



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**

**UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA**

**CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**SARA STEFANIE ARAÚJO DA SILVA**

**CARACTERIZAÇÃO GONADAL DE FÊMEAS DE *Astyanax lacustris*  
MANTIDAS EM SISTEMAS DE RECIRCULAÇÃO AQUÍCOLA E BIOFLOCOS**

**SERRA TALHADA - PE**

**2026**

CARACTERIZAÇÃO GONADAL DE FÊMEAS DE *Astyanax lacustris*  
MANTIDAS EM SISTEMAS DE RECIRCULAÇÃO AQUÍCOLA E BIOFLOCOS

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao  
Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas, da  
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade  
Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/UAST), como  
requisito obrigatório para obtenção do grau de Bacharela  
em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Nivaldo Ferreira do Nascimento

SERRA TALHADA - PE

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE

Bibliotecário(a): Danilo Trindade Barbosa – CRB-4 002285/O

S586c

Silva, Sara Stefanie Araujo da.

Caracterização gonadal de fêmeas de *Astyanax lacustris* mantidas em sistemas de recirculação aquícola e bioflocos / Sara Stefanie Araujo da Silva.

– Serra Talhada, 2026.

38 f.; il.

Orientador(a): Nivaldo Ferreira do Nascimento.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica Serra Talhada - UAST, Bacharelado em Ciências Biológicas, Serra Talhada, BR-PE, 2026.

Inclui referências e anexo(s).

1. Aquicultura. 2. Bioflocos. 3. Lambari (Peixe). 4. Gônadas 5. Peixes - Reprodução. I. Nascimento, Nivaldo Ferreira do, orient. II. Título

CDD 574

CARACTERIZAÇÃO GONADAL DE FÊMEAS DE *Astyanax lacustris*  
MANTIDAS EM SISTEMAS DE RECIRCULAÇÃO AQUÍCOLA E BIOFLOCOS

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado  
ao Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas, da  
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade  
Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/UAST), como  
requisito obrigatório para obtenção do título de  
Bacharela em Ciências Biológicas.

Aprovado em: 16/07/2026

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Nivaldo Ferreira do Nascimento (Orientador e 1º Examinador)

Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

Prof. Dra. Cleonice Cristina Hilbig (2ª Examinadora)

Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

Prof. Dra. Ana Luiza da Silva (3ª Examinadora)

Universidade Federal Rural de Pernambuco

## AGRADECIMENTOS

Começo agradecendo ao primeiro amor da minha vida, que, antes de ser minha, eu fui dela. Minha primeira casa, meu porto seguro: minha mãe, Ivânia Girleydia. Agradeço por ser sua filha, mainha. Agradeço por estar do meu lado e me incentivar. Agradeço por cada ensinamento. Agradeço pelas orações, porque eu sei que foram elas que me fizeram suportar. Obrigada por tudo. Te amo para sempre e mais um dia.

Agradeço à minha amiga e irmã, Renata Helen, por ser minha parceira nesses anos todos e, sinceramente, eu não podia ter alguém melhor ao meu lado para viver essa experiência. Agradeço a Deus por ter te colocado na minha vida.

Agradeço, de todo o meu coração, àqueles que me fizeram sentir em casa e feliz nos momentos difíceis: meus amigos, que encontrei no meio dessa jornada e que foram uma das coisas mais incríveis que me aconteceram. Gabrielly, Jarina, Lara, Laura, Layres, Ângelo e João, é muito bom poder chamar vocês de família. Queria não só agradecer, mas desejar que todos que lerem este trabalho pudessem ter o privilégio de conhecer cada um de vocês. Vocês são gigantes!

Agradeço aos meus familiares, que me incentivaram e oraram por mim, em especial ao meu irmão, Robert Rodrigo. Espero, um dia, orgulhar cada um de vocês.

E, por fim, agradeço ao meu orientador, Nivaldo Ferreira, por cada ensinamento dado nesses anos todos. O senhor é uma das mentes mais brilhantes que conheço.

*Eu sou o maior inimigo do impossível*

Baco Exu do Blues

## RESUMO

A aquicultura tem buscado sistemas de produção que conciliem eficiência produtiva, sustentabilidade ambiental e bom desempenho reprodutivo das espécies cultivadas. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho biométrico e o desenvolvimento gonadal de fêmeas de *Astyanax lacustris* cultivadas em Sistema de Recirculação Aquícola (RAS) e Tecnologia de Bioflocos (BFT). Foram realizadas avaliações biométricas por meio do comprimento padrão, peso corporal, peso gonadal e índice gonadosômático (IGS), além de análises histológicas dos ovários para determinação dos estágios de desenvolvimento gonadal. Os resultados demonstraram que ambos os sistemas proporcionaram condições adequadas para o crescimento das fêmeas, não sendo observadas diferenças significativas para o comprimento padrão durante o período experimental. Entretanto, o sistema RAS apresentou maiores valores de peso corporal em uma das coletas e maiores valores de peso gonadal e IGS nas coletas inicial e final, indicando melhor desempenho reprodutivo em determinados períodos. As análises histológicas evidenciaram a ocorrência dos estágios de desenvolvimento e apto à desova, indicando atividade reprodutiva das fêmeas em ambos os sistemas. Conclui-se que tanto o RAS quanto o BFT são capazes de sustentar o desenvolvimento de *A. lacustris*; contudo, nas condições avaliadas, o sistema de recirculação proporcionou maior estabilidade e favoreceu o desenvolvimento gonadal das fêmeas, demonstrando potencial para programas de manejo reprodutivo da espécie.

**Palavras-chave:** aquicultura; BFT; lambari-do-rabo-amarelo; histologia ovariana; RAS.

## ABSTRACT

Aquaculture has sought production systems that balance production efficiency, environmental sustainability, and good reproductive performance in farmed species. In this context, the objective of this study was to evaluate the biometric performance and gonadal development of female *Astyanax lacustris* reared in a Recirculating Aquaculture System (RAS) and using Biofloc Technology (BFT). Biometric assessments were conducted using standard length, body weight, gonadal weight, and gonadosomatic index (GSI), in addition to histological analyses of the ovaries to determine the stages of gonadal development. The results demonstrated that both systems provided adequate conditions for the growth of the females, with no significant differences observed in standard length during the experimental period. However, the RAS system showed higher body weight values in one of the sampling rounds and higher gonadal weight and GSI values in the initial and final sampling rounds, indicating better reproductive performance during certain periods. Histological analyses confirmed the presence of developmental stages and spawning readiness, indicating reproductive activity in the females in both systems. It is concluded that both the RAS and the BFT are capable of supporting the development of *A. lacustris*; however, under the conditions evaluated, the recirculation system provided greater stability and promoted gonadal development in females, demonstrating its potential for reproductive management programs for this species.

**Keywords:** aquaculture; BFT; yellowtail snapper; ovarian histology; RAS.



## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1- Localização da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), destacando o Laboratório Núcleo de Biotecnologia e Reprodução (NuBioR), onde o experimento foi conduzido..... | 21 |
| Figura 2- Esquema dos sistemas de cultivo em recirculação aquícola (RAS) e bioflocos (BFT) utilizados para o cultivo de <i>Astyanax lacustris</i> . ....                                                                    | 22 |
| Figura 3- Etapas do processamento das gônadas de fêmeas de <i>Astyanax lacustris</i> para análise histológica. ....                                                                                                         | 24 |
| Figura 4- Etapas do corte e montagem das secções histológicas das gônadas de <i>Astyanax lacustris</i> . ....                                                                                                               | 25 |
| Figura 5- Comprimento padrão (cm) de fêmeas de <i>Astyanax lacustris</i> cultivadas em sistema de recirculação de água (RAS) e tecnologia de bioflocos (BFT) ao longo das nove coletas experimentais. ....                  | 26 |
| Figura 6- Peso corporal (g) de fêmeas de <i>Astyanax lacustris</i> cultivadas em sistema de recirculação de água (RAS) e tecnologia de bioflocos (BFT) ao longo das nove coletas experimentais ....                         | 27 |
| Figura 7- Peso gonadal (g) de fêmeas de <i>Astyanax lacustris</i> cultivadas em sistema de recirculação de água (RAS) e tecnologia de bioflocos (BFT) ao longo das nove coletas experimentais ....                          | 28 |
| Figura 8- Índice gonadosomático (IGS) de fêmeas de <i>Astyanax lacustris</i> cultivadas em sistema de recirculação de água (RAS) e tecnologia de bioflocos (BFT) ao longo das nove coletas experimentais ....               | 28 |
| Figura 9- Percentual de fêmeas de <i>Astyanax lacustris</i> classificadas nos estágios desenvolvimento e apto à desova durante as nove coletas no sistema BFT.....                                                          | 29 |
| Figura 10- Percentual de fêmeas de <i>Astyanax lacustris</i> classificadas nos estágios desenvolvimento e apto à desova durante as nove coletas no sistema RAS .....                                                        | 30 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1- Tempo de aclimação (dias) correspondente a cada coleta realizada durante o período experimental.....                                                  | 23 |
| Tabela 2- Características histológicas e fotomicrografias representativas dos estágios de desenvolvimento gonadal das fêmeas de <i>Astyanax lacustris</i> ..... | 31 |

