

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

Aluno: Gabriel Afonso Paulino de Castro

Análise dos custos da produção de Lambari (*Astyanax lacustris*) e microverdes de mostarda (*Brassica juncea*) em sistemas aquapônico permanentemente acoplado e acoplado sob demanda

Jaboticabal – SP
9º semestre/2025

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

Análise dos custos da produção de Lambari (*Astyanax lacustris*) e microverdes de mostarda (*Brassica juncea*) em sistemas aquapônico permanentemente acoplado e acoplado sob demanda

Aluno: Gabriel Afonso Paulino de Castro

Orientadora: Prof^a. Dra Maria Célia Portella

Coorientador: Dr. Leonardo Castilho-Barros

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para graduação em Zootecnia.

Jaboticabal – SP

9º semestre/2025

C355a

Castro, Gabriel Afonso Paulino

Análise dos custos da produção de Lambari (*Astyanax lacustris*) e microverdes de mostarda (*Brassica juncea*) em sistemas aquapônico permanentemente acoplado e acoplado sob demanda / Gabriel Afonso Paulino Castro. -- Jaboticabal, 2025

41 p.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientadora: Maria Célia Portella

Coorientador: Leonardo Castilho Barros

1. Lambari (Peixe). 2. Hidroponia. 3. Custo. I. Título.

AUTOR

Gabriel Afonso Paulino de Castro

TÍTULO DO TRABALHO ACADÊMICO

Análise dos custos da produção de lambari (*Astyanax lacustris*) e microverdes de mostarda (*Brassica juncea*) em sistemas aquapônicos permanentemente acoplado e acoplado sob demanda

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, para obtenção do título de Bacharel em Zootecnia.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Maria Célia Portella
Coorientador: Dr. Leonardo Castilho-Barros

Área de Concentração: Aquicultura

Data da defesa: 07/07/2025

(X) Aprovado

() Reprovado

Banca Examinadora:

 Documento assinado digitalmente
MARIA CELIA PORTELLA
Data: 09/07/2025 10:29:58-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof^ª. Dr^ª Maria Célia Portella

UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

 Documento assinado digitalmente
JESAIAS ISMAEL DA COSTA
Data: 09/07/2025 11:21:49-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

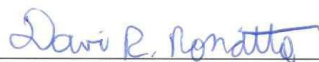
Prof. Dr. Jesaias Ismael Costa

Universidade Federal do Amazonas


Prof^ª. Dr^ª. Laura Patrícia Silva-Ledezma

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Mexico

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: 15/07/2025



Prof. Dr. Davi Rodrigo Rossatto
Chefe do Departamento

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo analisar os custos de produção da integração entre o lambari (*Astyanax lacustris*) e microverdes de mostarda (*Brassica juncea*) em sistemas aquapônicos, comparando os modelos Permanentemente Acoplado (PA) e Acoplado Sob Demanda (ASD). O experimento foi conduzido no CITYFOOD Living Lab (CAUNESP – Jaboticabal), durante 60 dias, utilizando-se indicadores zootécnicos e fitotécnicos e aplicando-se a metodologia de custos de Matsunaga. Os resultados demonstraram que ambos os sistemas apresentaram desempenho zootécnico e produtivo satisfatório, com custos operacionais totais similares. Apesar do custo unitário do lambari superar o valor de mercado, os microverdes compensaram economicamente, evidenciando sua relevância na viabilidade do sistema. A combinação entre ambas as culturas se mostrou eficiente no aproveitamento de recursos e no potencial de retorno financeiro, reforçando a aquaponia como uma alternativa produtiva sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: Lambari (Peixe) – Hidroponia - Custo

Abstract

This study aimed to analyze the production costs of integrating lambari (*Astyanax lacustris*) and mustard microgreens (*Brassica juncea*) in aquaponic systems, comparing the Permanently Coupled (PA) and Coupled on Demand (ASD) models. The experiment was conducted at the CITYFOOD Living Lab (CAUNESP – Jaboticabal) for 60 days, using zootechnical and phytotechnical indicators and applying the Matsunaga cost methodology. The results demonstrated that both systems presented satisfactory zootechnical and productive performance, with similar total operating costs. Although the unit cost of lambari exceeded the market value, the microgreens compensated economically, demonstrating their relevance to the system's viability. The combination of both crops proved efficient in resource utilization and financial return potential, reinforcing aquaponics as a sustainable production alternative.

KEY – WORD: Lambari (Fish) – Hydroponics - Cost

Sumário

1.	Introdução	9
2.	Revisão bibliográfica	13
2.1.	Aquicultura Geral	13
2.1.1.	Sistemas de produção aquícola	16
2.2.	Peixes cultivados no Brasil	17
2.2.1.	Peixes exóticos	17
2.2.2.	Peixes nativos	18
2.2.3.	Mercado (produtos)	19
2.2.4.	Econômico-Financeiro (<i>Astyanax lacustris</i>)	19
2.3.	Hortaliças	20
2.3.1.	Tipos de produção de vegetais: Com Solo e Sem Solo	20
2.3.2.	Mercado	21
2.3.3.	Econômico-financeiro (Microverdes)	21
3.	Objetivos	22
3.1.	Objetivo geral	22
3.2.	Objetivos específicos	22
4.	Materiais e métodos	22
4.1.	Delineamento experimental	22
4.1.1.	Estrutura	22
4.1.2.	Aspectos Zootécnicos	25
4.1.3.	Aspectos Fitotécnicos	27
4.2.	Análise dos custos	27
5.	Resultados e Discussão	29
6.	Conclusão	33
7.	Referências	34

1. Introdução

Com o crescimento da população mundial, problemas como a insegurança alimentar tendem a aumentar. Segundo a FAO (2024), cerca de 828 milhões de pessoas passaram fome em 2023, ao mesmo tempo em que a demanda por proteínas de origem animal deve aumentar 70% até 2050 (FAO, 2023). Somado a isso, ainda existem as mudanças climáticas que impactam negativamente a produtividade agrícola tradicional em até 21% em regiões tropicais (IPCC, 2022), e a escassez hídrica que já afeta 40% da população mundial (UN-Water, 2023). Diante disso, sistemas alimentares sustentáveis e eficientes no uso de recursos tornam-se cada vez mais vantajosos. Do total de 185,4 milhões de toneladas de pescado produzidos globalmente em 2022, a aquicultura foi responsável por 51% da produção (FAO, 2024), representando uma alternativa viável, especialmente quando integrada a técnicas inovadoras como a aquaponia, capaz de reduzir em 90% o consumo de água comparado à agricultura convencional (Goddek et al., 2019) e produzir proteína animal e vegetal simultaneamente em pequenos espaços (Junge et al., 2017).

A proteína animal aquícola, é uma excelente fonte de aminoácidos e apresenta alta digestibilidade. Além disso, a criação do pescado é impulsionada também pelo alto valor biológico do alimento e sua capacidade de produção em larga e pequena escala (Tacon, 2024).

Já no Brasil, a aquicultura tem crescido nas últimas décadas, posicionando o país entre os maiores produtores de pescado em águas continentais. Esse avanço é impulsionado pela produção de tilápia (*Oreochromis niloticus*), que representa mais de 60% da produção nacional, seguida pelo cultivo de espécies nativas como o tambaqui (*Colossoma macropomum*) (IBGE, 2022). No entanto, esse crescimento ainda enfrenta desafios relacionados à sustentabilidade, infraestrutura e regularização ambiental, exigindo políticas públicas mais eficazes e incentivo à adoção de sistemas produtivos integrados (BRASIL, 2021).

Dentre as diversas formas de criação de peixes na aquicultura, a aquaponia vem ganhando destaque. Trata-se de uma integração entre animais aquáticos e da hidroponia que cultiva plantas sem a necessidade de solo. Em virtude disso, os organismos aquáticos proporcionam uma água rica em nutrientes que é utilizada como fertilizante pelas plantas.

Essa transformação dos nutrientes só é possível graças a presença de microrganismos no sistema, especialmente as bactérias *Nitrosomonas* e *Nitrobacters*, que promovem a transformação da amônia tóxica em nitrito e nitrato, que são absorvidos pelas plantas, assim, tais microrganismos são indispensáveis para que tudo funcione adequadamente (Rakocy et al 2006; Schmautz et al. 2017).

Baseando-se na premissa de reaproveitamento de nutrientes e recirculação da água, a aquaponia destaca-se como uma das atividades aquícolas menos agressivas e mais sustentáveis ao meio ambiente quando comparada com as outras culturas terrestres (LAM et al., 2015). Além disso, por ser um sistema produtivo passível de montagem utilizando caixas de água ou materiais alternativos, dispensa a utilização do solo como substrato. É perfeitamente possível de ser construído em locais com limitações de espaço, como em coberturas de prédios, sacadas de apartamentos ou quintais de casas. (Rakocy; Masser; Losordo, 2014).

Por ser muito versátil, a aquaponia é uma alternativa quanto ao quesito da segurança alimentar para regiões áridas ou urbanas, onde terra e água são limitadas (Junge et al., 2017). Devido à relevante capacidade de reduzir a dependência de insumos externos, favorece a independência alimentar de comunidades vulneráveis (Nichols & Sullivan, 2016). A produção local de alimentos fortalece essas comunidades e reduz os custos logísticos e as emissões de carbono associadas ao transporte de produtos agrícolas. Estudos realizados em comunidades rurais demonstraram que a adoção da aquaponia elevou em 40% o acesso a alimentos frescos (Palm et al., 2018), comprovando assim o potencial do sistema produtivo frente a fatores como sustentabilidade e insegurança alimentar.

Os sistemas aquapônicos podem ser classificados de acordo com o método de suporte para as plantas, circulação da água e nutrientes, sendo os principais: *Deep Water Culture* (DWC), *Media Bed Technique* (MBT) e *Nutrient Film Technique* (NFT). O sistema DWC utiliza placas flutuantes de isopor onde as plantas ficam suspensas em canais com água, sendo indicado para hortaliças de ciclo rápido (Guerreiro et al., 2024). Já o MBT utiliza substratos inertes, como argila expandida, para fixação das plantas e filtração natural, tornando-se mais versátil e ideal para pequenos produtores (Yep & Zheng, 2019). O modelo NFT, por sua vez, consiste em um fluxo raso de água que corre

continuamente por calhas ou canais inclinados, promovendo alta oxigenação das raízes (Tyson et al., 2011).

