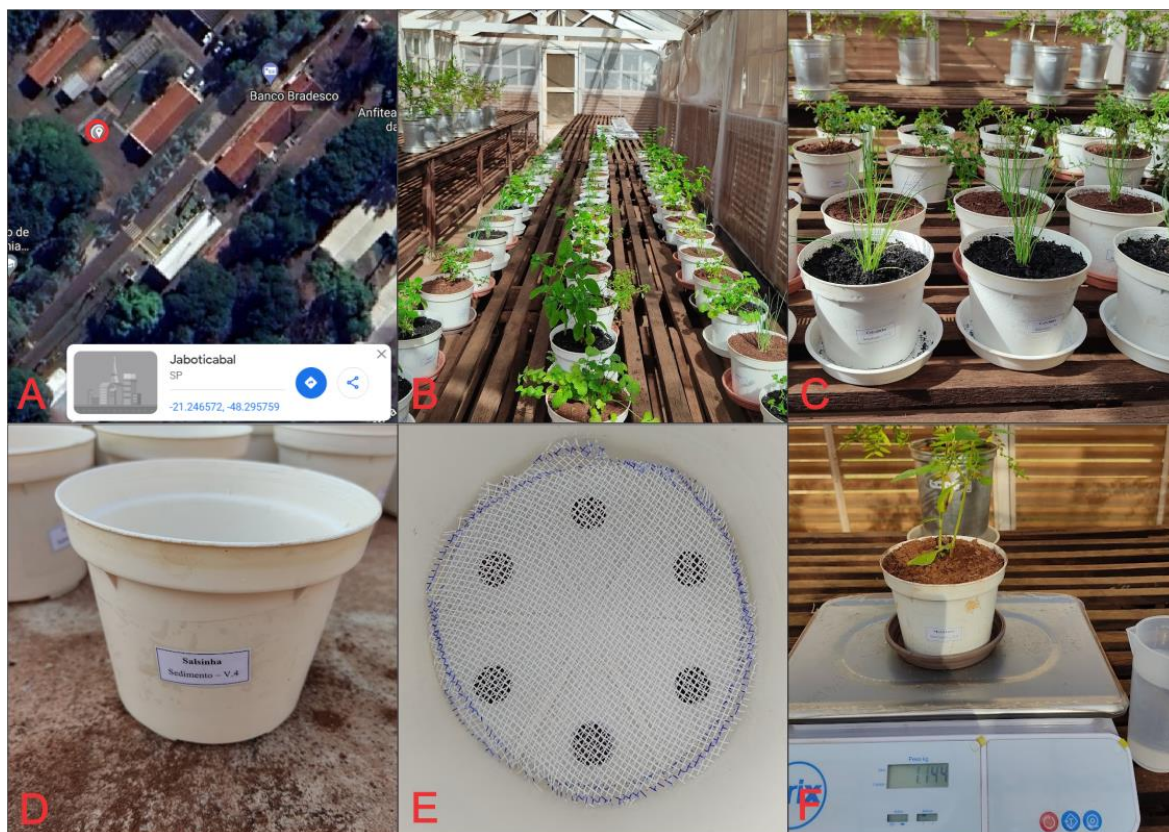


Figura 1: A: Laboratório de fertilidade do solo (Fonte: Google Earth), B: casa de germinação, C: mudas transplantadas, D: vasos, E: tela para segurar o sedimento/substrato e raízes das plantas e F: Irrigação.

Após a despesca, quatro viveiros foram selecionados ao acaso onde secaram naturalmente antes da remoção do sedimento. Antes do transplante das mudas, foram realizadas análises microbiológicas do sedimento para avaliar presença de qualquer patógeno de risco à saúde, como *E. coli*, coliformes totais e *salmonella* sp. As amostras foram coletadas na profundidade de 0 – 10 cm e colocadas em tubos falcon de 50 ml e levadas ao Laboratório de Bioquímica e Microbiologia Aplicada, Instituto de Biociência, Letras e Ciências Exatas – Campos São José do Rio Preto – IBILCE/UNESP, onde foram mantidas a 4°C, parte do material foi utilizado para realizar análises microbiológicas para determinação de *E. coli* e coliformes totais, o restante foi utilizado para cultivo em diluição para determinação de *Salmonella* sp.

O delineamento experimental foi realizado em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial, no qual foram combinadas cinco espécies de plantas condimentares e dois substratos de crescimento, com cinco repetições (Figura 2).