## SUMÁRIO

|                                                         |           |
|---------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                              | <b>11</b> |
| <b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>                    | <b>14</b> |
| 2.1. AQUICULTURA.....                                   | 14        |
| 2.2. SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO (RAS).....                 | 15        |
| 2.3. SISTEMA BIOFLOCOS (BFT- BIOFLOC TECHNOLOGY).....   | 16        |
| 2.4. GAMETOGÊNESE EM PEIXES .....                       | 17        |
| 2.5. BIOLOGIA REPRODUTIVA .....                         | 18        |
| 2.6. HISTOLOGIA DAS GÔNADAS.....                        | 19        |
| 2.7. <i>Astyanax lacustris</i> .....                    | 20        |
| <b>3. METODOLOGIA .....</b>                             | <b>21</b> |
| 3.1. ASPECTOS ÉTICOS DA PESQUISA.....                   | 21        |
| 3.2. LOCAL E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....            | 21        |
| 3.3. MANUTENÇÃO DO EXPERIMENTO E MANEJO DOS PEIXES..... | 22        |
| 3.4. PROCESSAMENTO HISTOLÓGICO .....                    | 24        |
| 3.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....                           | 25        |
| <b>4. RESULTADOS .....</b>                              | <b>25</b> |
| <b>5. DISCUSSÃO.....</b>                                | <b>33</b> |
| <b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                    | <b>35</b> |
| <b>7. REFERÊNCIAS .....</b>                             | <b>37</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

A aquicultura é atualmente um dos setores de produção de alimentos que mais cresce no mundo, desempenhando papel estratégico na segurança alimentar e no abastecimento de proteína de origem animal. Sua expansão tem impulsionado o desenvolvimento e a diversificação dos sistemas de produção empregados no cultivo de diferentes espécies de peixes, tanto marinhos quanto de água doce (Calixto, 2020). Desde o início dos anos 2000, diferentes sistemas de cultivo vêm sendo utilizados, abrangendo desde modelos extensivos até sistemas superintensivos, com destaque para viveiros escavados, tanques convencionais, os sistemas de recirculação aquícola (Recirculating Aquaculture Systems – RAS) e a tecnologia de bioflocos (Biofloc Technology – BFT) (Verdegem *et al.*, 2023).

Paralelamente ao crescimento da atividade, aumentou também a preocupação com seus impactos ambientais, principalmente em decorrência da geração de efluentes ricos em sólidos suspensos, matéria orgânica, nitrogênio e fósforo, que podem contribuir para processos de eutrofização dos corpos hídricos receptores. Nesse contexto, tornou-se necessária a adoção de tecnologias capazes de reduzir a descarga desses resíduos e aumentar a eficiência no uso da água. Entre as principais alternativas destacam-se os sistemas de recirculação aquícola (RAS), que reutilizam a água de cultivo por meio de processos integrados de filtração mecânica, tratamento biológico e, quando necessário, tratamento químico. Essa tecnologia reduz significativamente o consumo de água e a emissão de efluentes, além de proporcionar maior controle das condições ambientais, melhorar a biossegurança e otimizar o uso dos recursos hídricos (De Vasconcelos *et al.*, 2021; Verdegem *et al.*, 2023). Dessa forma, os sistemas RAS consolidam-se como uma das principais estratégias para promover uma aquicultura mais intensiva, eficiente e ambientalmente sustentável.

Nesse cenário, a tecnologia de bioflocos (Biofloc Technology – BFT) destaca-se como uma estratégia complementar aos sistemas de recirculação aquícola (RAS), contribuindo para a intensificação sustentável da produção aquícola. O BFT baseia-se na manipulação da relação carbonoênio (C) da água de cultivo, promovendo o crescimento de bactérias heterotróficas capazes de assimilar compostos nitrogenados inorgânicos, especialmente a amônia, convertendo-os em biomassa microbiana. Esse processo melhora a qualidade da água e reduz a necessidade de renovação hídrica, além de disponibilizar proteína microbiana e outros nutrientes que podem ser consumidos pelos organismos cultivados como fonte alimentar suplementar. Dessa forma, a

tecnologia de bioflocos contribui simultaneamente para a manutenção da qualidade da água, o aumento da eficiência produtiva e a redução dos impactos ambientais da aquicultura (Nisar, Peng & Sun, 2022).

Essa tecnologia tem se mostrado eficaz na redução das trocas de água, no incremento do desempenho zootécnico de espécies como tilápias e camarões, além de contribuir para a redução dos custos com alimentação (Khanjani *et al.*, 2024; Yu *et al.*, 2023). Quando associada à aquaponia, ainda promove o reaproveitamento de nutrientes, ampliando a eficiência e a sustentabilidade dos sistemas de produção (Emerenciano *et al.*, 2013).

No âmbito da Tecnologia de Bioflocos (BFT), o melaço de cana-de-açúcar destaca-se como uma das principais fontes de carbono utilizadas para o manejo da relação carbono:nitrogênio (C:N), devido à sua elevada concentração de carbono orgânico e ao baixo custo. Sua aplicação favorece o desenvolvimento de bactérias heterotróficas, promovendo a assimilação de compostos nitrogenados e contribuindo para a manutenção da qualidade da água. Além disso, a biomassa microbiana formada pode atuar como fonte alimentar suplementar para os organismos cultivados, favorecendo o desempenho zootécnico e a sustentabilidade dos sistemas de produção (Avnimelech, 2012; McCusker *et al.*, 2023).

Embora os sistemas RAS e a Tecnologia de Bioflocos (BFT) apresentem reconhecidas vantagens para a produção aquícola, a eficiência dessas tecnologias depende, em grande parte, da resposta biológica das espécies cultivadas. Dessa forma, a escolha de modelos experimentais com potencial aquícola e características zootécnicas bem estabelecidas é fundamental para avaliar os efeitos desses sistemas sobre o crescimento, a reprodução e o desempenho produtivo. Nesse contexto, o lambari-dorado-amarelo, *Astyanax lacustris*, destaca-se como uma espécie promissora para estudos voltados ao desenvolvimento de tecnologias de cultivo mais eficientes e sustentáveis.

O *A. lacustris* tem se destacado como uma espécie de interesse para a aquicultura e para a pesquisa científica devido à sua elevada capacidade de adaptação às diferentes condições de cultivo, facilidade de manejo e potencial zootécnico (Brandão *et al.*, 2021). Essas características favoreceram sua utilização como modelo experimental em estudos envolvendo densidade de estocagem, reprodução, qualidade da água, nutrição, sanidade e desenvolvimento de novas tecnologias de cultivo. É encontrada em ambientes dulcícolas, como rios, lagos e açudes. Além disso, apresenta dimorfismo

sexual bem definido, no qual as fêmeas geralmente possuem maior comprimento corporal e maior peso em relação aos machos (Fernandes *et al.*, 2025).