Tais modelos também podem ser classificados de acordo com a forma de acoplamento entre os módulos de aquicultura e hidroponia. Nos sistemas permanentemente acoplados, a recirculação de água é contínua entre os dois módulos, criando uma dependência total entre eles (Baganz et al., 2021). Já nos sistemas acoplados sob demanda, também chamados de “desacoplados”, a circulação ocorre somente quando necessária, permitindo que cada módulo opere de maneira independente e em condições ideais específicas, favorecendo o controle e a eficiência do sistema (Baganz et al., 2021). Esse sistema garante que a água mantenha parâmetros ótimos tanto para os peixes quanto para as plantas.

Na aquaponia, a tilápia é muito utilizada por sua resistência às variações de temperatura e qualidade da água, crescimento rápido e facilidade de manejo (Schafer et al., 2020). Além dela, espécies como o pacu (*Piaractus mesopotamicus*), tambaqui (*Colossoma macropomum*) e carpas (*Cyprinus sp*) também têm sido exploradas na aquaponia, especialmente por sua rusticidade e aceitação no mercado (Rostagno et al., 2021). Outro peixe em evidência é o lambari (*Astyanax spp.*), espécie nativa do Brasil, é de pequeno porte que se adapta bem a sistemas intensivos e possui bom valor comercial, sendo considerado promissor para sistemas integrados (Souza et al., 2019;). A escolha por espécies nativas, pode favorecer a diversificação aquícola e a aceitação de produtos no mercado regional (Pinho et al. 2021).

Espécies nativas como os lambaris (*Astyanax bimaculatus*, *Deuterodon iguape* e *Astyanax lacustris*) têm se destacado como alternativa econômica viável para pequenos produtores, graças à rusticidade, rápido crescimento e alta aceitação no mercado como isca-viva e pescado para consumo regional. A comercialização concentra-se em pesque-pagues, lojas de pesca e mercados locais, com crescente demanda por produtos cultivados em sistemas sustentáveis (Baldiasserotto et al., 2021).

O lambari-do-rabo-amarelo *Astyanax lacustris* apresenta grande potencial para aquaponia, podendo alcançar até 17 cm de comprimento na natureza. É natural de água doce e possui rápido ciclo de vida, sendo uma espécie oportunista e de hábito alimentar onívoro (Garutti, 2003) comumente comercializada a partir de 10g a 15g de peso vivo

(Sussel et al., 2014). Embora os lambaris sejam usualmente criados em viveiros escavados, contemplando desde a etapa de reprodução até a engorda final, há boas perspectivas de criação dessa espécie em outras modalidades produtivas, pois apresenta também o bom desempenho zootécnico em tanques-rede, represas (Fallis, 2013) e recirculação (Henriques et al., 2022).

Nos sistemas aquapônicos, as espécies vegetais utilizadas e suas densidades de cultivo estão ligadas diretamente a quantidade de peixes no sistema. As hortaliças mais utilizadas são alfaces (*Lactuca sativa*), espinafre (*Spinacia oleracea*), mostarda (*Brassica juncea*) e agrião (*Lepidium sativum*) que não possuem uma alta demanda de nutrientes. Além de ervas aromáticas e especiarias como salsa (*Petroselinum crispum*), cebolinha (*Allium schoenoprasum*) e até mesmo orégano (*Origanum vulgare*) (Diver 2006).

Os microverdes são plantas jovens colhidas em um estágio inicial recém germinadas que vem ganhando destaque devido a seu sabor, podendo ser suave ou picante dependendo da planta utilizada, apresentam alta taxa de crescimento e valor nutricional (Guerreiro et al., 2024).

Espécies como a *Brassica juncea* (mostarda), se mostram eficientes para a produção de microverdes, graças ao seu ciclo de crescimento acelerado, permite a colheita em apenas 5 a 10 dias após a sementeira (KOU et al., 2013). Tal característica, combinada com sua adaptabilidade a diferentes condições ambientais, torna-a uma escolha ideal para cultivos comerciais e domésticos, garantindo produtividade e qualidade nutricional em curto prazo.

Esses vegetais apresentam teores mais elevados de vitaminas (A, C, E e K), minerais (Ca, Fe, Zn) e fitoquímicos antioxidantes (fenólicos, carotenoides e glucosinolatos), em maiores quantidades do que quando na fase adulta (Mir et al., 2017; Teng et al., 2023). Resultados recentes também descrevem efeitos antidiabéticos, anti-inflamatórios e antiproliferativos para espécies como brócolis, cevada e rabanete, reforçando seu valor como alimentos funcionais (Teng et al., 2023).

São frequentemente utilizados em saladas, sanduíches e como guarnição (Xia et al., 2019). O interesse crescente por alimentos frescos, nutritivos e produzidos localmente tem impulsionado a demanda em restaurantes, feiras e mercados gourmet (Kyriacou et al., 2016).

Além disso por serem colhidos com 7 a 21 dias apresentam uma boa viabilidade tanto em produções urbanas de pequena escala quanto até mesmo em fazendas aquapônicas comerciais (Xia et al. 2019), pois permitem múltiplas colheitas mensais, o que reduz o risco de perda de safra e garantem retorno rápido do investimento. O preço elevado por grama, unido ao apelo funcional e estético, confere aos microverdes uma das maiores margens de valor agregado dentre as hortaliças de folha, seja em produções artesanais, seja em fazendas verticais de grande escala (Teng et al., 2023). Por terem de 4 a 40 vezes mais nutrientes do que os mesmos vegetais em sua fase final, esses produtos têm maior valor de mercado, o que aumenta as chances de sucesso na produção, constituindo um indicador econômico importante (Xiao et al., 2012).

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo realizar a análise dos custos da produção aquapônica entre lambaris (*A. lacustris*) e microverdes de mostarda (*B. juncea*), comparando os modelos Acoplado Sob Demanda (ASD) e Permanentemente Acoplado (PA). Além disso, também busca identificar os principais gargalos produtivos e econômicos que possam comprometer a eficiência desses sistemas produtivos.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Aquicultura Geral

A aquicultura, pode ser entendida como o cultivo controlado de organismos aquáticos como peixes, moluscos, crustáceos e plantas aquáticas (FAO, 2024). Tem desempenhado papel central no abastecimento alimentar global diante do declínio dos estoques pesqueiros naturais (FAO, 2024). Em 2022, a produção aquícola atingiu 94,4 milhões de toneladas, ultrapassando a produção da pesca extrativista em volume de animais aquáticos destinados ao consumo humano (FAO, 2024). Para garantir sua sustentabilidade, a adoção de tecnologias limpas e o manejo eficiente dos recursos naturais são considerados fundamentais (Nunes et al., 2021).

O cultivo de organismos aquáticos tem avançado rapidamente desde o século XX. Em países asiáticos, como a China, há registros históricos de cultivo de carpas desde 2500 a.C. (Nash, 2011). No entanto, foi apenas após a década de 1950, com o avanço da ciência e da biotecnologia, que a aquicultura moderna começou a se estruturar como um relevante setor produtivo. A partir da década de 1980, com a diminuição da pesca extrativista e o

aumento da demanda global por proteína de origem aquática, o setor aquícola passou a crescer rapidamente, impulsionado por investimentos em pesquisa, melhoramento genético e nutrição (Bostock et al., 2010). Segundo a FAO (2024), em 1990, a aquicultura representava apenas 13% da produção global de pescados, mas em 2022 ultrapassou 50%, totalizando 94,4 milhões de toneladas. Esse crescimento do setor está relacionado à sua eficiência produtiva, menor emissão de gases de efeito estufa em comparação à pecuária e à crescente preferência dos consumidores por alimentos saudáveis e sustentáveis (Rana & Hassan, 2021).

Já no Brasil, há registros do século XVII sobre a criação de peixes em tanques escavados por ordens religiosas, principalmente em mosteiros do Nordeste (Costa-Pierce, 2002). No entanto, há relatos documentando a prática de aquicultura ao período da ocupação holandesa, entre 1630 e 1654, quando o Conde Maurício de Nassau ordenou a construção de viveiros no jardim do Palácio Vrijburg, em Recife, utilizados para o cultivo de diversas espécies de peixes — o que representa, até o momento, o primeiro registro formal da aquicultura no país (Valenti et al., 2021).

Apesar desse início, a atividade se manteve por séculos com caráter de subsistência, especialmente na região Nordeste. Na década de 1930, começou a ter maior destaque com a criação das primeiras estações de piscicultura pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), focadas na produção de alevinos de espécies nativas para repovoamento de açudes públicos (Souza et al., 2020). A partir da segunda metade do século XX, a aquicultura passou a atrair a atenção de pesquisadores e instituições ligadas à gestão hídrica, o que impulsionou os primeiros avanços técnicos e produtivos do setor. Nesse contexto, a atividade começou a se diversificar, incorporando espécies como moluscos, camarões e peixes ornamentais, e consolidando as bases da piscicultura comercial (Valenti et al., 2021).

Em 1953, a empresa Light São Paulo trouxe do Congo os primeiros exemplares da *Tilápia rendalli*, marcando a introdução oficial da espécie no país, para promover o repovoamento de corpos hídricos e garantir segurança alimentar por meio da pesca artesanal (EMBRAPA, 2018). Posteriormente, outras espécies e híbridos, como a tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*), passaram a ser utilizadas por apresentarem melhor

desempenho zootécnico, elevada prolificidade, rusticidade, ausência de espinhos intramusculares e boa adaptação ao clima nacional (Ribeiro, 2017).

Nos anos 2000, houve um crescimento expressivo da aquicultura brasileira, impulsionado pela regulamentação do uso das águas da União, políticas públicas de fomento à produção e avanços tecnológicos em áreas como genética, sanidade e nutrição (MAPA, 2021). A criação de instituições específicas, como a EMBRAPA Pesca e Aquicultura em 2009, sediada em Palmas (TO), e o fortalecimento das associações de produtores também foram determinantes para a profissionalização do setor. Como reflexo desse processo, em 2022 o Brasil alcançou a marca de mais de 850 mil toneladas de pescados oriundos da aquicultura, sendo a tilápia responsável por aproximadamente 60% da produção, o que posicionou o país como o quarto maior produtor mundial dessa espécie (PEIXE BR, 2023; FAO, 2024).