O volume de sedimento e substrato foram padronizados em cada vaso, com variação na massa (sedimento: 1,150 kg; substrato: 0,720 kg). Para a irrigação, foi realizado um teste para determinar a capacidade de absorção de água do sedimento e do substrato (24 ml/100 g e 21 ml/100 g). Assim determinada a capacidade, a irrigação foi realizada com água deionizada (sem nutrientes), de forma que as plantas utilizassem apenas os nutrientes presentes no sedimento e no substrato comercial. Uma vez por semana os vasos foram rotacionados na mesa para que todas as plantas recebessem a mesma intensidade de luz durante o cultivo.



Figure 2: Exemplo de distribuição das espécies em blocos em cada tratamento.

Após 46 dias de cultivo, as plantas foram colhidas, lavadas, secas em estufa com circulação de ar (65 – 75°C) e trituradas para avaliação das concentrações de C, N, S (Analisador Elementar), K, P, Ca, Mg (Raij & Quaggio., 2001).

Os resultados obtidos com este estudo foram submetidos aos testes de normalidade por Shapiro – Wilk e homocedasticidade por Bartlett. Na sequência, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), seguido pelo teste de Tukey, sendo considerado nível de significância de 5% ($P \leq 0.05$). Todas as análises foram realizadas pelo software R versão 4.0.2 e os resultados foram expressos em mg por planta.

4. RESULTADOS

De acordo com a IN nº 27 do MAPA, os limites máximos de contaminantes em adubos orgânicos e condições de solo são: *E. coli* (10.000,00 NMP/g MS), coliformes totais (1.000,00 NMP/g S) e *Salmonella* sp. (ausência em 10g de matéria seca (MAPA, 2006). Os valores de contaminantes biológicos do sedimento dos viveiros estão expressos na tabela 1.

Tabela 2: Concentrações de contaminantes biológicos no sedimento oriundos de viveiros de aquicultura.

Resultados			
Viveiros	<i>E. coli</i> (NMP/g DM)	Coliformes totais (NMP/g DM)	<i>Salmonella</i> sp.
1	142,22 ± 2	995,55 ± 2	NÃO
2	213,33 ± 1	782,22 ± 2	NÃO
3	853,33 ± 2	853,33 ± 3	NÃO
4	782,22 ± 4	995,55 ± 3	NÃO

Os resultados da análise de contaminantes biológicos no sedimento dos viveiros indicaram valores aceitáveis para o cultivo de hortaliças, podendo assim ser utilizado como substrato para plantas condimentares e com a garantia de que não há agentes patológicos.

Tabela 3: Nutrientes disponíveis no sedimento na fase inicial do cultivo de cebolinha, coentro, manjeriço, orégano e salsa.

Sedimento									
P resina	OM	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
mg/dm ³	g/dm ³	.....mmolc.dm ³			.....			%
131	44	5.8	2.9	84	15	26	102	128	80

Variáveis: P resina = fósforo extraído do solo por resina de troca iônica; MO = matéria orgânica; pH em CaCl₂ = pH determinado em solução centimolar de cloreto de cálcio; K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ = potássio, cálcio e magnésio; H+Al = acidez potencial; SB = soma das bases (Ca²⁺ + Mg²⁺ + k⁺); CTC = capacidade de troca catiônica = SB + (H+Al); V = índice de saturação de base = 100SB/CTC.

Analisando os nutrientes disponíveis no sedimento (Tabela 2), podemos observar que houve altos teores de P, Ca e Mg, acidez e índice médio de saturação por bases (Tabelas 2 e 3), isso significa que se o sedimento fosse um solo, ele seria um solo de alta fertilidade, necessitando de pouca adubação. E na tabela 4 temos os nutrientes disponíveis no substrato comercial (tratamento controle).

Tabela 4: Classes de interpretação de teores de nutrientes e valores de atributos químicos do solo, segundo IAC (2014).

Interpretação	Classes de interpretação segundo IAC, 2014.							V	Acidez (pH)
	P resina				K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		
	anuais florestais	perenes	hortaliças						
.....mg.dm ⁻³	.....	.....	.....	.....mmolc.dm ⁻³	.....	.....	.....	.....
Muito baixo	0 - 6	0 - 2	0 - 5	0 - 10	0 - 17			0 - 25	>6,0
Baixo	7 - 15	3 - 5	6 - 12	11 - 25	0,8 - 1,5	0 - 3	0 - 4	26 - 50	5,6 - 6,0
Médio	16 - 40	6 - 8	13 - 30	26 - 60	1,6 - 3,0	3 - 7	5 - 8	51 - 70	5,1 - 5,5
Alto	41 - 80	9 - 16	31 - 60	61 - 120	3,1 - 6,0	>7	>8	71 - 90	4,4 - 5,0
Muito alto	>80	>16	>60	>120	>6,0			>90	Até 4,3

Tabela 4: Nutrientes disponíveis no substrato na fase inicial do cultivo de cebolinha, coentro, manjeriço, orégano e salsa.