Considerando o potencial aquícola do *A. lacustris*, o conhecimento de sua biologia reprodutiva é essencial para o desenvolvimento de protocolos de manejo que favoreçam a produção sustentável da espécie. De maneira geral, o estudo dos aspectos reprodutivos dos peixes é fundamental para compreender a dinâmica populacional, subsidiar estratégias de conservação e aprimorar as técnicas de reprodução em sistemas de cultivo (Carvalho, 2021). Diversos estudos destacam que o entendimento da estratégia reprodutiva constitui uma etapa indispensável para o manejo sustentável dos estoques pesqueiros, a definição de períodos de defeso, o estabelecimento de tamanhos mínimos de captura e o planejamento de políticas voltadas à pesca e à aquicultura (Neves *et al.*, 2020; Carvalho, 2021).

Entre os principais parâmetros utilizados para avaliar a reprodução dos peixes, a caracterização gonadal destaca-se por fornecer informações sobre o desenvolvimento das gônadas, os estágios de maturação sexual e os processos fisiológicos relacionados à reprodução. Essas informações são essenciais para o planejamento de programas de reprodução induzida, o manejo reprodutivo em piscicultura e a conservação de espécies nativas (Vazzoler, 1996).

Nesse contexto, a avaliação histológica das gônadas representa uma ferramenta essencial para estudos de biologia reprodutiva, pois permite caracterizar os diferentes estágios de desenvolvimento gonadal e compreender as alterações morfológicas associadas ao processo de maturação sexual. Em espécies aquícolas, a análise histológica constitui um importante instrumento para a avaliação do desenvolvimento reprodutivo, subsidiando o manejo de reprodutores e contribuindo para pesquisas voltadas à reprodução e à conservação de peixes (Mechaly *et al.*, 2024; de Jesus-Silva *et al.*, 2018).

Apesar dos avanços no desenvolvimento de sistemas intensivos de cultivo, ainda são limitadas as informações sobre os efeitos das diferentes tecnologias aquícolas no desempenho reprodutivo de espécies nativas. Em especial, a influência dos sistemas de recirculação aquícola (RAS) e da tecnologia de bioflocos (BFT) sobre o desenvolvimento gonadal de *A. lacustris* permanece pouco compreendida. Dessa forma, a comparação entre esses sistemas, por meio da caracterização histológica das gônadas, pode fornecer informações relevantes sobre os efeitos do ambiente de cultivo na maturação sexual da espécie, contribuindo para o

aprimoramento dos protocolos de manejo reprodutivo e para o fortalecimento de sua produção em cativeiro (Vazzoler, 1996; Mechaly *et al.*, 2024).

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o desenvolvimento gonadal de fêmeas de *A. lacustris* mantidas em sistema de recirculação aquícola (RAS) e tecnologia de bioflocos (BFT), por meio de parâmetros biométricos e análises histológicas.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1. AQUICULTURA**

A aquicultura pode ser definida como a atividade relacionada ao cultivo de organismos aquáticos em condições controladas ou parcialmente controladas, incluindo peixes, moluscos, crustáceos, algas e outros organismos de interesse econômico. Essa atividade tem apresentado crescimento significativo nas últimas décadas devido ao aumento da demanda mundial por alimentos e à necessidade de alternativas sustentáveis para suprir o consumo de produtos de origem aquática (FAO, 2024).

O desenvolvimento da aquicultura tem desempenhado papel importante na produção de alimentos, geração de empregos e fortalecimento da economia em diferentes regiões do mundo (FAO, 2024). Em muitos países, a atividade representa uma fonte relevante de renda e contribui para a segurança alimentar, fornecendo produtos com elevado valor nutricional, principalmente devido ao alto teor de proteínas, vitaminas e minerais presentes nos organismos aquáticos cultivados.

No Brasil, a aquicultura apresenta grande potencial de crescimento devido à ampla disponibilidade de recursos hídricos, condições climáticas favoráveis e elevada diversidade de espécies nativas com potencial para cultivo. Entre os organismos produzidos destacam-se principalmente peixes de água doce, como tilápias, tambaquis e espécies nativas utilizadas tanto para consumo quanto para fins ornamentais e pesquisas científicas (Kubitza, 2015; FAO, 2024).

Com o avanço das tecnologias aplicadas ao setor aquícola, novos sistemas de produção têm sido desenvolvidos visando aumentar a produtividade e reduzir impactos ambientais. Sistemas como o Sistema de Recirculação Aquícola (RAS) e a Tecnologia de Bioflocos (BFT) vêm sendo amplamente utilizados por possibilitarem maior

controle dos parâmetros ambientais, redução do consumo de água e melhor aproveitamento dos recursos disponíveis (Timmons; Ebeling, 2013).

Além dos aspectos produtivos, a aquicultura também possui grande relevância científica devido à sua contribuição para pesquisas relacionadas à nutrição, genética, sanidade, fisiologia e reprodução de organismos aquáticos. Estudos nessas áreas auxiliam no desenvolvimento de técnicas que visam melhorar o desempenho produtivo das espécies cultivadas e promover práticas mais sustentáveis para o setor aquícola (Kubitza, 2015; FAO, 2024).

## 2.2. SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO (RAS)

O Sistema de Recirculação Aquícola (RAS) consiste em uma tecnologia de produção que permite o reaproveitamento contínuo da água utilizada no cultivo de organismos aquáticos por meio de processos de filtragem biológica. Diferentemente dos sistemas convencionais, que demandam elevadas taxas de renovação hídrica, o RAS opera com reduzida substituição de água, permitindo maior controle das condições ambientais e redução do impacto causado ao meio ambiente (Timmons; Ebeling, 2013).

O funcionamento dos sistemas de recirculação aquícola baseia-se na circulação contínua da água entre os tanques de cultivo e as unidades de tratamento, permitindo sua reutilização com mínima renovação. Entre os principais componentes do sistema destacam-se os filtros mecânicos, responsáveis pela remoção de partículas sólidas em suspensão; os biofiltros, que promovem a nitrificação e a conversão de compostos nitrogenados tóxicos em formas menos prejudiciais aos organismos cultivados por meio da ação de microrganismos; além dos sistemas de aeração e controle da qualidade da água, que mantêm condições ambientais adequadas ao desenvolvimento dos peixes. A integração desses componentes assegura maior estabilidade da qualidade da água, favorecendo o bem-estar dos organismos e a eficiência produtiva dos sistemas de cultivo (Timmons; Ebeling, 2013).

A utilização do RAS apresenta diversas vantagens para a produção aquícola, principalmente em relação ao controle dos parâmetros ambientais. Variáveis como temperatura, oxigênio dissolvido, pH e concentração de compostos nitrogenados podem ser monitoradas e ajustadas de forma mais eficiente quando comparadas aos sistemas tradicionais de cultivo. Esse controle favorece melhores condições para

crescimento, sobrevivência e reprodução dos organismos cultivados (Timmons; Ebeling, 2013).

Além disso, segundo Martins *et al.*, (2010), os sistemas de recirculação contribuem significativamente para a redução do consumo de água e da liberação de resíduos no ambiente, tornando-se uma alternativa mais sustentável para a aquicultura moderna. Entretanto, apesar das vantagens apresentadas, o sistema exige maior investimento inicial devido à necessidade de equipamentos específicos e monitoramento constante para garantir a estabilidade das condições de cultivo.

### 2.3. SISTEMA BIOFLOCOS (BFT- BIOFLOC TECHNOLOGY)

O Sistema de Bioflocos (BFT) consiste em uma tecnologia de cultivo baseada no desenvolvimento e manutenção de comunidades microbianas presentes na água, permitindo o reaproveitamento de nutrientes e reduzindo a necessidade de renovação hídrica. O sistema de bioflocos baseia-se no desenvolvimento de comunidades microbianas capazes de converter compostos nitrogenados presentes na água em biomassa microbiana. Esses compostos, principalmente a amônia gerada a partir das excretas dos organismos cultivados e resíduos alimentares, podem tornar-se tóxicos quando acumulados no ambiente. A adição de fontes de carbono promove o crescimento de bactérias heterotróficas que assimilam esses compostos, contribuindo para a manutenção da qualidade da água (Crab *et al.*, 2012).