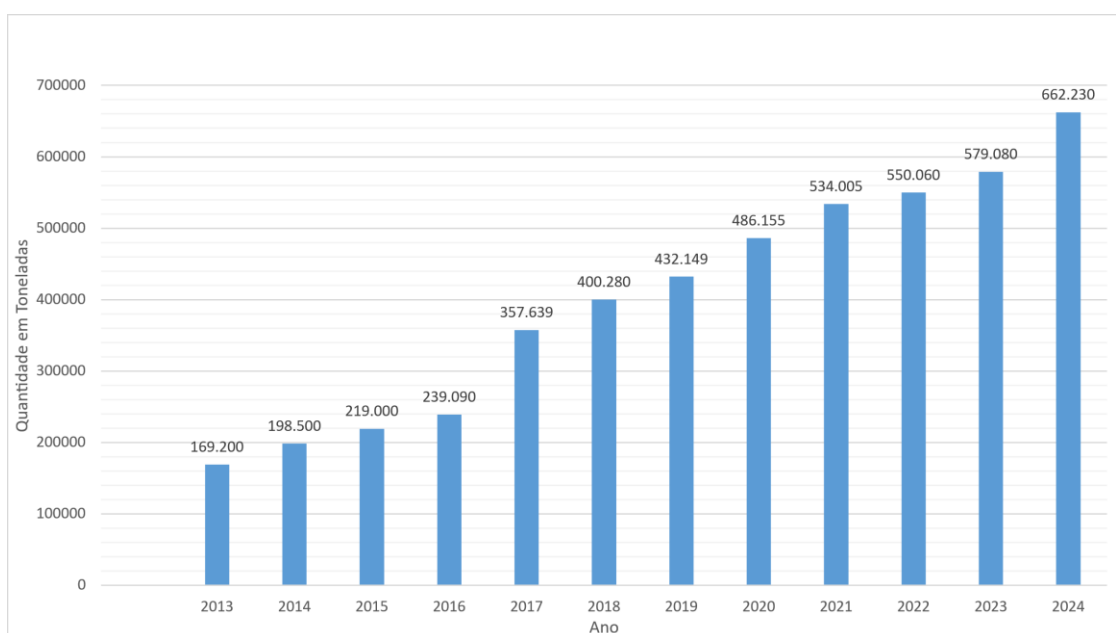


FIGURA 1 HISTÓRICO DA PRODUÇÃO BRASILEIRA DE TILÁPIAS AO LONGO DOS ÚLTIMOS 12 ANOS (PEIXE BR 2024).

Apesar do progresso, a atividade ainda enfrenta desafios relacionados à regularização ambiental, logística, acesso a crédito e qualificação de mão de obra (Pereira et al., 2020; Nunes et al., 2021).

2.1.1. Sistemas de produção aquícola

A classificação dos sistemas de produção varia de acordo com a frequência do uso de insumos, com a densidade de estocagem e o nível de controle ambiental. Nos sistemas extensivos, o desenvolvimento dos animais ocorre exclusivamente com base na alimentação natural, em viveiros de terra de baixa densidade ($<1 \text{ t ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$) e sem aeração ou ração completa (Boyd & Tucker, 2012). Os sistemas semi-intensivos acrescentam fertilização e suplementação alimentar, operando com densidades moderadas ($5\text{--}20 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e aeração pontual, sendo predominantes em propriedades de médio porte (Egna & Boyd, 1997; Tahim et al., 2019). Nos sistemas intensivos, a oferta de ração balanceada, a aeração contínua e o monitoramento rigoroso da água permitem maiores densidades ($> 20 \text{ kg}^{-1} \text{ m}^{-3}$), o que eleva a produtividade, mas demanda maior aporte energético (Tacon & Metian, 2015). Na produção em sistemas super-intensivos, como em bioflocos com troca de água mínima, é possível atingir densidades superiores a $300 \text{ animais m}^{-3}$ (camarões) ou $60 \text{ kg}^{-1} \text{ m}^{-3}$ (peixes) e elevados níveis de biossegurança (Samocha et al., 2020). Já os sistemas hiper-intensivos, operam os RAS (*Recirculating Aquaculture Systems*) totalmente fechados e suporte de vida automatizado, possibilitando produtividades aproximadas de $150 \text{ kg}^{-1} \text{ m}^{-3} \text{ ciclo}^{-1}$ (Gullian-Klanian & Arámburu-Adame, 2013).

Outros modelos, como os de produção integrada, visam fazer o máximo uso dos recursos utilizados, permitindo o reaproveitamento de insumos e a redução de impactos ambientais. Oliveira (2010a) utilizou tanques modulares para produzir peixe e a água, rica em nutrientes, foi empregada como fertirrigação em pomares experimentais. Segundo Souza et al. (2023) a utilização de efluentes da piscicultura na agricultura irrigada pode reduzir significativamente o uso de fertilizantes químicos, promovendo uma produção agrícola mais sustentável e econômica. Dentre as produções sustentáveis, a aquaponia surge como uma alternativa viável para a produção de alimentos, ao integrar a aquicultura e a hidroponia em um sistema fechado que minimiza o consumo de água e a geração de resíduos (Embrapa, 2015).

Por ser uma técnica versátil, inúmeros modelos hidropônicos têm ganhado força, cada um com sua própria característica. O *Media Bed Technique* (MBT), ou cama de cultivo, usa substratos por exemplo, argila expandida ou pedra brita, que servem de área para a colonização pelas bactérias nitrificantes e para sustentação das raízes das plantas

(Carneiro et al., 2015a). Já o *Nutrient Film Technique* (NFT), utiliza canaletas que permitem o fluxo contínuo de água enriquecida de nutrientes, favorecendo o crescimento das hortaliças (Carneiro et al., 2016). No *Deep Water Culture* (DWC), as raízes das plantas ficam submersas em solução nutritiva, o que exige aeração constante para prevenir a hipóxia radicular e garantir desenvolvimento vegetal. Essa aeração é normalmente feita por sistemas de mangueiras ou pedras porosas acoplados às caixas de cultivo (Ferreira et al., 2021).

Outros exemplos de sistemas, como o de bioflocos, visam uma melhor qualidade de água sem a necessidade de grandes filtros biológicos, filtros mecânicos caros ou inúmeras trocas de água (Emerenciano et al., 2017; Dauda 2020). Esse modelo faz uso das comunidades microbiológicas presentes no tanque para reciclar os compostos nitrogenados gerados pelos resíduos dos animais ou pela adição de insumos. Já a aeroponia é caracterizada pela suspensão das raízes em um substrato poroso, recebendo aspersões de solução nutritiva em intervalos regulares, promovendo alto rendimento com uso mínimo de água e substrato. (Resende et al., 2022). Esses sistemas refletem a tendência da agricultura de precisão e da sustentabilidade alimentar. Essas técnicas, assim como outros modelos aquapônicos, demonstram a versatilidade do sistema em se adaptar a várias demandas produtivas e condições ambientais (Queiroz et al., 2017).

Por fim, a aquaponia surge como um sistema integrado que combina aquicultura e hidroponia em um ciclo sustentável, no qual microrganismos transformam resíduos em nutrientes, otimizando o uso de água e dos insumos utilizados (Baganz et al., 2022). Além de se alinhar aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), esse modo de produção promove a resiliência urbana por meio de modelos circulares que reduzem significativamente os desperdícios (Yuan et al., 2025).

2.2. Peixes cultivados no Brasil

2.2.1. Peixes exóticos

A carpa comum (*Cyprinus carpio*), de origem eurasiática, é uma das espécies mais antigas da aquicultura, sendo fundamental para o desenvolvimento do setor na Europa e Ásia (Balon, 1995). Espécies como a tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*), originária da África, são hoje amplamente cultivadas em mais de 120 países devido à sua rápida taxa de crescimento e resistência a doenças (Fitzsimmons, 2016). Já o salmão do Atlântico

(*Salmo salar*), introduzido principalmente em países como Chile e Noruega, representa um dos peixes mais valiosos da aquicultura marinha global (Bostock et al., 2010). Outro exemplo é o panga (*Pangasianodon hypophthalmus*), nativo do sudeste asiático, que se destaca por sua alta conversão alimentar e aceitação no mercado internacional (Hasan & New, 2013).

2.2.2. Peixes nativos

Diversas espécies nativas têm ganhado destaque pela sua adaptação às condições locais e seu potencial econômico. O tambaqui (*Colossoma macropomum*) é atualmente o peixe nativo mais cultivado no país, especialmente na região Norte, sendo valorizado por sua rusticidade, rápido crescimento e carne de qualidade (Souza et al., 2020). O pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*) e seus híbridos com o cachara (*P. reticulatum*), como o “pintachara”, são amplamente utilizados na piscicultura do Centro-Oeste e Sudeste, devido à boa aceitação no mercado e resistência a condições de cultivo intensivo (Lopes et al., 2022). Outra espécie relevante é o matrinxã (*Brycon amazonicus*), conhecida pelo crescimento acelerado e palatabilidade, sendo comum em sistemas semi-intensivos e intensivos na Amazônia (Alexandre et al., 2021). O pacu (*Piaractus mesopotamicus*), por sua vez, possui alta rusticidade, boa conversão alimentar, resistência a doenças e adaptação a diferentes sistemas de cultivo, podendo ser utilizado em policultivos e como modelo em pesquisas zootécnicas e nutricionais (Gonçalves et al., 2021). Essa espécie tem ganhado relevância em regiões como o Centro-Oeste e Sudeste, contribuindo para a diversificação da produção aquícola nacional (Santos & Cyrino, 2023). Em menor escala, mas com crescente importância, o lambari (*Astyanax spp.*) vem sendo cultivado para abastecer tanto o mercado de iscas vivas quanto o consumo humano, especialmente em estados do Sudeste como São Paulo e Minas Gerais. Essa espécie apresenta vantagens como rápido ciclo reprodutivo, precocidade sexual, alta taxa de conversão alimentar, resistência a doenças e fácil manejo em viveiros escavados e sistemas intensivos (Santos et al., 2023; Moura et al., 2020). Somado a isso, há crescente interesse do lambari para venda em porções gourmet, ampliando seu valor agregado e estimulando a inserção da espécie em cadeias curtas de comercialização (Carvalho et al., 2022).

2.2.3. Mercado (produtos)

A quantidade de peixes cultivados tem crescido rapidamente, oferecendo desde peixe inteiro fresco até cortes nobres, filés congelados, embutidos e porções *gourmet*. A tilápia domina as vendas de alto valor agregado, fornecendo filés, colágeno hidrolisado e pele para aplicações cosméticas, além de liderar o faturamento da piscicultura nacional (IBGE, 2023; PEIXE BR, 2024). Para espécies nativas, o tambaqui e o pintado destacam-se os cortes em postas, filés premium e produtos defumados destinados a *food service* e varejo (Martins et al., 2022).