Substrato														
pH	EC	NO ₃	P	S	NH ₃	K	Na	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn
dS/m	.....mg.dm ⁻³													
5,2	2,9	239,1	1,6	176,7	126,8	65,9	9,5	198,9	75,2	0,91	0,01	0,03	0,8	0,2

Método de extração: 1:1.5 (Holandesa). Método de determinação: N-(amoniaco e nitrato): destilação; K,Ca,Mg,P,S,Cu,Fe, Mn, Zn: ICP-OES;

Tabela 5: Médias (\pm DP) das faixas de teores de macronutrientes em plantas de cebolinha, coentro, manjerição, orégano e salsinha, cultivados no sedimento oriundos de viveiros de aquicultura e em substrato comercial.

		Médias mg/Plantas				
	TR	Cebolinha	Coentro	Manjerição	Orégano	Salsinha
P	Sed	7,0 \pm 1,3 ^a	6,8 \pm 3,5 ^a	19,9 \pm 3,5 ^a	7,5 \pm 2,9 ^a	7,6 \pm 1,1 ^a
	Sub	6,0 \pm 1,9 ^a	3,1 \pm 2,5 ^a	17,3 \pm 1,2 ^a	5,1 \pm 3,4 ^a	6,5 \pm 1,6 ^a
K	Sed	82,1 \pm 10,6 ^a	87,3 \pm 9,5 ^a	70,5 \pm 8,8 ^b	70,2 \pm 19,7 ^a	60,0 \pm 6,5 ^b
	Sub	82,8 \pm 22,7 ^a	97,4 \pm 59,9 ^a	157,6 \pm 15,6 ^a	76,8 \pm 43,8 ^a	135,7 \pm 19,1 ^a
Ca	Sed	83,8 \pm 14,2 ^a	99,9 \pm 44,7 ^a	183,7 \pm 23,9 ^a	72,1 \pm 22,2 ^a	53,5 \pm 10,7 ^a
	Sub	28,4 \pm 9,6 ^b	29,3 \pm 23,7 ^b	95,2 \pm 13,8 ^b	36,4 \pm 20,7 ^b	51,9 \pm 19,7 ^a
Mg	Sed	16,3 \pm 3,6 ^a	51,7 \pm 29,0 ^a	85,9 \pm 7,4 ^a	34,9 \pm 13,7 ^a	43,5 \pm 10,2 ^a
	Sub	20,5 \pm 7,2 ^a	22,2 \pm 20,5 ^a	89,9 \pm 19,0 ^a	27,0 \pm 15,1 ^a	42,8 \pm 18,3 ^a
N	Sed	238,3 \pm 31,0 ^a	249,5 \pm 91,0 ^a	442,5 \pm 45,7 ^a	305,3 \pm 114,0 ^a	221,4 \pm 32,4 ^a
	Sub	162,5 \pm 22,2 ^a	75,9 \pm 728,6 ^b	668,5 \pm 89,1 ^a	306,6 \pm 284,5 ^a	299,9 \pm 145,3 ^a
C	Sed	1471,1 \pm 246,7 ^a	1670,4 \pm 729,3 ^a	4731,2 \pm 497,8 ^a	2546,8 \pm 1036,4 ^a	1434,9 \pm 274,0 ^a
	Sub	928,6 \pm 728,6 ^a	928,6 \pm 728,6 ^a	4491,5 \pm 621,6 ^a	1622,3 \pm 930,2 ^a	1512,6 \pm 524,2 ^a
S	Sed	2,2 \pm 0,5 ^a	5,6 \pm 2,0 ^a	488,2 \pm 287,4 ^a	56,8 \pm 58,0 ^a	29,3 \pm 25,7 ^a
	Sub	112,2 \pm 111,1 ^a	40,3 \pm 40,8 ^a	8,6 \pm 3,7 ^b	74,7 \pm 83,2 ^a	88,0 \pm 57,3 ^a