Entre as principais fontes de carbono utilizadas no manejo de sistemas BFT destaca-se o melaço, um subproduto obtido durante o processamento industrial da cana-de-açúcar. O melaço apresenta elevada concentração de carboidratos e é amplamente utilizado por fornecer uma fonte de carbono facilmente disponível para os microrganismos presentes no sistema. Sua adição auxilia no ajuste da relação carbono:nitrogênio (C:N), favorecendo o crescimento bacteriano e estimulando a formação dos bioflocos (Emerenciano *et al.*, 2013).

Os bioflocos são agregados formados por bactérias, algas, protozoários, matéria orgânica particulada, restos alimentares e outros microrganismos suspensos na água. Além de atuarem no controle da qualidade da água, esses agregados podem servir como fonte suplementar de alimento para os organismos cultivados, contribuindo para o melhor aproveitamento nutricional e redução dos custos com alimentação (Crab *et al.*, 2012).



Uma das principais vantagens do sistema BFT está relacionada à redução da troca de água durante o cultivo, contribuindo para menor impacto ambiental e uso mais eficiente dos recursos hídricos. Além disso, a presença dos bioflocos auxilia na manutenção da estabilidade dos parâmetros físico-químicos da água, favorecendo melhores condições para crescimento, sobrevivência e desempenho zootécnico das espécies cultivadas (Emerenciano *et al.*, 2013).

## 2.4. GAMETOGENESE EM PEIXES

A gametogênese corresponde ao processo biológico responsável pela formação, crescimento e maturação das gametas, sendo considerada uma etapa fundamental para a reprodução dos organismos (Vazzoler, 1996). Esse processo ocorre nas gônadas e envolve uma série de modificações celulares e fisiológicas que resultam na produção de células reprodutivas maduras capazes de participar do processo de fecundação. Estudos recentes demonstram que a análise histológica das gônadas de peixes permite identificar com precisão os diferentes estágios da gametogênese, contribuindo para a caracterização do ciclo reprodutivo e da maturação gonadal das espécies (Vazzoler, 1996; Mechaly *et al.*, 2024).

Nos indivíduos do sexo feminino, o processo é denominado ovogênese ou oogênese e ocorre nos ovários. Durante esse desenvolvimento, as células germinativas passam por diferentes fases até à formação dos ovócitos maduros. Inicialmente encontram-se as ovogônias, células precursoras que sofrem divisões mitóticas e posteriormente originam os ovócitos primários. Em seguida, essas células passam por fases sucessivas de crescimento e diferenciação, incluindo os estágios pré-vitelogênico, vitelogênico e de maturação final (Tyler; Sumpter, 1996; de JesusSilva *et al.*, 2018).

Durante a fase de vitelogênese ocorre intensa deposição de vitelo no citoplasma dos ovócitos, processo considerado essencial para o desenvolvimento embrionário inicial. O vitelo atua como reserva nutritiva para o embrião e sua deposição está diretamente relacionada à ação de hormônios reprodutivos produzidos ao longo do desenvolvimento gonadal (Tyler; Sumpter, 1996)

Em peixes teleósteos, a gametogênese é regulada por mecanismos neuroendócrinos envolvendo o eixo hipotálamo-hipófise-gônadas. A produção hormonal atua diretamente sobre as gônadas, controlando o crescimento,

desenvolvimento e maturação das gametas. Além disso, fatores ambientais como fotoperíodo, temperatura, disponibilidade alimentar e qualidade da água podem influenciar significativamente o processo reprodutivo (Vazzoler, 1996; Baek *et al.*, 2025).

O conhecimento dos mecanismos envolvidos na gametogênese possui grande importância para estudos relacionados à biologia reprodutiva, manejo reprodutivo e tecnologias aplicadas à aquicultura. A compreensão desse processo permite identificar os diferentes estágios de desenvolvimento celular e contribui para o entendimento da dinâmica reprodutiva das espécies, auxiliando programas de reprodução induzida e estratégias de conservação (Lubzens *et al.*, 2010).

## 2.5. BIOLOGIA REPRODUTIVA

A reprodução dos peixes é influenciada por diversos fatores ambientais, como temperatura, disponibilidade de alimento, qualidade da água e fotoperíodo. Essas variáveis atuam diretamente sobre o sistema endócrino, regulando a produção hormonal e o desenvolvimento das gônadas (Zohar *et al.*, 2010; Migaud *et al.*, 2010; Baek *et al.*, 2025).

O ciclo reprodutivo é caracterizado por uma série de alterações morfológicas e fisiológicas nas gônadas, que passam por diferentes estágios de desenvolvimento ao longo do período reprodutivo. Esses estágios são geralmente classificados como imaturo, em desenvolvimento, maduro, desovado e regressão gonadal, permitindo a avaliação da condição reprodutiva dos indivíduos (Brown-Peterson *et al.*, 2011). Além da classificação dos estágios de desenvolvimento gonadal, estudos recentes demonstram que a associação entre análises histológicas, índices gonadais, avaliações hormonais e outras ferramentas de investigação da biologia reprodutiva permite uma caracterização mais precisa da condição reprodutiva dos peixes, contribuindo para a compreensão dos mecanismos envolvidos na maturação sexual e no ciclo reprodutivo (Brown-Peterson *et al.*, 2011; Mechaly *et al.*, 2024; Baek *et al.*, 2025).

Durante o processo de ovogênese, os ovócitos passam por diferentes fases de crescimento e diferenciação, incluindo o crescimento primário, a formação dos alvéolos corticais, a vitelogênese e a maturação final, até atingirem as condições necessárias para a fecundação (Tyler & Sumpter, 1996; de Jesus-Silva *et al.*, 2018). A presença de ovócitos em diferentes estágios de desenvolvimento constitui um

importante indicador da atividade reprodutiva e do grau de maturação ovariana das fêmeas, sendo amplamente utilizada em análises histológicas para caracterizar o ciclo ovariano e a dinâmica reprodutiva das espécies (de Jesus-Silva *et al.*, 2018).

Nos machos, a espermatogênese ocorre nos túbulos seminíferos dos testículos e envolve a diferenciação das espermatogônias em espermatozoides maduros, processo essencial para a produção de gametas viáveis durante o período reprodutivo (Schulz *et al.*, 2010).

## 2.6. HISTOLOGIA DAS GÔNADAS

A histologia das gônadas constitui uma importante ferramenta para a compreensão da biologia reprodutiva dos peixes, permitindo a identificação dos diferentes estágios de desenvolvimento gonadal e a avaliação da condição reprodutiva dos indivíduos. Por meio da análise microscópica dos tecidos gonadais, é possível observar alterações estruturais relacionadas à gametogênese, à maturação sexual e ao período de desova, fornecendo informações fundamentais para estudos de biologia reprodutiva, manejo de reprodutores e programas de conservação de espécies (Vazzoler, 1996; Brown-Peterson *et al.*, 2011; Mechaly *et al.*, 2024).

Nos ovários, a análise histológica possibilita identificar as diferentes fases de desenvolvimento dos ovócitos, desde as oogônias até os ovócitos maduros, permitindo caracterizar o estágio de maturação das fêmeas. Durante esse processo podem ser observadas fases como crescimento primário, formação dos alvéolos corticais, vitelogênese e maturação final dos ovócitos, características amplamente utilizadas na classificação histológica do ciclo ovariano em teleósteos (Tyler & Sumpter, 1996; de Jesus-Silva *et al.*, 2018).

Além da identificação dos estágios de desenvolvimento gonadal, a avaliação histológica pode ser associada a outras ferramentas, como índices gonadais, análises hormonais e técnicas moleculares, proporcionando uma caracterização mais abrangente da fisiologia reprodutiva. A integração dessas abordagens permite compreender com maior precisão os mecanismos envolvidos na maturação gonadal e no sucesso reprodutivo das espécies, contribuindo para o aprimoramento das estratégias de manejo em aquicultura e para o avanço das pesquisas em biologia reprodutiva (Mechaly *et al.*, 2024; Baek *et al.*, 2025).