O lambari (*Astyanax lacustris*), antes restrito ao mercado de isca viva, mostrou viabilidade econômica nesse nicho, com lucros atraentes para pequenos produtores (Sabbag et al., 2011), e vem sendo explorado para produtos de maior valor, como *fishburgers*¹ elaborados com carne mecanicamente separada e estruturados com transglutaminase (Sussel, 2021). Há também estudos de defumação quente que resulta em um petisco pronto para consumo, ampliando a vida de prateleira e o apelo gastronômico do lambari (Feiden et al., 2009). A diversificação de produtos faz parte de uma estratégia para minimizar perdas na cadeia produtiva e aumentar a competitividade da aquicultura brasileira tanto no mercado interno quanto no externo (FAO, 2024).

2.2.4. Econômico-Financeiro (*Astyanax lacustris*)

A piscicultura brasileira apresenta grande potencial econômico, impulsionada principalmente pela produção de tilápia, tambaqui, pintado e lambari, espécies que movimentam diferentes cadeias de valor. A tilápia é a principal responsável pelo faturamento do setor, com cerca de R\$ 4,5 bilhões em 2023, sendo fortemente influenciada pela exportação de filés e derivados (PEIXE BR, 2024). O tambaqui e o pintado, por outro lado, são valorizados no mercado interno, especialmente na região Norte e no Centro-Oeste, e são atrativos para pequenos e médios produtores (Martins et al., 2022). Já o lambari, embora tradicionalmente associado ao mercado de iscas vivas, vem ganhando espaço em novos nichos com produtos como *fishburgers* e petiscos defumados, agregando valor à cadeia produtiva (Sussel, 2021; Feiden et al., 2009). A diversificação de produtos tem sido uma estratégia eficaz para aumentar a lucratividade

¹ Hamburguers feitos a base de carne de peixe

e reduzir riscos de mercado, especialmente diante da sazonalidade e da competição com produtos importados (FAO, 2024).

2.3. Hortaliças

As hortaliças têm um grande papel na aquaponia. Dentre as espécies comumente cultivadas nesse sistema, destacam-se as folhosas como a alface (*Lactuca sativa*), rúcula (*Eruca sativa*) e manjericão (*Ocimum basilicum*). A alface, por exemplo, possui alta eficiência na absorção de nitrogênio, fósforo e potássio, sendo o potássio o nutriente mais acumulado durante o ciclo de cultivo (Martins et al., 2013). Além disso, a alface cultivada em sistemas aquapônicos pode apresentar desempenho comparável ou até superior ao cultivo hidropônico tradicional, desde que haja suplementação adequada de nutrientes como potássio e ferro (Duarte et al., 2023). O manjericão também se mostra promissor na aquaponia, com pesquisas indicando que a adição de microrganismos benéficos, como *Trichoderma harzianum* e *Bacillus mojavensis*, pode melhorar a absorção de nutrientes e aumentar a produtividade (Alves et al., 2022). Já a *Brassica juncea*, tem características de rápido crescimento, tolerância a ambientes úmidos, eficiência na absorção de nutrientes, apresenta glucosinolatos compostos de enxofre anticancerígenos e melhora do sistema imunológico. Dado a isso ela pode ser uma candidata promissora para inclusão em sistemas aquapônicos, especialmente em unidades de pequena e média escala, promovendo sustentabilidade e diversificação produtiva (Rösler et al., 2023; FAO, 2024).

2.3.1. Tipos de produção de vegetais: Com Solo e Sem Solo

A produção de hortaliças pode ser realizada com o cultivo convencional, com o uso do solo e sem solo (hidroponia, aquaponia e aeroponia). O cultivo com solo depende das características físico-químicas do substrato e está sujeito a doenças e variações climáticas, o que pode comprometer o desempenho do vegetal (Medeiros et al., 2020). Já os sistemas sem solo oferecem maior controle ambiental e nutricional, além do menor consumo de água e espaço (Furlan et al., 2021). A aquaponia se destaca por integrar a piscicultura com o cultivo de plantas em um sistema conjunto, onde os resíduos nitrogenados dos peixes são transformados em nutrientes pelas bactérias nitrificantes, que depois são absorvidos pelas plantas (Rösler et al., 2023).

2.3.2. Mercado

Produtos provenientes da aquaponia tem sido impulsionado pela demanda por alimentos mais saudáveis, sustentáveis e livres de agrotóxicos, sobretudo em centros urbanos e mercados *gourmet* (Knaus & Graber, 2014). Entre os produtos que se destacam nesse modelo de produção estão as hortaliças folhosas, ervas aromáticas, peixes e, mais recentemente, os microverdes, que são plântulas colhidas logo após o surgimento das primeiras folhas verdadeiras. Esses vegetais possuem alta quantidade de nutrientes, sabor acentuado e valor comercial elevado, sendo muito utilizados na gastronomia contemporânea (Xiao et al., 2012). A produção de microverdes em sistemas aquapônicos tem mostrado excelentes resultados, tanto em produtividade quanto em qualidade, com destaque para espécies como rúcula, mostarda, beterraba, girassol e coentro, que demonstram rápida germinação e bom desenvolvimento em sistemas de cultivo como o DWC (Somerville et al., 2014; Pinto et al., 2023). A combinação da aquaponia com microverde é uma estratégia viável para pequenos produtores e empreendedores urbanos, devido ao curto ciclo produtivo (7 a 21 dias), baixo custo de entrada e alto valor agregado do produto final (Love et al., 2015).

2.3.3. Econômico-financeiro (Microverdes)

Do ponto de vista econômico-financeiro, o setor de aquaponia, especialmente voltado à produção de microverdes, tem se mostrado promissor devido ao seu potencial de retorno rápido sobre o investimento, alta rotatividade de cultivos e demanda crescente por produtos premium. A combinação de curto ciclo produtivo, alta densidade de cultivo e preços elevados no mercado torna os microverdes atrativos para empreendimentos urbanos e de pequeno porte (Jones, 2020). Além disso, a durabilidade da aquaponia frente às mudanças climáticas e às variações nos preços de insumos agrícolas tradicionais reforça sua viabilidade econômica em cenários urbanos e periurbanos (Tyson et al., 2011).

A redução de custos de operação por meio da reutilização da água e aproveitamento de resíduos dos peixes para fertilização também representa uma vantagem competitiva frente aos sistemas convencionais de horticultura e piscicultura isoladas (Lord et al., 2022). Somado a isso, políticas públicas de incentivo à agricultura urbana e sistemas sustentáveis têm criado um ambiente favorável à expansão do setor, tanto em países desenvolvidos quanto em desenvolvimento (Goddek et al., 2019).

3. Objetivos

3.1. Objetivo geral

Avaliar os custos da produção aquapônica entre lambari (*Astyanax lacustris*) e o microverde de mostarda (*Brassica juncea*) em sistemas Acoplado Sob Demanda (ASD) e Permanentemente Acoplado (PA).

3.2. Objetivos específicos

- Determinar o custo de produção do lambari cultivado em sistema aquapônico com o microverde de mostarda;
- Determinar o custo de produção do microverde de mostarda cultivado em sistema aquapônico com lambari;
- Identificar os gargalos dos custos da produção aquapônica entre microverde de mostarda e lambari.

4. Materiais e métodos

O experimento foi desenvolvido no CITYFOOD Living Lab, localizado no Centro de Aquicultura da Universidade Estadual Paulista (CAUNESP), campus Jaboticabal, no ano de 2020. Os dados utilizados para realização das análises foram obtidos através do trabalho de iniciação científica intitulado “Avaliação da produção de lambari (*Astyanax lacustris*) em sistemas aquapônicos com cultivo vegetal de microverdes”, financiado pelo Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) processo 1593 (PIBIC 1/2020) da zootecnista, Isabela Cristina de Almeida e trabalho da Dra. Laura Patricia Silva Ledezma em parceria com o Prof. Dr. Jesaias Ismael Costa, publicado em 2021.

4.1. Delineamento experimental

4.1.1. Estrutura

Os sistemas aquapônicos analisados (permanentemente acoplado e acoplado sob demanda) foram analisados por um período de 60 dias. Ambos estão instalados no interior de uma estufa agrícola de aproximadamente 110 m², sustentada por uma estrutura metálica com cobertura plástica translúcida e sombrite com 50% de retenção luminosa

sobre os sistemas. A estufa acomoda 16 unidades experimentais aquapônicas (UEA), distribuída ao acaso. Cada UEA opera em sistema de recirculação isoladas, sendo essas organizadas de forma integrada, composta por uma caixa plástica d'água (500 L) circular com volume útil de 380 L para criação de peixes; um decantador de fundo cônico (120 L), para sedimentação dos sólidos; um filtro biológico (180 L); e três caixas plásticas, com área de 0,47 m², cada uma contendo duas caixas de alho de 0,09m², totalizando 0,18m² por caixa plástica para cultivo vegetal em sistema *Deep Water Culture* (DWC).

O sistema permanentemente acoplado – PA (Figura 2), opera com bombeamento contínuo da água, que se inicia no tanque de peixes (A). A água excedente escoar por meio de um cano central até o decantador (B), responsável pela remoção de partículas sólidas maiores, permitindo que os sólidos mais pesados se depositem no fundo cônico e sejam removidos por um registro de escape ou válvula de drenagem, que facilita a retirada do material acumulado. Já as partículas mais leves permanecem em suspensão. Em seguida, a água flui para o filtro biológico cilíndrico (C), principal local responsável pelas transformações de nutrientes no sistema. Ele contém uma mangueira microperfurada (30 cm) no fundo, que promove a aeração, e *bioballs* que servem como superfície para a colonização de bactérias. Posteriormente, a água é bombeada para as caixas de cultivo vegetal (M), onde as plantas permanecem suspensas por placas de isopor, com as raízes em contato direto com a água constantemente aerada por meio de mangueiras microperfuradas, para absorção de nutrientes. Por fim, a água retorna ao tanque de peixes (A) por gravidade, completando o ciclo.