Os dados dos macronutrientes das plantas analisadas mostraram diferença estatística nos valores de cálcio (Ca), nitrogênio (N), e enxofre (S), onde podemos observar essa diferença no tratamento com sedimento, já o potássio (K) obteve diferença no tratamento com substrato comercial. Os valores de cálcio apresentaram diferença estatística no tratamento sedimento com cebolinha ($83,8 \pm 14,2$), coentro ($99,9 \pm 44,7$), manjeriço ($183,7 \pm 23,9$) e orégano ($72,1 \pm 22,2$). Essa alta concentração de cálcio pode ser devido à calagem feita nos viveiros e as conchas de alguns moluscos bivalves que permaneceram no sedimento após a despesca do cultivo.

As concentrações de nitrogênio e enxofre também se mostraram diferentes no coentro e manjeriço. A concentração de nitrogênio foi maior no coentro do tratamento sedimento com média de $249,5 \pm 91,0$, enquanto o coentro do substrato obteve concentração de $75,9 \pm 728,6$. O enxofre apresentou a maior concentração no tratamento sedimento com média de $488,2 \pm 284,4$ e no tratamento substrato obteve concentração de $8,6 \pm 40,8$.

As concentrações de potássio foram maiores no tratamento com substrato comercial nas plantas de manjeriço e salsinha. Já o manjeriço do tratamento substrato obteve média de $157,6 \pm 15,6$ e no sedimento $70,5 \pm 8,8$. Enquanto a salsinha obteve média de $135,7 \pm 19,1$ no substrato e média de $60,0 \pm 6,5$ no sedimento.

Comparando os dados de macronutrientes com as médias de massa seca das plantas (Tabela 6), podemos observar que mesmo as plantas apresentando diferentes teores de nutrientes entre os tratamentos não afetaram seu crescimento e a quantidade de nutriente foi capaz de suprir a planta durante seu desenvolvimento. Mas observando os valores de massa seca da cebolinha, o tratamento sedimento apresentou um valor ligeiramente maior ($3,9 \pm 0,6$ g) quando comparado ao tratamento substrato ($2,7 \pm 0,8$ g).

Tabela 6: Médias (\pm DP) dos valores de massa seca de cebolinha, coentro, manjeriço, orégano e salsinha (g por planta), cultivados no sedimento oriundos de viveiros de aquicultura e em substrato comercial.

TR	Valores de massa seca (g).				
	Cebolinha	Coentro	Manjeriço	Orégano	Salsinha
Sed	$3,9 \pm 0,6^a$	$4,4 \pm 1,9^a$	$11,6 \pm 1,2^a$	$6,0 \pm 2,4^a$	$3,9 \pm 0,7^a$
Sub	$2,7 \pm 0,8^b$	$2,4 \pm 1,8^a$	$11,1 \pm 1,4^a$	$4,0 \pm 2,2^a$	$4,2 \pm 1,4^a$

5. DISCUSSÃO

De modo geral, um solo fértil é aquele com grande capacidade de fornecer nutrientes às plantas nas proporções adequadas para seu crescimento, desenvolvimento e produtividade. Na avaliação do sedimento (Tabela 2) podemos observar ótimas quantidades de nutrientes e matéria orgânica. Segundo IAC (2014), esse sedimento apresenta características de solo de alta fertilidade, necessitando de pouca adubação. Dessa forma, o sedimento não precisaria de correção de acidez, pois não tem acidez elevada. Os teores de fósforo são muito altos, os quais são adequados inclusive para produção de hortaliças, as quais são muito exigentes em nutrientes e possuem altos teores de cálcio e magnésio (Raij *et al.*, 2001).

A maioria das plantas não apresentou diferença entre os tratamentos na comparação dos valores de massa seca (Tabela 6), exceto a cebolinha, que foi ligeiramente superior no tratamento sedimento ($3,9 \pm 0,6$ g) em relação ao tratamento substrato ($2,7 \pm 0,8$). A cebolinha é relativamente rica em minerais, principalmente em cálcio e é cultivada em solos férteis e bem drenados, ricos em matéria orgânica (Saito, 2020). Muitas vezes na produção de cebolinha, há necessidade de adubação seca em N, P, K e o sedimento proveniente da aquicultura é muito rico em nitrogênio e fósforo. No balanço de nitrogênio do cultivo integrado de tilápia-do-nilo e camarão-da-amazônia (mesmos viveiros utilizados nesse estudo), David *et al.*, (2017), relataram concentrações de $197 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de nitrogênio no sedimento. Essas características do solo ideal para cebolinha são idênticas às características do sedimento utilizado (Tabela 6). Isso pode ter auxiliado no melhor desempenho vegetativo da cebolinha no tratamento sedimento (Ramos – Gonzalez *et al.*, 2019; Saito, 2020). Nos sistemas de aquicultura há sobras de cargas muito altas de nutrientes, por exemplo de 25 a 30% do nitrogênio e fósforo fornecidos via ração são incorporados na biomassa final do cultivo. O restante do nitrogênio e fósforo são retidos no sedimento dos viveiros ou são eliminados no efluente (Boyd & Tucker, 1998; Casillas-Hernández *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2013).