Dessa forma, a histologia gonadal representa uma ferramenta essencial para estudos relacionados à reprodução de peixes, fornecendo informações sobre a dinâmica do desenvolvimento das gônadas, o ciclo reprodutivo e os efeitos de fatores ambientais sobre a reprodução. Esses conhecimentos contribuem para programas de reprodução em cativeiro, conservação de espécies e otimização das técnicas empregadas na aquicultura (Vazzoler, 1996; Baek *et al.*, 2025).

## 2.7. *Astyanax lacustris*

O lambari-do-rabo-amarelo, *A. lacustris*, conhecido popularmente em diversas regiões do Brasil como piaba, pertence à ordem Characiformes e à família Characidae. Trata-se de uma espécie de peixe dulcícola amplamente distribuída em bacias hidrográficas brasileiras e que apresenta importância ecológica, econômica e científica. Sua ampla distribuição geográfica, aliada à elevada plasticidade ecológica, permite sua adaptação a diferentes condições ambientais, conferindo-lhe importância ecológica, econômica e científica (Garcia, 2019; Fernandes *et al.*, 2025).

Nos últimos anos, *A. lacustris* tem despertado crescente interesse na aquicultura e na pesquisa científica devido ao seu rápido crescimento, facilidade de manejo, boa adaptação às condições de cativeiro e elevado potencial reprodutivo. Essas características favorecem sua utilização como modelo experimental em estudos relacionados à nutrição, qualidade da água, densidade de estocagem, fisiologia, toxicologia, genética e reprodução, além de evidenciarem seu potencial para programas de cultivo e conservação de espécies nativas (Garcia, 2019; Fernandes *et al.*, 2025).

Além de sua relevância para a produção aquícola, a espécie exerce importante função nos ecossistemas aquáticos, participando da dinâmica das cadeias alimentares como consumidor de diferentes recursos e como presa para peixes, aves e outros organismos aquáticos. Dessa forma, o conhecimento de sua biologia, especialmente dos aspectos reprodutivos, é fundamental tanto para o desenvolvimento de tecnologias de cultivo quanto para subsidiar estratégias de manejo e conservação de suas populações naturais.

### 3. METODOLOGIA

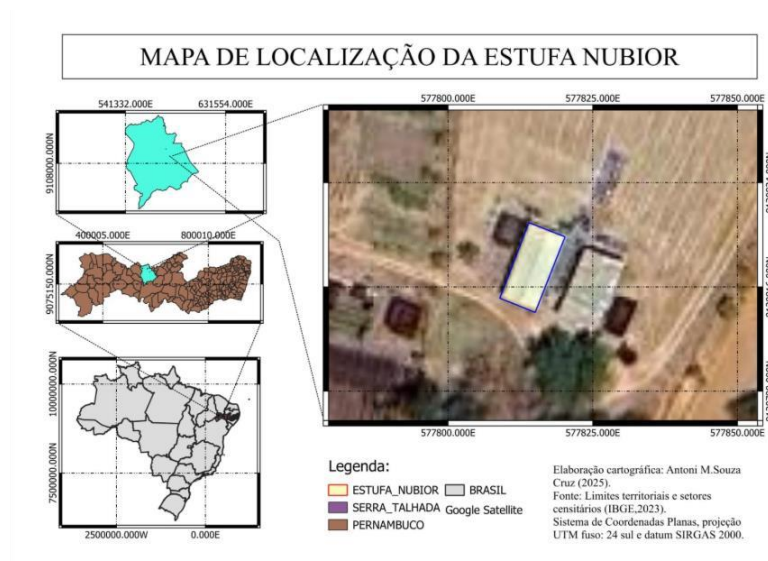
#### 3.1. ASPECTOS ÉTICOS DA PESQUISA

O presente projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal Rural de Pernambuco (CEUA/UFRPE; Protocolo nº 5765091123).

#### 3.2. LOCAL E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi desenvolvido no Laboratório Núcleo de Biotecnologia e Reprodução (NuBioR), localizado na Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) (Figura 1).

Figura 1- Localização da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), destacando o Laboratório Núcleo de Biotecnologia e Reprodução (NuBioR), onde o experimento foi conduzido.

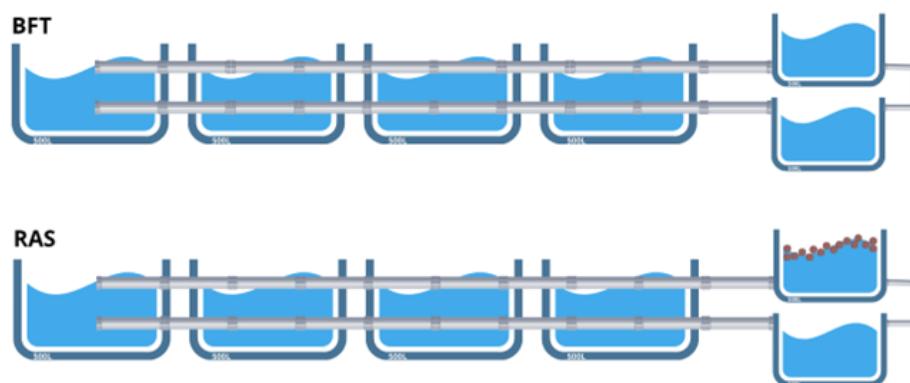


Fonte: Da Cruz (2025).

Foram utilizados dois sistemas de produção: Sistema de Recirculação Aquícola e Bioflocos, com uma espécie de peixe (*Astyanax lacustris*) divididos em dois grupos (RAS e BFT) (Figura 2). Foram utilizadas quatro caixas de 500 Litros em cada grupo, sendo distribuídos 100 peixes por caixa (50 fêmeas e 50 machos). Cada sistema foi mantido

separadamente, com sistema de recirculação, aquecimento e aeração individuais. Os peixes foram alimentados duas vezes ao dia com ração comercial (32% de proteína) até à saciedade aparente.

Figura 2- Esquema dos sistemas de cultivo em recirculação aquícola (RAS) e bioflocos (BFT) utilizados para o cultivo de *Astyanax lacustris*



Fonte: Autora (2026).

### 3.3. MANUTENÇÃO DO EXPERIMENTO E MANEJO DOS PEIXES

Após 30 dias da distribuição dos animais nos sistemas para aclimação, teve início, em junho de 2025, a etapa de coletas para análise histológica das gônadas, realizada quinzenalmente até outubro de 2025, totalizando 9 coletas. O tempo de aclimação correspondente a cada coleta está apresentado na Tabela 1. Em cada coleta, 8 peixes de cada grupo foram aleatoriamente selecionados (72 peixes no total), medidos (comprimento padrão e total) e pesados em balança analítica (Figura 3 A, B). Posteriormente, os animais foram eutanasiados em solução anestésica de eugenol (100mg/L) para coleta das gônadas (Figura 3 C, D), as quais foram fixadas em Alfalac (mistura de ácido acético, formalina e álcool 80%) por 16 horas e então mantidas em álcool 70% até o processamento histológico (Figura 3 E, F).

Tabela 1- Tempo de aclimação (dias) correspondente a cada coleta realizada durante o período experimental

| COLETA         | TEMPO DE ACLIMATAÇÃO (DIAS) |
|----------------|-----------------------------|
| 1 <sup>a</sup> | 30                          |
| 2 <sup>a</sup> | 45                          |
| 3 <sup>a</sup> | 60                          |
| 4 <sup>a</sup> | 75                          |
| 5 <sup>a</sup> | 90                          |
| 6 <sup>a</sup> | 105                         |
| 7 <sup>a</sup> | 120                         |
| 8 <sup>a</sup> | 135                         |
| 9 <sup>a</sup> | 150                         |

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Figura 3- Etapas do processamento das gônadas de fêmeas de *Astyanax lacustris* para análise histológica. (A) mensuração, (B) pesagem, (C) abertura das fêmeas, (D) gônada retirada, (E) gônada na solução Alfalac e (F) álcool 70% sendo adicionado nas gônadas



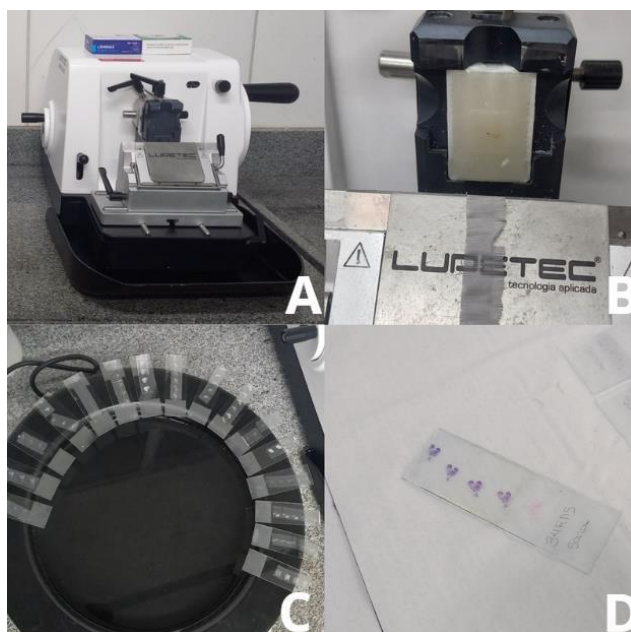
Fonte: Autora (2026).