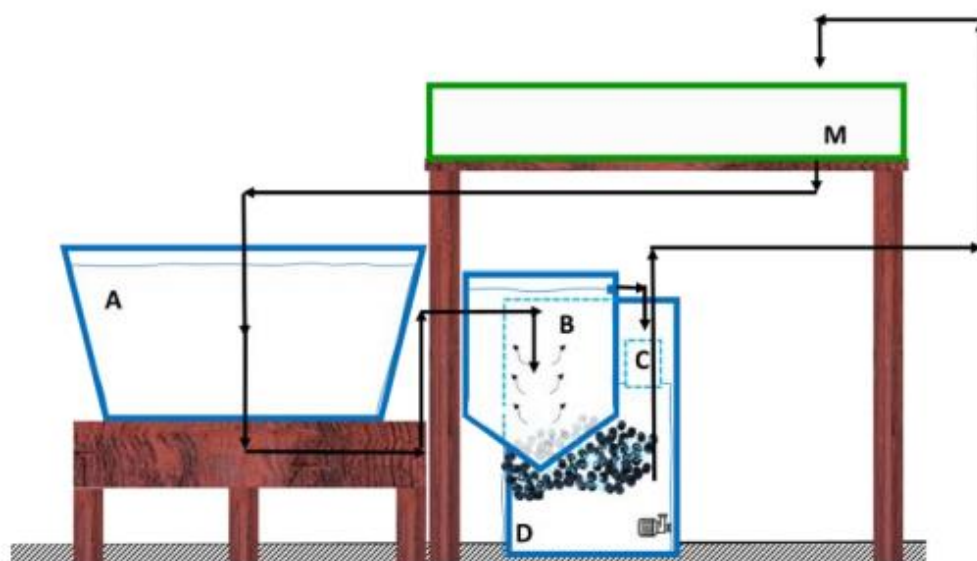


FIGURA 2 TRATAMENTO PA A TANQUE DE PEIXES; B - FILTRO MECÂNICO DE DECANTAÇÃO; C - FILTRO BIOLÓGICO; M - CAIXA PARA CULTIVO VEGETAL) SEGUNDO ALMEIDA 2021.

No ciclo do sistema acoplado sob demanda (ASD), a água percorre uma rota semelhante à do sistema Permanentemente Acoplado (PA). No entanto, no ASD, a água é direcionada para as caixas de plantas por meio da abertura de um registro no filtro biológico. Quando as caixas ficavam cheias, o registro era fechado e, ao final do ciclo, a água das caixas de plantas era descartada. (Figura 3).

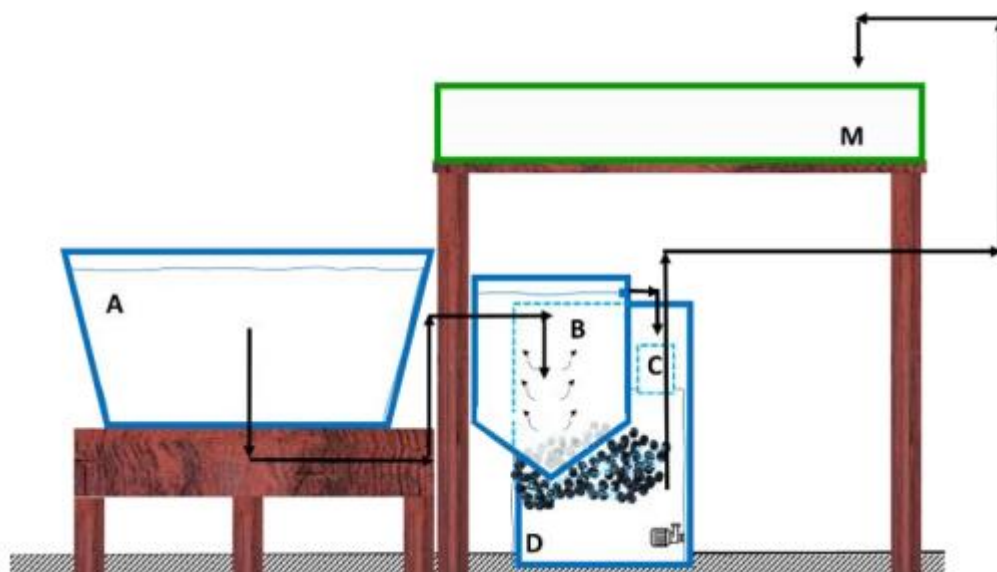


FIGURA 2 TRATAMENTO ASD (A- TANQUE DE PEIXES; B- FILTRO MECÂNICO DE DECANTAÇÃO; C- FILTRO BIOLÓGICO; M - CAIXA PARA CULTIVO VEGETAL) SEGUNDO ALMEIDA 2021.

O abastecimento de água foi feito no início do experimento por meio de captação em um poço artesiano localizado no CAUNESP, mantendo assim um fornecimento contínuo e controlado para o sistema. A recirculação da água é realizada por uma bomba submersa, instalada no filtro biológico, com vazão ajustável entre 400 e 1000 L h⁻¹.

Para manter a temperatura da água, foi instalado dois aquecedores em cada uma das UEAs (marca ROXIN HT1900/Q5), com potência de 500 watts.

A aeração é garantida por um compressor radial de 2 HP, que abastece os tanques de peixes, os filtros biológicos e as caixas de plantas por meio de mangueiras microperfuradas.

Para realização das análises econômicas foram utilizados 3 UEAs de ambos os sistemas (PA e ASD).

4.1.2. Aspectos Zootécnicos

Juvenis de lambari (peso inicial médio de $3,15 \pm 0,15$ g) foram utilizados para o povoamento das 6 UEAs, com 217 peixes alocados por unidade, resultando em uma densidade de estocagem de 571 peixes por metro cúbico (Tabela 1). Os animais passaram por um período de aclimação de 15 dias, durante o qual foram alimentados *ad libitum*. Neste período, animais mortos foram repostos por indivíduos com tamanho semelhante.

TABELA 1 INDICADORES ZOOTÉCNICOS DO LAMBARI (*ASTYANAX LACUSTRIS*) CULTIVADO EM SISTEMA AQUAPÔNICO.

Parâmetro	Unidade	Valor
Volume do tanque	L (0,38 m ³)	380
Adensamento	peixes m ⁻³	571
Peixes por unidade	peixes	~217
Peso médio inicial	g	3,15 ± 0,15
Biomassa inicial (por unidade)	kg	0,68
Densidade inicial	kg m ⁻³	1,80

Fonte: Adaptado de Almeida (2021).

Após o período de aclimação, 22 juvenis de cada UEA foram individualmente medidos e pesados, indicando o início do experimento. Ao longo dos 60 dias do cultivo experimental, foram realizadas duas biometrias, uma no início e outra ao final do ciclo.

A alimentação fornecida durante o experimento deu-se por ração comercial Guabitech, com granulometria de 1 mm e 45% de proteína bruta (PB), fornecida quatro vezes ao dia. Para garantir a qualidade da água, as sobras eram retiradas minutos após a alimentação.

$$\text{Taxa de sobrevivência (\%)} = \frac{(\# \text{ inicial de organismos} - \# \text{ final de organismos})}{\# \text{ inicial de organismos}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Ganho em biomassa (g)} = \text{Biomassa final (g)} - \text{Biomassa inicial (g)} \quad (2)$$

$$\text{Taxa de crescimento específico (TCE)} = 100 \times \left(\frac{\ln \text{ peso final} - \ln \text{ peso inicial}}{\text{período em dias}} \right) \quad (3)$$

$$\text{Conversão alimentar aparente (CAA)} = \frac{\text{consumo}}{\text{ganho em peso}} \quad (4)$$

$$\text{Produtividade (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{biomassa final (kg)} - \text{biomassa inicial (kg)}}{\text{volume de água (m}^3\text{)}} \quad (5)$$

$$\text{Fator de condição} = 10^5 * \frac{\text{Peso médio final (g)}}{((\text{Comprimento total (mm)})^3)} \quad (6)$$

Fonte: Adaptado de Almeida (2021).

TABELA 2 RESULTADOS ZOOTÉCNICOS DO LAMBARI (*ASTYANAX LACUSTRIS*) CULTIVADO NOS DIFERENTES SISTEMAS AQUAPÔNICOS (ADAPTADO DE ALMEIDA, 2021).

Parâmetro	Unidade	ASD	PA
Peso final médio	g	7,72 ± 0,23	6,82 ± 0,62
Biomassa final	kg	3,73±0,10	3,77±0,16
Sobrevivência	%	94,62 ± 5,08	89,56 ± 6,91
Produção média por UEA	Unidades	205±8,99	202±8,96
Total de indivíduos	Unidades	616	607

Fonte: Adaptado de Almeida (2021).

4.1.3. Aspectos Fitotécnicos

O ciclo dos microverdes, da germinação até a colheita, leva cerca de 15 dias. No entanto, o início do cultivo ocorreu três dias após o começo do experimento e 19 dias após a introdução dos peixes. Esse período foi necessário para garantir que os animais já tivessem produzido uma quantidade adequada de nutrientes para sustentar o desenvolvimento vegetal.

Para o início do cultivo, as sementes foram distribuídas em densidade de semeadura de 55,50 g m⁻². Sobre camas flutuantes, as quais foram feitas utilizando tampas plásticas recicladas de caixas de alho fixadas sobre estruturas de isopor. Durante o período de germinação, as sementes eram borrifadas com água destilada duas vezes ao dia e, em seguida, cobertas com um plástico escuro para silagem por cinco dias, procedimento esse que garantia a germinação. Após esse período, o plástico era removido.

Ao todo, foram realizados cinco ciclos de cultivo vegetal, com duração de dez dias cada. No fim de cada ciclo, os vegetais foram colhidos e pesados.

TABELA 3 INDICADORES FITOTÉCNICOS DA MOSTARDA (*BRASSICA JUNCEA*) CULTIVADO EM SISTEMA AQUAPÔNICO (ADAPTADO DE ALMEIDA, 2021).

Variável	Unidade	ASD	PA
Peso fresco microverdes	g	141,48 ± 15,96	139,65 ± 3,47
Peso seco microverdes	g	6,11 ± 0,34	6,27 ± 0,36
Eficiência de semente	-	14,15 ± 1,60	13,96 ± 0,35
Produtividade	kg m ⁻²	0,78 ± 0,09	0,78 ± 0,02
Produção média por UEA	g	707,41 ± 65,17	721,65 ± 21,28
Total produzido	g	2122,22	2164,96
Total produzido	Porções de 50g ¹	42,44	43,30

¹ Unidades comercializáveis embaladas em porções de 50 g.

Fonte: Dados da pesquisa.

4.2. Análise dos custos

As análises dos custos de produção dos sistemas aquapônicos entre lambari (*A. lacustris*) e microverde de mostarda (*B. juncea*) foram baseados nos indicadores zootécnicos e fitotécnicos. Para tanto, foi utilizado o método proposto por Matsunaga et al. (1976), onde avalia os custos operacionais: i) Efetivo (COE), formado por mão-de-obra, aquisição de alevinos e sementes, ração, energia elétrica e outros insumos; e o ii)

Total (COT) foi determinado pela soma do COE e custos trabalhistas (equivalente a 40% do COE) de R\$ 169,00 no sistema PA e R\$ 175,00 no sistema ASD.