Avaliando a reciclagem e aproveitamento dos nutrientes nas plantas, observou-se diferença nos teores de potássio, cálcio, nitrogênio e enxofre. As plantas obtiveram um ótimo aproveitamento desses nutrientes no tratamento sedimento, com exceção do potássio onde o manjeriço e salsa tiveram melhores concentrações no tratamento substrato. Porém, isso não afetou o desenvolvimento das plantas e a quantidade de nutrientes foi capaz de supri-las até o final do cultivo.

6. CONCLUSÃO

O presente estudo demonstrou que o sedimento proveniente dos sistemas de aquicultura pode substituir o substrato comercial de forma equivalente ou superior. A qualidade nutricional do sedimento é excelente para o cultivo de hortaliças devido à alta concentração de nitrogênio, fósforo e matéria orgânica. Essas concentrações de nutrientes presente no sedimento, podem ser utilizadas para produção de plantas mais exigentes nutricionalmente, como espinafre, pimenta ou plantas ornamentais. Outros testes são sugeridos para avaliar até que ponto o sedimento pode suprir uma planta sem a necessidade de adubação. Assim, podemos concluir que o sedimento proveniente dos sistemas de aquicultura seriam uma ótima alternativa para o cultivo de hortaliças. Portanto nutrientes que seriam desprezados no ambiente podem ser reaproveitados, aumentando a sustentabilidade do sistema e a aplicação dos princípios da economia circular.

7. REFERÊNCIAS

- Angel, D., Jokumsen, A., & Lembo, G. (2019). Aquaculture production systems and environmental interactions. In *Organic Aquaculture* (pp. 103-118). Springer, Cham.
- Ayipio, E., Wells, D. E., Smith, M., & Blanchard, C. (2021). Performance of Greenhouse-Grown Beit Alpha Cucumber in Pine Bark and Perlite Substrates Fertigated with Biofloc Aquaculture Effluent. *Horticulturae*, 7(6), 144.
- Boyd, C. E. & Tucker, C. S. (1998). Pond Aquaculture Water Quality Management Kluwer Academic Publishers. Boston, MA, 700.
- Buhmann, A.K., Waller, U., Wecker, B., Papenbrock, J. (2015). Optimization of culturing conditions and selection of species for the use of halophytes as biofilter for nutrient-rich saline water. *Agric. Water Manag.* 149, 102–114. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.11.001>
- Casillas-Hernández, R.; Magallón-Barajas, F.; Portilloclarck, G.; Páez-Osuna, F. (2006). Nutrient mass balances in semi-intensive shrimp ponds from Sonora, Mexico, using two feeding strategies: trays and mechanical dispersal. *Aquaculture*, Amsterdam, v. 258, n. 1-4, p. 289-298.
- Coldebella, A., Godoy, A. C., Gentelini, A. L., Piana, P. A., Coldebella, P. F., Boscolo, W. R., & Feiden, A. (2020). Nitrogen and phosphorus dynamics in Nile tilapia farming in excavated rearing ponds. *Research, Society and Development*, 9(11), e131911969.
- David, F. S., Proença, D. C., Valenti, W. C. (2017). Nitrogen budget in integrated aquaculture systems with Nile tilapia and Amazon River prawn. *Aquaculture international*, 25: 1733-1746. doi 10.1007/s10499-017-0145-y. doi: 10.1007/s10499-017-0145-y
- Drozd, D., Malinska, K., Mazurkiewicz, J., Kacprzak, M., Mrowiec, M., Szczypiór, A. & Stachowiak, T. (2020). Fish pond sediment from aquaculture production- Current practices and the potential for nutrient recovery: a Review. *International Agrophysics*, 34(1).