### 3.4. PROCESSAMENTO HISTOLÓGICO

As amostras previamente fixadas e armazenadas em álcool 70% foram submetidas à desidratação em séries crescentes de etanol, seguida de infiltração e inclusão em parafina. Posteriormente, foram obtidas secções histológicas com espessura de 5µm utilizando um micrótomo rotativo (Leica RM2145; Leica Instruments GmbH, Nussloch, Alemanha) (Figura 4). As secções foram montadas em lâminas histológicas e coradas pela técnica de Hematoxilina e Eosina (HE). O registro fotográfico e as análises histológicas foram realizados em microscópio óptico Nikon acoplado a uma câmera digital (Nikon, Japão).



Figura 4- Etapas do corte e montagem das secções histológicas das gônadas de *Astyanax lacustris*. (A) micrótomo rotativo, (B) secção das amostras, (C) lâminas com as amostras das gônadas de *Astyanax lacustris* e (D) lâmina corada com Hematoxilina e Eosina



Fonte: Autora (2026).

### 3.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises estatísticas foram realizadas por meio da análise de variância (ANOVA). Quando identificadas diferenças significativas entre os sistemas de cultivo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, adotando-se nível de significância de 5% ( $P < 0,05$ ). Todas as análises foram conduzidas utilizando o software Statistica®, versão 10.0 (StatSoft Inc., Tulsa.

## 4. RESULTADOS

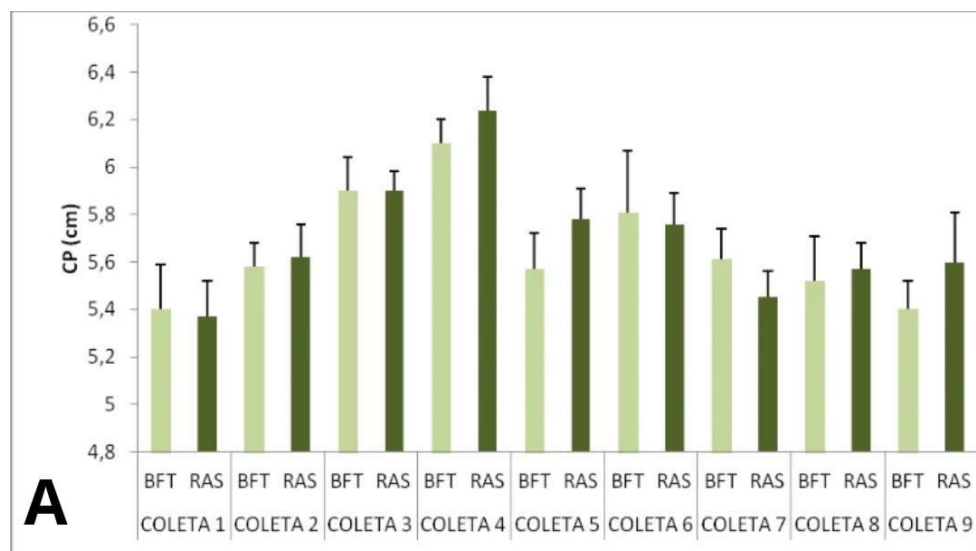
Os parâmetros biométricos das fêmeas de *Astyanax lacustris* cultivadas nos sistemas de recirculação aquícola (RAS) e bioflocos (BFT) estão apresentados nas Figuras 5 a 8. De maneira geral, ambos os sistemas proporcionaram crescimento semelhante ao longo do período experimental, sendo observadas poucas diferenças estatísticas entre os tratamentos.

O comprimento padrão (CP) apresentou comportamento semelhante entre os sistemas durante todas as nove coletas experimentais (Figura 5), não sendo observadas diferenças significativas entre os tratamentos ( $P > 0,05$ ). Em ambos os sistemas verificou-se aumento

gradual do comprimento corporal nas coletas iniciais, seguido de estabilização dos valores até o final do experimento.

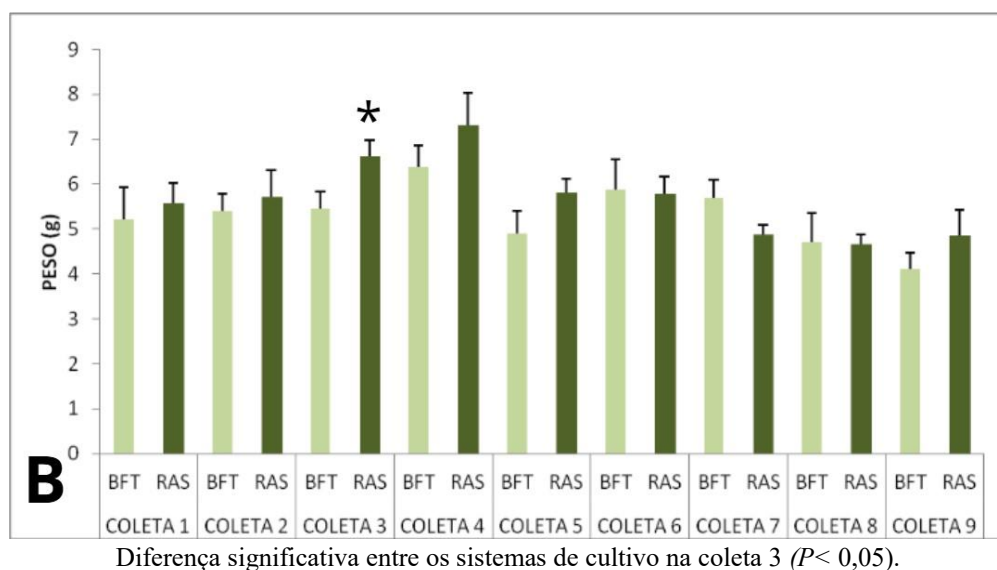
Para o peso corporal (Figura 6), também não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos na maior parte das avaliações ( $P > 0,05$ ). Entretanto, na terceira coleta, as fêmeas mantidas no sistema RAS apresentaram peso corporal significativamente superior ao observado no sistema BFT ( $P = 0,019$ ). Nas demais coletas, os valores permaneceram semelhantes entre os tratamentos, evidenciando padrão de crescimento corporal equivalente ao longo do experimento.