Conforme destacado por Castilho-Barros et al. (2020), a inclusão dos encargos trabalhistas e da remuneração da mão de obra é essencial para evitar a subestimação dos custos reais de produção. Diante disso, a estimativa das atividades realizadas pelos funcionários (Tabela 4) foi elaborada com o objetivo de atender à demanda de mão de obra ao longo do ciclo produtivo. As tarefas foram distribuídas entre um funcionário fixo e oito diárias (de R\$ 50,00) realizadas por funcionário temporário, sendo o fixo responsável principalmente por atividades contínuas, como arraçãoamento, manutenções e limpezas gerais, enquanto os temporários foram acionados pontualmente em momentos de maior demanda, como povoamento, biometrias, despesca, plantio e colheita.

Para estimar o valor da mão de obra fixa, utilizou-se o salário-mínimo vigente no período do experimento² (R\$ 1.100,00). A quantidade de horas trabalhadas foi calculada conforme o cronograma de produção resultando em um valor de R\$ 845,00 (Tabelas 4 e 5). Esse valor, dividido entre os dois sistemas,

Em relação a ração, os custos foram estimados a partir do valor comercial de R\$ 192,36 por saco (25 kg). Assim, o custo por quilo foi de R\$ 7,69.

Para a semeadura, foram adquiridos 500 gramas de sementes ao custo total de R\$ 102,00, o que equivale a R\$ 0,20 g⁻¹. Esse valor foi dividido entre os dois sistemas

Foi estimada a aquisição de 200 embalagens para comercialização dos microverdes em porções de 50 gramas,

O valor unitário do lambari foi calculado dividindo o custo operacional total (COT) do sistema pela quantidade total de animais produzidos. No caso dos microverdes, o preço unitário foi calculado através divisão do COT do sistema pela produção total, sendo o resultado dividido por 50 (valor de uma porção)

² Ano de 2021.

TABELA 4 DISTRIBUIÇÃO DA ROTINA DE TRABALHO REALIZADO EM AMBOS OS SISTEMAS

	Funcionário Fixo (horas trabalhadas)		Funcionário Temporários (Diária)
	PA	ASD	
Povoamento	2	2	1
Biometria	2	2	1
Despesca	6	2	1
Limpeza (Geral)	8	2	
Limpeza e reposição ASD ¹		6	
Arraçoamento	120	120	
Plantio	5	2	
Colheita	10	10	5
Manutenções	16	16	
Total de horas	169	175	
Média h mês ⁻¹	84,5	84,5	
Média h dia ⁻¹	3,84	3,84	

¹ - Reposição manual quinzenal no tratamento ASD. Fonte: Dados da pesquisa.

Por fim, para aferir o potencial financeiro da produção aquapônica, foram comparados os valores obtidos no COT aos preços comerciais praticados na região para cada produto (lambari e microverde).

5. Resultados e Discussão

A união dos ciclos produtivos entre o peixe (*A. lacustris*) e os microverdes de mostarda (*B. juncea*) demonstram uma das vantagens da aquaponia. Essa sinergia permitiu a realização de cinco ciclos completos de microverdes durante um único ciclo de engorda de peixes, maximizando o uso dos compostos liberados pelos lambaris, otimizando o aproveitamento do espaço e da ração utilizada.

Segundo Baganz et al. (2022), a integração de plantas ao sistema permite que o efluente da aquicultura não seja descartado no ambiente, mas sim utilizado como fonte sustentável, econômica e não química de nutrientes para as plantas.

No Brasil, os microverdes apresentam valores de mercado que variam entre R\$ 160 e R\$ 400 por quilo (equivalente a R\$ 8,00 a R\$ 20,00 por porção de 50 g). Em mercados internacionais os preços atingem patamares ainda mais elevados. O ciclo de cultivo curto (7 a 21 dias) garante alta rotatividade e um fluxo de caixa eficiente, fatores que reforçam o potencial econômico da cultura.

A análise dos custos de produção considerou o período de 60 dias, que corresponde a um ciclo de cultivo de lambari e cinco ciclos de microverdes. O custo operacional efetivo (COE) totalizou R\$ 1.058,46 para o sistema PA e R\$ 1.073,46 para o

sistema ASD. Com a adição dos encargos trabalhistas, foi obtido o custo operacional total (COT), de R\$ 1.227,26 para o modelo permanentemente acoplado (PA) (Tabela 5) e R\$ 1.248,46 para o acoplado sob demanda (ASD) (Tabela 6).

A mão de obra correspondeu a 48% do custo total da produção ASD e 49% no sistema PA. No caso da mão de obra temporária, excetuando a taxa, foram utilizados os mesmos critérios de operação para os cálculos aplicados à mão de obra fixa. Para esse item o COE foi de R\$ 200, representando 19% do custo operacional efetivo da produção.

TABELA 5 CUSTOS OPERACIONAIS EFETIVOS (COE) E CUSTOS OPERACIONAIS TOTAIS (COT) DO MODELO PERMANENTEMENTE ACOPLADO (PA).

Itens	COE (R\$)	Encargos Trabalhistas(R\$)	COT (R\$)	%
Mão de obra Fixa	422,5	169,00	591,5	48%
Mão de obra Temporária	200,0		200,0	16%
Juvenis (Lambari)	130,2		130,2	11%
Ração	139,1		139,1	11%
Sementes (mostarda)	51,0		51,0	4%
Embalagens	50,0		50,0	4%
Energia Elétrica	65,6		65,6	5%
Total Ciclo¹	1.058,46		1.227,26	100%

¹ Duração de um ciclo produtivo = 60 dias (1 ciclo do lambari = 5 ciclos do microverde); Valor de referência US\$/R\$ (US\$ 1.00 = R\$ 5,40 - <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/fechamentodolar>; acessado em 30/04/2021). Fonte: Dados da pesquisa.

TABELA 6 CUSTOS OPERACIONAIS EFETIVOS (COE) E CUSTOS OPERACIONAIS TOTAIS (COT) DO MODELO ACOPLADO SOB DEMANDA (ASD).

Itens	COE (R\$)	Encargos Sociais	COT (R\$)	%
Mão de obra Fixa	437,5	175,00	612,50	49%
Mão de obra Temporária	200,0		200,0	16%
Juvenis (Lambari)	130,2		130,2	10%
Ração	139,1		139,1	11%
Sementes (mostarda)	51,0		51,0	4%
Embalagens	50,0		50,0	4%
Energia Elétrica	65,6		65,6	5%
Total Ciclo¹	1.073,46		1.248,46	100%

¹ Duração de um ciclo produtivo = 60 dias (1 ciclo do lambari = 5 ciclos do microverde). Valor de referência US\$/R\$ (US\$ 1.00 = R\$ 5,40 - <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/fechamentodolar>; acessado em 30/04/2021). Fonte: Dados da pesquisa.

O preço de aquisição dos lambaris foi determinado com base no valor do milheiro comercializado na região do estudo (R\$ 200,00). A densidade de estocagem foi de 217 peixes por tanque, totalizando 651 lambaris por modelo experimental (PA e ASD), o que

gerou um custo total de R\$ 130,20 para ambos os modelos. Esse valor representou 11% do custo operacional total (COT) no sistema PA e 10% no sistema ASD.

O montante de ração empregada foi de 25kg, o que representou cerca de 11% do custo em ambos os sistemas de produção. Em geral, a ração é um dos insumos que mais contribui para os custos operacionais na aquicultura (EMBRAPA, 2016). No estudo de Dalazen et al. (2019), realizado em um sistema aquapônico familiar no oeste do Pará, o custo da ração correspondeu a 7,15% do custo total. Já em um sistema aquapônico de dupla recirculação (DRAPS) analisado por Baganz et al. (2020), a alimentação dos peixes representou 35% dos custos operacionais no cenário A. Esse cenário considerou apenas a otimização da produtividade das unidades já existentes, tanto na produção de peixes quanto na de vegetais, sem alterações estruturais no sistema. Por outro lado, no cenário B, além dessas melhorias, foi realizada a expansão da área de cultivo vegetal com o objetivo de aproveitar melhor os nutrientes provenientes da piscicultura. Como resultado, o custo com ração passou a representar 42% dos custos operacionais.

Tanto as sementes quanto as embalagens representaram 4% do COT em cada um dos sistemas analisados.

A energia elétrica para o funcionamento dos equipamentos representou 5% do custo operacional total (COT) em ambos os sistemas.

No sistema permanentemente acoplado (PA), foram obtidos 607 peixes e 2.164,96 g de microverdes de mostarda. No sistema acoplado sob demanda (ASD), a produtividade foi um pouco maior para os peixes, com 616 unidades, e menor para os microverdes, totalizando 2.122,22 g (Tabela 7). Tal potencial de rentabilidade também foi observado por Castilho-Barros et al. (2018), em um estudo sobre a integração aquapônica entre o camarão-branco-do-Pacífico (*Litopenaeus vannamei*) e a halófita (*Sarcocornia ambigua*).

Os resultados de produção nos sistemas permanentemente acoplado (PA) e acoplado sob demanda (ASD) foram parecidos em relação à produtividade (Tabela 7). Mesmo que o número de peixes produzidos tenha sido um pouco menor no PA e a produção de microverdes maior no ASD, os valores de custo operacional efetivo (COE) e custo operacional total (COT) foram iguais entre os dois modelos. Esses dados indicam

que, para este estudo, a escolha entre os sistemas não gerou valores significativamente diferentes nos custos da produção.