- FAO, (2020). (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Statistical Yearbook: World Fisheries and Aquaculture. FAO, Rome (Fonte: <http://www.fao.org>).
- Farmaki, EG, Thomaidis, NS, Pasiadis, IN, Baulard, C., Papaharisis, L., & Efstathiou, CE. (2014). Impacto ambiental da aquicultura intensiva: Investigação sobre a acumulação de metais e nutrientes em sedimentos marinhos da Grécia. *Science of the Total Environment*, 485, 554-562.
- Franchini, AC (2019). Cultivo integrado de peixes, camarões e hortaliças em viveiros de aquicultura.
- Gupta, M. V. (2020). Social and Policy Issues Involved in Adoption of Integrated Agriculture-Aquaculture-Live Stock Production Systems in Bangladesh. In *Integrated Fish Farming* (pp. 231-244). Taylor & Francis.
- Gnaneswari, M. D., Narala, V. R., & Subramani, P. A. (2022). Components of Aquaculture as Sources of Environmental Pollution and Available Remedial Measures. In *Impact of COVID-19 on Emerging Contaminants* (pp. 305-325). Springer, Singapore.
- Hu, Z., Lee, J.W., Chandran, K., Kim, S., Brotto, A.C., Khanal, S.K. (2015). Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. *Bioresour. Technol.* 188, 92–98. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.013>
- IAC (2014). INSTITUTO AGRONÔMICO. Informação sobre interpretação de análise de solo. Disponível em: <https://www.iac.sp.gov.br/produtoseservicos/analisedosolo/interpretacaoanalise.php>. Acesso em: 05 ago. 2022.
- Limbu, S.M., Shoko, A.P., Lamtane, H.A., Mgana, H.F., Mgaya, Y.D. (2017). Fish polyculture system integrated with vegetable farming improves yield and economic benefits of small-scale farmers 3631–3644. <https://doi.org/10.1111/are.13188>.
- Patillo, D. A., Foshee, W. G., Blythe, E. K., Pickens, J., Wells, D., Monday, T. A., & Hanson, T. R. (2020). Performance of aquaculture effluent for tomato production in outdoor raised beds. *HortTechnology*, 30(5), 624-631.
- Pinho, S.M., Molinari, D., de Mello, G.L., Fitzsimmons, K.M., Coelho Emerenciano, M.G. (2017). Effluent from a biofloc technology (BFT) tilapia culture on the

- aquaponics production of different lettuce varieties. *Ecol. Eng.* 103, 146–153. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.03.009> .
- Phong, L.T., Udo, H.M.J., van Mensvoort, M.E.F., Bosma, R.H., Tri, L.Q., Nhan, D.K., van der Zijpp, A.J. (2007). Integrated agriculture-aquaculture systems in the Mekong Delta, Vietnam: an analysis of recent trends. *Asian J. Agric. Dev.* 4, 51–64.
- Raij, B. van & Quaggio, J. A. (2001). Determinação de fósforo, cálcio, magnésio e potássio extraídos com resina trocadora de íons. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**, p. 189-199.
- Ramos-Gonzalez, R., Orozco-Almanza, MS, Monroy-Ata, A., & Rojas-Cortés, MDJ. (2019). Cultivo de três espécies aromáticas em jardim vertical com dois adubos orgânicos. *Agroproductividad*, 12 (3), 41-46.
- Saito, S. (2020). Cebolinha chinesa *Allium tuberosum* Rottl. Em *Cebolas e culturas afins* (pp. 219-230). Imprensa CRC.
- Silva, M. S. G. M., Losekann, M. E., & Hisano, H. (2013). Aquicultura: manejo e aproveitamento de efluentes.
- Turcios, A. E., & Papenbrock, J. (2014). Sustainable treatment of aquaculture effluents—what can we learn from the past for the future?. *Sustainability*, 6(2), 836-856.
- Van Huong, N., Huu Cuong, T., Thi Nang Thu, T., & Lebailly, P. (2018). Efficiency of different integrated agriculture aquaculture systems in the Red River Delta of Vietnam. *Sustainability*, 10(2), 493.
- Verdegem, M. C. (2013). Nutrient discharge from aquaculture operations in function of system design and production environment. *Reviews in Aquaculture*, 5(3), 158-171. 9-e1319119699.
- Yang, T., & Kim, H. J. (2020). Comparisons of nitrogen and phosphorus mass balance for tomato-, basil-, and lettuce-based aquaponic and hydroponic systems. *Journal of Cleaner Production*, 274, 122619.