Figura 5- Comprimento padrão (cm) de fêmeas de *Astyanax lacustris* cultivadas em sistema de recirculação de água (RAS) e tecnologia de bioflocos (BFT) ao longo das nove coletas experimentais



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Figura 6- Peso corporal (g) de fêmeas de *Astyanax lacustris* cultivadas em sistema de recirculação de água (RAS) e tecnologia de bioflocos (BFT) ao longo das nove coletas experimentais

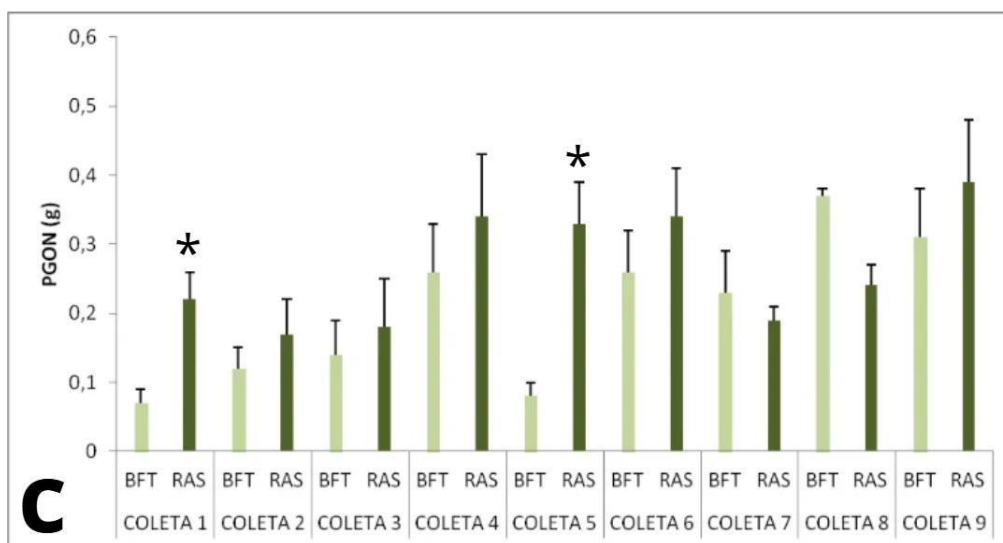


Os parâmetros relacionados ao desenvolvimento gonadal apresentaram diferenças apenas em momentos específicos do período experimental. Na primeira coleta, o peso gonadal foi significativamente maior nas fêmeas mantidas no sistema RAS ( $0,22 \pm 0,04$  g) quando comparadas às do sistema BFT ( $0,07 \pm 0,02$  g) ( $P = 0,028$ ) (Figura 7). Da mesma forma, o índice gonadosômático (IGS) apresentou valores superiores no sistema RAS ( $3,80 \pm 0,70\%$ ) em relação ao BFT ( $1,30 \pm 0,33\%$ ) ( $P = 0,006$ ) (Figura 8).

Na quinta coleta, novamente foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para ambas as variáveis reprodutivas. O peso gonadal das fêmeas mantidas no sistema RAS foi superior ao registrado no sistema BFT ( $0,33 \pm 0,06$  g e  $0,08 \pm 0,02$  g, respectivamente;  $P = 0,004$ ). De forma semelhante, o índice gonadosômático apresentou valores significativamente maiores no sistema RAS ( $4,59 \pm 1,08\%$ ) quando comparado ao sistema BFT ( $1,78 \pm 0,51\%$ ) ( $P = 0,008$ ).

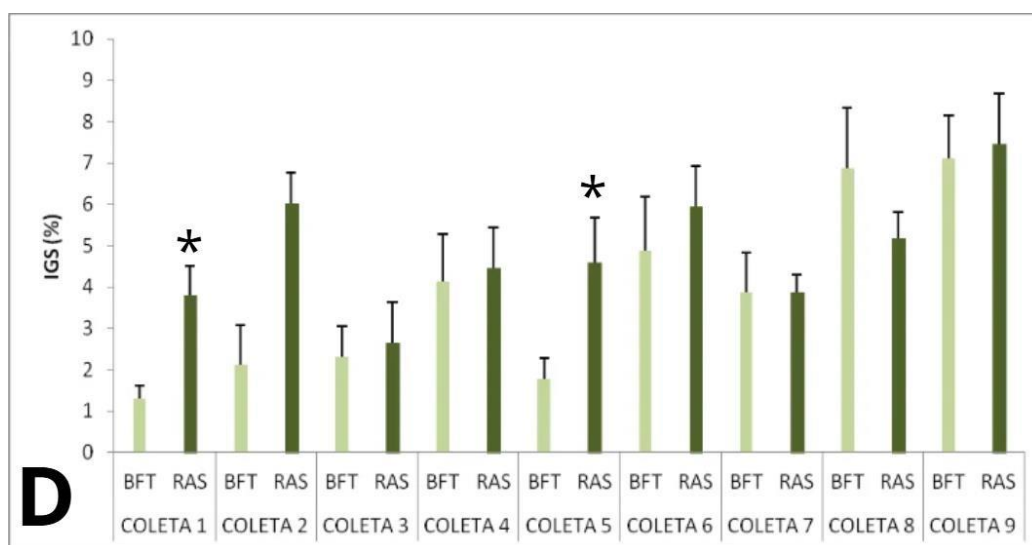
Embora essas diferenças tenham sido observadas nas coletas 1 e 5, o comportamento geral das variáveis reprodutivas foi semelhante entre os sistemas durante as demais avaliações, não sendo verificadas diferenças estatisticamente significativas para o peso gonadal e o índice gonadosômático ( $P > 0,05$ ). Em ambos os tratamentos, observou-se variação temporal dessas variáveis ao longo do período experimental, refletindo a dinâmica do desenvolvimento ovariano das fêmeas.

Figura 7- Peso gonadal (g) de fêmeas de *Astyanax lacustris* cultivadas em sistema de recirculação de água (RAS) e tecnologia de bioflocos (BFT) ao longo das nove coletas experimentais



Diferença significativa entre os sistemas de cultivo nas coletas 1 e 5 ( $P < 0,05$ ).

Figura 8- Índice gonadossomático (IGS) de fêmeas de *Astyanax lacustris* cultivadas em sistema de recirculação de água (RAS) e tecnologia de bioflocos (BFT) ao longo das nove coletas experimentais



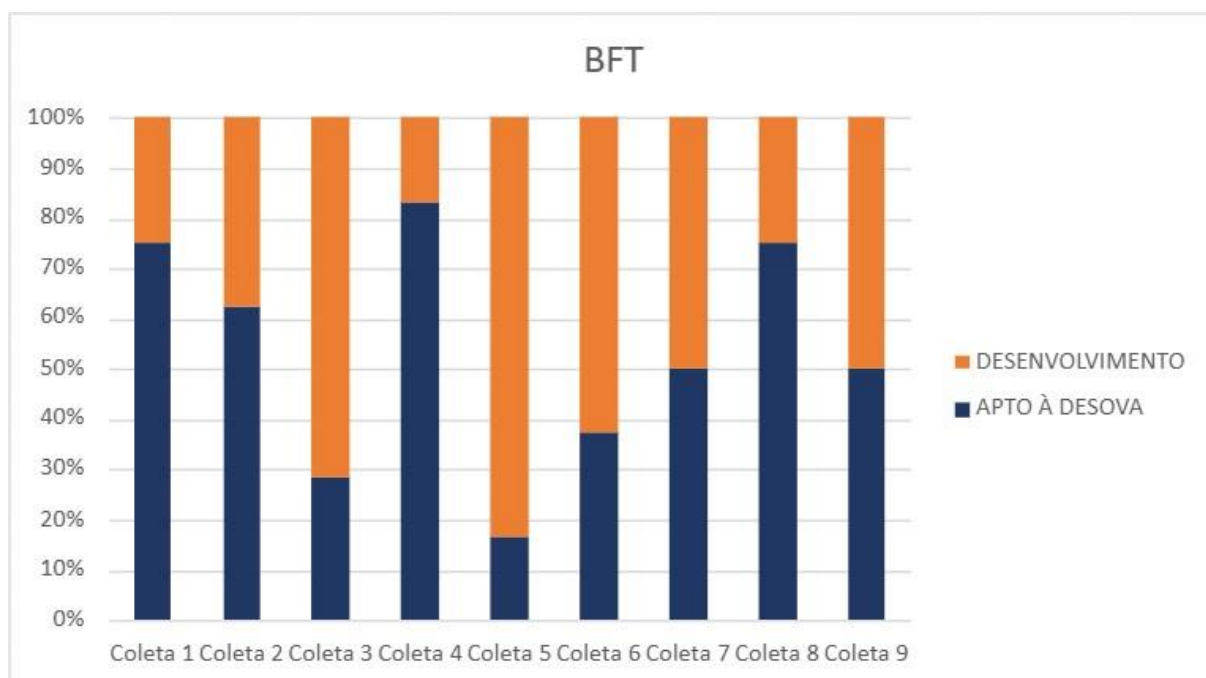
Diferença significativa entre os sistemas de cultivo nas coletas 1 e 5 ( $P < 0,05$ ).