TABELA 7 PRODUTIVIDADE E VALORES DO CUSTO OPERACIONAL EFETIVO (COE) E CUSTOS OPERACIONAIS TOTAIS (COT)

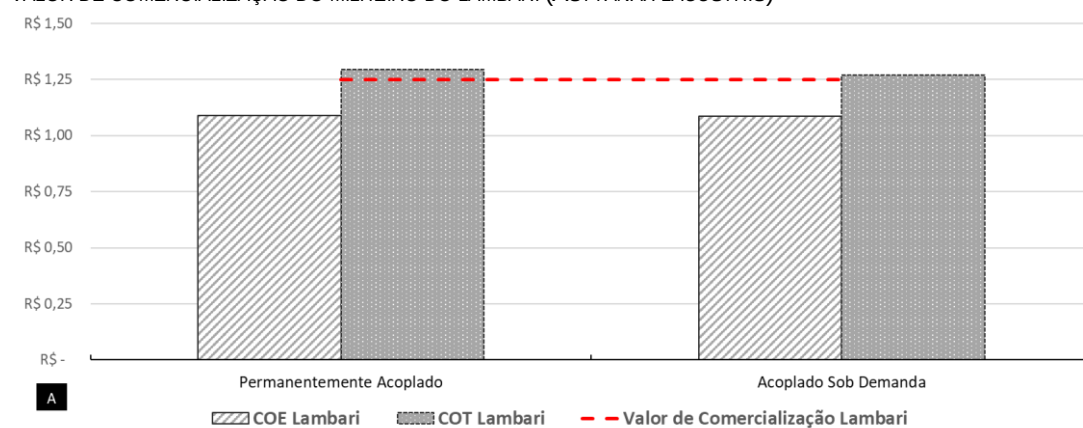
	Modelo de produção	Produção	Unidade	COE	COT
Lambari	PA	607	R\$ Unidade ⁻¹	1,09	1,29
	ASD	616		1,09	1,27
Microverde	PA	2.164,96	R\$ Porção ⁻¹	9,19	10,94
	ASD	2.122,22		9,53	11,37

Valor de referência US\$/R\$ (US\$ 1.00 = R\$ 5,40 - <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/fechamentodolar>; acessado em 30/04/2021). Fonte: Dados da pesquisa.

Esses valores serviram de base para identificar o preço unitário do peixe (Figura 4) e o valor da embalagem com 50 g de microverdes (Figura 5), considerando tanto o COE quanto o COT. Com base no COE, o preço por unidade de lambari foi estimado em R\$ 1,09 em ambos os sistemas. Para os microverdes, o preço por 50 g foi de R\$ 9,19 no PA e R\$ 9,53 no ASD.

Já com base no COT, o valor unitário por lambari foi de R\$ 1,29 no PA e R\$ 1,27 no ASD. Para os microverdes, o valor por 50 g foi de R\$ 10,94 no sistema PA e R\$ 11,37 no ASD.

FIGURA 3 CUSTOS OPERACIONAIS EFETIVOS (COE) E CUSTOS OPERACIONAIS TOTAIS (COT) EM RELAÇÃO AO VALOR DE COMERCIALIZAÇÃO DO MILHEIRO DO LAMبارI (*ASTYANAX LACUSTRIS*)



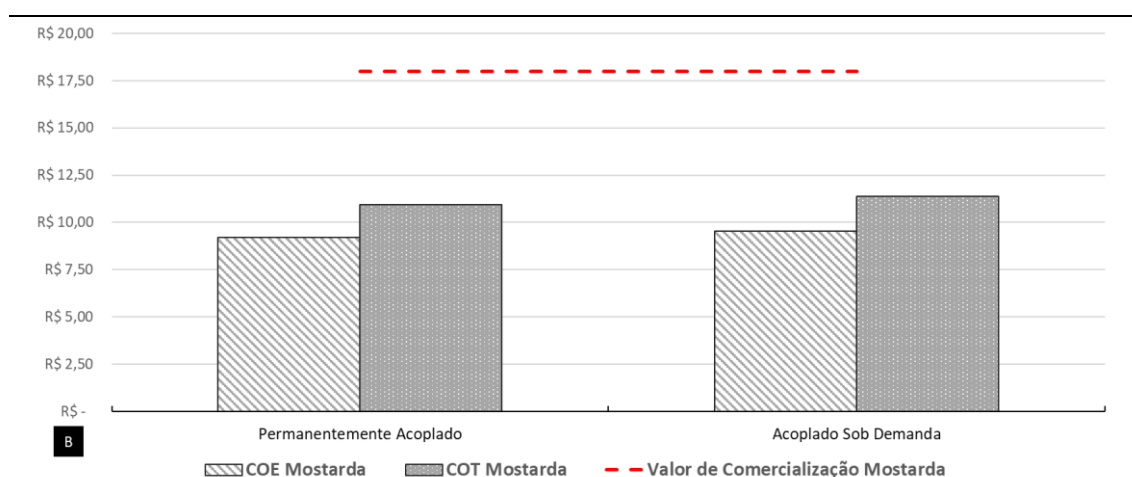


FIGURA 4 CUSTOS OPERACIONAIS EFETIVOS (COE) E CUSTOS OPERACIONAIS TOTAIS (COT) EM RELAÇÃO AO VALOR DE COMERCIALIZAÇÃO DE MICROVERDE DE MOSTARDA (*BRASSICA JUNCEA*)

O sistema acoplado sob demanda oferece maior flexibilidade no manejo, pois mantém os ciclos separados, permitindo a transferência de nutrientes apenas quando necessário e favorecendo a adequação das condições ideais para cada cultivo (Goddek et al., 2019). Além disso, esses produtos apresentam elevado valor comercial, sendo amplamente utilizados na gastronomia *gourmet*, com preços que variam de US\$ 0,23 a US\$ 0,51 por grama no México (Yanes-Molina et al., 2019), e tem um valor entre US\$ 25,0 a US\$ 40,0 por libra (ou 0,45g) nos Estados Unidos (MicroVeggy, 2019).

Os microverdes tiveram um papel fundamental no sistema, funcionando como o principal fator de rentabilidade devido ao maior número de ciclos de produção atrelada ao maior valor de comercialização.

6. Conclusão

A produção de lambari (*Astyanax lacustris*) integrada a microverdes de mostarda (*Brassica juncea*) em sistemas aquapônicos, tanto no modelo Permanentemente Acoplado (PA) quanto no Acoplado Sob Demanda (ASD), demonstrou potencial para viabilidade econômica. Os sistemas se mostraram eficazes na utilização de recursos e no aproveitamento dos nutrientes provenientes da aquicultura para o cultivo vegetal, reduzindo custos operacionais.

Em relação aos lambaris, mesmo que o custo de produção tenha variado entre R\$ 1,27 e R\$ 1,29 por unidade, ficando acima do valor de mercado, os microverdes supriram

esse valor do custo e otimizaram o uso de ração e água, reduzindo gargalos produtivos. Esses resultados se mostram relevantes ao se planejar a ampliação da escala de produção.

7. Referências

ALEXANDRE, C. M. et al. Desempenho zootécnico do matrinxã em diferentes sistemas de cultivo. *Boletim do Instituto de Pesca*, v. 47, n. 3, p. 1-15, 2021.

ALMEIDA, Isabela Cristina. Avaliação da produção de lambari (*Astyanax lacustris*) em sistemas aquapônicos com cultivo vegetal de microverdes. 2021. Projeto de Pesquisa (Iniciação Científica) — Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2021.

ALMEIDA, I. C. de. Modelagem bioeconômica da produção de lambari e microverdes em sistema aquapônico levemente salinizado. 2023. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2023

BAGANZ, G. F. M. et al. The aquaponic principle: it is all about coupling. *Reviews in Aquaculture*, v. 14, n. 1, p. 252-264, 2021.

BAGANZ, G. F. M. et al. Profitability of multi-loop aquaponics: Year-long production data, economic scenarios and a comprehensive model case. *Aquaculture Research*, v. 51, n. 7, p. 2711-2724, 2020.

BAGANZ, G. F. M. et al. The aquaponic principle — nutrient recycling. In: GODDEK, S. et al. (Ed.). *Aquaponics food production systems*. Cham: Springer, 2022. p. 147-174.

BALDISSEROTTO, B.; GOES, E. S. R.; CARNEIRO, P. C. F. Piscicultura de lambaris (*Astyanax lacustris*). In: BALDISSEROTTO, B. (Org.). *Espécies nativas para piscicultura no Brasil*. 2. ed. Santa Maria: UFSM, 2021. p. 301-318.

BALON, E. K. Origin and domestication of the wild carp, *Cyprinus carpio*: from Roman gourmets to the swimming flowers. *Aquaculture*, v. 129, p. 3-48, 1995.

BOSTOCK, J. et al. Aquaculture: global status and trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, v. 365, n. 1554, p. 2897-2912, 2010.

BOYD, C. E.; TUCKER, C. S. Pond aquaculture water quality management. New York: Springer, 2012. 475 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano Nacional de Desenvolvimento da Aquicultura – PNDA. Brasília: MAPA, 2021. 120 p.

CARNEIRO, P. C. F. et al. Montagem e operação de um sistema familiar de aquaponia para produção de peixes e hortaliças. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 12 p. (Circular Técnica, 72).

CARNEIRO, P. C. F. et al. Produção integrada de peixes e vegetais em aquaponia. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 48 p.

CARNEIRO, P. C. F. et al. Sistema familiar de aquaponia em canaletas. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016. 15 p. (Circular Técnica, 81).

CARVALHO, L. A. et al. Lambari gourmet: potencial de mercado e desafios da filetagem de pequenos peixes. Revista Brasileira de Engenharia de Pesca, v. 14, n. 2, p. 53-60, 2022.

CASTILHO-BARROS, L. et al. *Economic feasibility of tilapia culture in southern Brazil: A small-scale farm model*. Aquaculture, v. 515, p. 734551, 2020.

COSTA-PIERCE, B. A. Ecological aquaculture: the evolution of the blue revolution. Oxford: Blackwell Science, 2002. 382 p.

DALAZEN, G. B. et al. Avaliação econômica do sistema de aquaponia familiar em Santarém, oeste do Pará. Agroecossistemas, v. 11, n. 2, p. 40-56, 2019.

DIVER, S. Aquaponics — integration of hydroponics with aquaculture. Fayetteville: ATTRA, 2006. 28 p.

DUARTE, T. M. et al. Crescimento de hortaliças folhosas cultivadas em sistema aquapônico. Horticultura Brasileira, v. 38, n. 1, p. 86-91, 2020.

EGNA, H. S.; BOYD, C. E. Dynamics of pond aquaculture. Boca Raton: CRC Press, 1997. 437 p.

EMBRAPA. Boas práticas de manejo para sistemas de aquaponia. Brasília: Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1092012>. Acesso em: 27 maio 2025.

EMBRAPA. Produção integrada de peixes e vegetais em aquaponia. Brasília: Embrapa, 2015. 48 p. (Documentos, 189). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1025991/1/Doc189.pdf>. Acesso em: 27 maio 2025.

FAO. Small-scale aquaponics food production: integrated fish and plant farming. Rome: FAO, 2020. Disponível em: <https://www.fao.org/3/ca9825en/CA9825EN.pdf>. Acesso em: 27 maio 2025.

FAO. The State of Food Security and Nutrition in the World 2024. Rome: FAO, 2024. 320 p.

FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024: Blue Transformation in Action. Rome: FAO, 2024. Disponível em: <https://www.fao.org/publications/sofia/2024/en/>. Acesso em: 27 maio 2025.

FEIDEN, A. et al. Rendimento e análise bromatológica do lambari do rabo vermelho (*Astyanax* sp. F) submetido ao processo de defumação. Semina: Ciências Agrárias, v. 30, n. 4, p. 859-866, 2009.

FITZSIMMONS, K. Tilapia: the most important aquaculture species of the 21st century. In: KAWANABE, H. et al. (Ed.). Ecology and conservation of fish in inland waters. Tokyo: Springer, 2016. p. 215-230.

GARUTTI, V. Piscicultura Ecológica. São Paulo: UNESP, 2003. 310 p.

GODDEK, S. et al. Aquaponics food production systems: combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future. Cham: Springer, 2019. 619 p.

GONÇALVES, G. S. et al. Growth performance and hematological response of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) under different rearing densities. *Aquaculture Research*, v. 52, n. 1, p. 87-95, 2021.

GRABER, A.; JUNGE, R. Aquaponic systems: nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *Desalination*, v. 246, n. 1-3, p. 147-156, 2009.

GUERREIRO, S. L. M. et al. Integrating aquaponics with *Macrobrachium amazonicum* cultivation for the production of microgreens: a sustainable approach. *Agri.Engineering*, v. 6, n. 1, p. 2718-2731, 2024.

GULLIAN-KLANIAN, M.; ARÁMBURU-ADAME, C. Performance of *Oreochromis niloticus* fingerlings in a hyper-intensive recirculating aquaculture system with low water exchange. *Latin American Journal of Aquatic Research*, v. 41, n. 1, p. 150-162, 2013.

HASAN, M. R.; NEW, M. B. On-farm feeding and feed management in aquaculture. Rome: FAO, 2013. 585 p. (FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, 583).

HENRIQUES, M. B.; CASTILHO-BARROS, L.; DE SOUZA, M. R.; BARBIERI, E.; DA SILVA, N. J. R.; NUNES, F. A. de A.; SANCHES, E. G. Is the small-scale aquaculture of lambari *Deuterodon iguape* (Eigenmann 1907) for live bait in recirculating systems economically profitable? *Aquaculture*, v. 546, n. February 2021, 2022

IBGE. Produção da Pecuária Municipal 2022: tabela de quantidade produzida de peixes. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. 15 p.

IBGE. Pesquisa Pecuária Municipal 2023: produção da aquicultura. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. 18 p.

IPCC. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. 3056 p.

JONES, D. A. Microgreens market and profitability: a guide for urban farmers. *Urban Agriculture Reports*, v. 3, n. 2, p. 45-52, 2020.

JUNGE, R. et al. Urban aquaponics for food security. *Water*, v. 9, n. 1, p. 1-15, 2017.

KYRIACOU, M. C. et al. Micro-scale vegetable production and the rise of microgreens. *Trends in Food Science & Technology*, v. 57, p. 103-115, 2016.

LENNARD, W.; GODDEK, S. Aquaponics: the basics. In: GODDEK, S. et al. (Ed.). *Aquaponics food production systems*. Cham: Springer, 2019. p. 113-143.

LIMA, R. A. et al. Impactos ambientais da aquicultura: uma revisão sistemática. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 14, n. 2, p. 547-566, 2021.

LORD, B. R. et al. Resource efficiency in aquaponics: financial and environmental analysis. *Sustainable Food Systems*, v. 6, n. 1, p. 77-89, 2022.

LOPES, J. O. et al. Crescimento e desempenho de híbridos de pintado e cachara em tanques-rede. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 51, e20220035, 2022.

LOVE, D. C. et al. COVID-19 and aquaponics. *Food Policy*, v. 92, 101957, 2020.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Boletim do Programa Nacional de Desenvolvimento da Aquicultura. Brasília: MAPA, 2021. 45 p.

MARTINS, M. I. E. G. et al. Valorização de produtos da piscicultura brasileira: uma abordagem mercadológica. *Revista Científica de Produção Animal*, v. 24, n. 1, p. 112-120, 2022.

MATSUNAGA, M. et al. Metodologia de custo de produção utilizada pelo IEA. *Agricultura em São Paulo*, v. 23, n. 1, p. 123-139, 1976.

MIR, S. A.; SHAH, M. A.; MIR, M. M. Microgreens — production, shelf life, and bioactive components. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 57, n. 12, p. 2730-2736, 2017.

MOURA, M. G. L. et al. Características produtivas e econômicas do cultivo de lambari em sistema intensivo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 50, e62462, 2020.

NUNES, A. J. P. et al. Aquicultura sustentável: desafios e perspectivas. *Panorama da Aquicultura*, v. 28, n. 165, p. 18-25, 2018.

NUNES, A. J. P. et al. Sistemas de produção aquícola sustentáveis no Brasil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 50, e20210015, 2021.

OLIVEIRA, A. F. et al. Compostos bioativos em *Brassica juncea*: propriedades funcionais e aplicações alimentares. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, v. 24, e20220123, 2022.

PALM, H. W. et al. Community aquaponics. *Reviews in Aquaculture*, v. 10, n. 1, p. 1-15, 2018.

PALM, H. W. et al. Towards commercial aquaponics: a review of systems, designs, and current status. *Reviews in Aquaculture*, v. 10, n. 3, p. 683-705, 2018.

PEIXE BR. Anuário da Piscicultura 2023. São Paulo: Associação Brasileira da Piscicultura, 2023. 120 p.

PEIXE BR. Anuário da Piscicultura 2024. São Paulo: Associação Brasileira da Piscicultura, 2024. 125 p.

PEREIRA, S. A. et al. Desafios e oportunidades para o crescimento da aquicultura no Brasil. *Cadernos de Agroecologia*, v. 15, n. 1, p. 1-10, 2020.

PINHO, S. M. et al. *South American fish species suitable for aquaponics: a review*. *Aquaculture International*, v. 29, p. 1427–1449, 2021

QUEIROZ, J. F. et al. Boas práticas de manejo para sistemas de aquaponia. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2017. 29 p. (Documentos, 113).

RAKOCY, J. E.; MASSER, M. P.; LOSORDO, T. M. Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics — integrating fish and plant culture. Stoneville: SRAC, 2006. 16 p. (Publication, 454).

RAKOCY, J. E. et al. Integrating tilapia culture with vegetable hydroponics in recirculating systems. In: COSTA-PIERCE, B. A. (Ed.). *Tilapia aquaculture in the Americas*. Baton Rouge: World Aquaculture Society, 2006. v. 1, p. 163-184.

RICO, A. et al. Use of veterinary medicines, feed additives and probiotics in four major internationally traded aquaculture species farmed in Asia. *Aquaculture*, v. 412-413, p. 231-243, 2013.

ROCHA, R. C. et al. Avaliação do desempenho de espécies folhosas em sistema aquapônico. *Cadernos de Agroecologia*, v. 16, n. 1, p. 1-6, 2021.

RÖSLER, L. H. et al. Sistema aquapônico: uma alternativa sustentável para produção de alimentos. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 16, n. 1, p. 151-167, 2023.

ROSTAGNO, M. H. et al. Espécies alternativas de peixes para aquaponia. Brasília: Embrapa, 2021. 25 p. (Boletim Técnico, 119).

SABBAG, O. J. et al. Custos e viabilidade econômica da produção de lambari-dorabo-amarelo em Monte Castelo/SP: um estudo de caso. *Boletim do Instituto de Pesca*, v. 37, n. 3, p. 307-315, 2011.

SAMOCHA, T. M. et al. Design and operation of high-density biofloc-dominated production systems for *Litopenaeus vannamei*. In: SAMOCHA, T. M. (Ed.). Biofloc technology and super-intensive aquaculture. Boca Raton: CRC Press, 2020. p. 145-172.

SANTOS, L. H. et al. Potencial produtivo e econômico do lambari (*Astyanax lacustris*) na aquicultura familiar. Revista Aquicultura & Desenvolvimento, v. 17, n. 1, p. 20-28, 2023.

SCHAFER, C. et al. Desempenho produtivo da tilápia em sistemas de aquaponia. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 24, n. 6, p. 365-370, 2020.

SILVA, T. S. et al. Aquicultura e meio ambiente: efeitos da introdução de espécies exóticas em sistemas de cultivo. Boletim de Ciências Biológicas, v. 80, p. 1-10, 2020.

SOMERVILLE, C. et al. Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming. Rome: FAO, 2014. 262 p. (FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, 589).

SOUZA, F. P. et al. Viabilidade do uso do lambari em sistemas aquapônicos. Acta Scientiarum. Animal Sciences, v. 41, e45789, 2019.

SOUZA, J. R. et al. Uso de efluentes da piscicultura na agricultura irrigada. Observatorio de la Economía Latinoamericana, v. 21, n. 12, p. 26505-26518, 2023.

SUSSEL, F. R. et al. Replacement of animal protein with vegetable protein in the diets of *Astyanax altiparanae*. Acta Scientiarum. Animal Sciences, v. 36, n. 4, p. 343-348, 2014.

SUSSEL, S. M. L. A. Aplicação de transglutaminase microbiana em fishburger de lambari (*Astyanax lacustris*). 2021. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2021.

TACON, A. G. J.; METIAN, M. Feed matters: satisfying the feed demand of aquaculture. Reviews in Fisheries Science & Aquaculture, v. 23, n. 1, p. 1-10, 2015.

TAHIM, E. F.; DAMACENO, M. N.; ARAÚJO, I. F. Trajetória tecnológica e sustentabilidade ambiental na cadeia de produção da carcinicultura no Brasil. Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 57, n. 1, p. 93-108, 2019.

TENG, Z. et al. Microgreens for home, commercial, and space farming: a comprehensive update of the most recent developments. *Annual Review of Food Science and Technology*, v. 14, p. 539-562, 2023.

TYSON, R. V. et al. Reconciling water quality parameters impacting nitrification in aquaponics: the pH levels. *Acta Horticulturae*, v. 891, p. 423-431, 2011.

VALENTI, W. C. et al. Aquaculture in Brazil: past, present and future. *Aquaculture Reports*, v. 19, p. 100611, 2021.

XIA, S.; YANG, H.; CHEN, D. Nutritional properties of microgreens: a review. *Journal of Food Science and Technology*, v. 56, n. 3, p. 1262-1273, 2019.

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

ZANIBONI FILHO, E.; RIBEIRO, R. P. Recursos genéticos para a aquicultura: situação atual e desafios para o Brasil. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, v. 41, n. 2, p. 151-161, 2017.