A análise histológica dos ovários permitiu identificar dois estágios de desenvolvimento gonadal durante o experimento: em desenvolvimento e apto à desova (Tabela 1). Em ambos os sistemas de cultivo foi observada alternância entre esses estágios ao longo das nove coletas, indicando que as fêmeas permaneceram reprodutivamente ativas durante todo o período experimental.

No sistema BFT (Figura 9), verificou-se variação na frequência dos estágios gonadais entre as coletas, com predominância do estágio apto à desova nas coletas 1, 2, 4 e 8, enquanto nas demais avaliações ocorreu maior participação de fêmeas classificadas como em desenvolvimento. Esse padrão demonstra que as fêmeas mantiveram atividade reprodutiva durante todo o período experimental, embora com oscilações na proporção dos estágios gonadais.

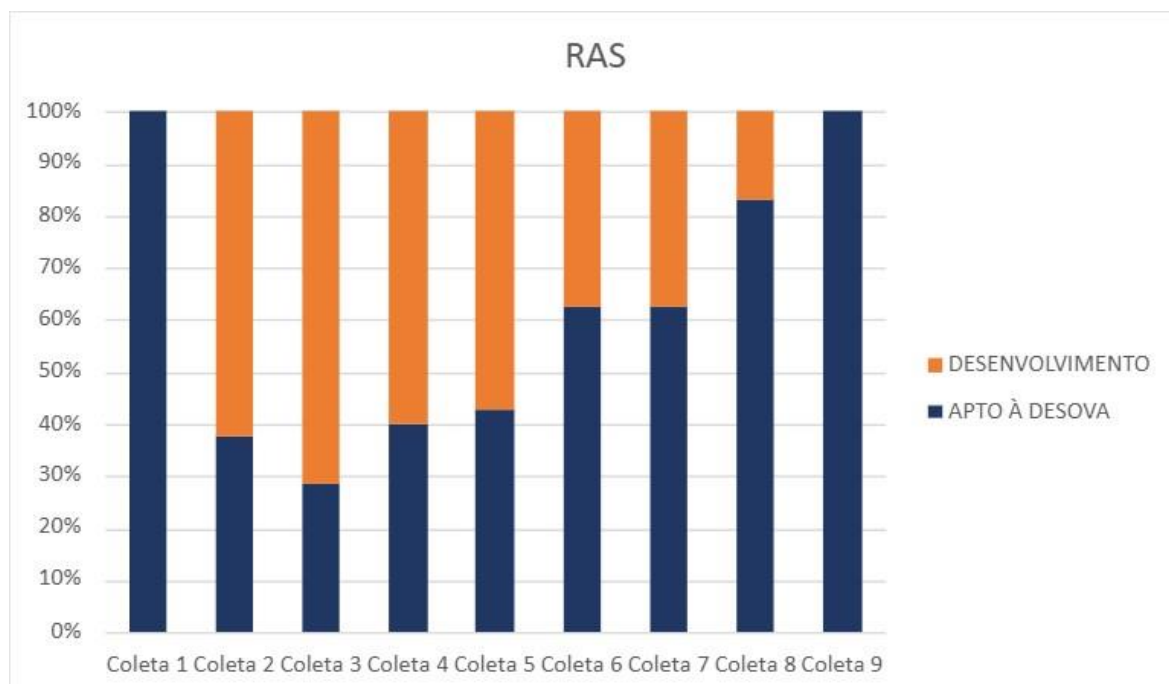
No sistema RAS (Figura 10), também foi observada alternância entre os dois estágios de desenvolvimento gonadal. Entretanto, verificou-se predominância do estágio apto à desova em maior número de coletas, destacando-se especialmente as coletas 1, 8 e 9, nas quais a maioria das fêmeas apresentou ovários compatíveis com maturação avançada.

Figura 9- Percentual de fêmeas de *Astyanax lacustris* classificadas nos estágios desenvolvimento e apto à desova durante as nove coletas no sistema BFT



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

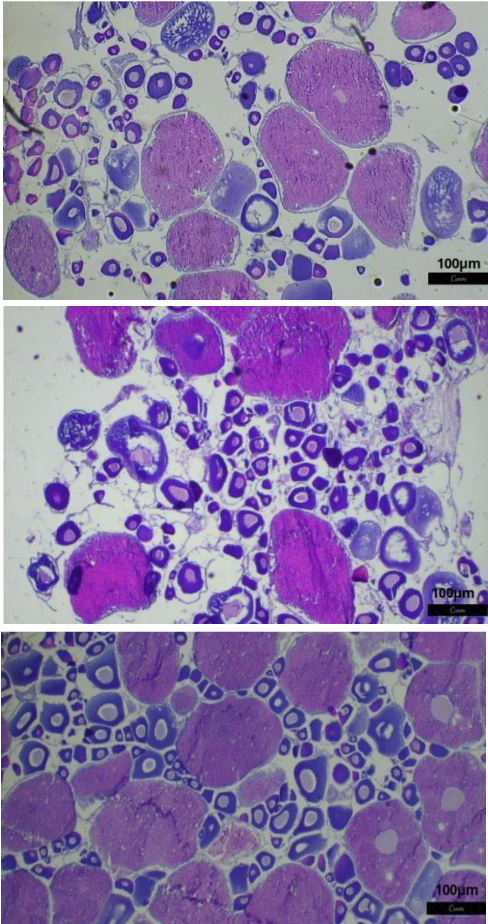
Figura 10- Percentual de fêmeas de *Astyanax lacustris* classificadas nos estágios desenvolvimento e apto à desova durante as nove coletas no sistema RAS



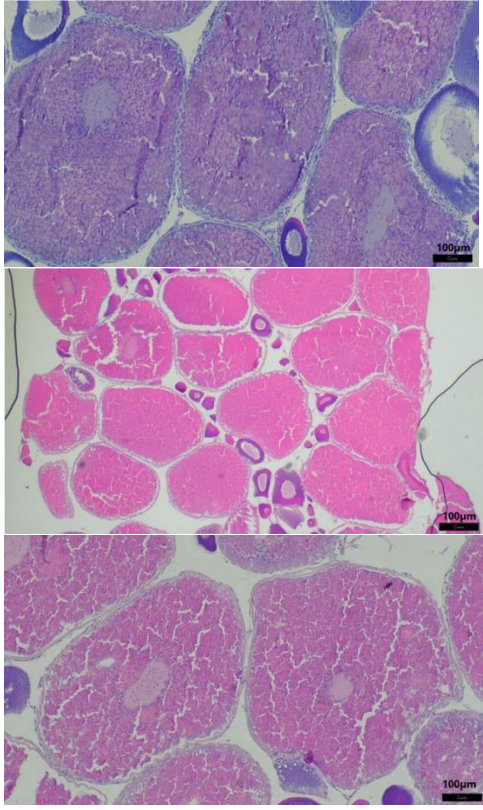
Fonte: Elaborado pela autora (2026).

As características histológicas observadas para cada estágio encontram-se apresentadas na Tabela 2. O estágio em desenvolvimento foi caracterizado pela presença de ovócitos em diferentes fases de crescimento, incluindo ovócitos em crescimento primário, secundário e vitelogênicos, evidenciando intensa atividade ovariana. Já o estágio apto à desova apresentou predominância de ovócitos vitelogênicos completamente desenvolvidos, com elevado acúmulo de vitelo e maior diâmetro celular, indicando maturação ovariana completa e aptidão para a desova.

Tabela 2- Características histológicas e fotomicrografias representativas dos estágios de desenvolvimento gonadal das fêmeas de *Astyanax lacustris*

| ESTÁGIO GONADAL | CARACTERÍSTICAS HISTOLÓGICAS                                                                                                                                                                                                                                    | FOTOMICROGRAFIAS                                                                    |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| DESENVOLVIMENTO | Ovócitos em diferentes fases de crescimento (ovócitos em crescimento primário, secundário e totalmente desenvolvidos), com aumento progressivo do diâmetro celular e deposição de vitelo em diferentes intensidades, indicando maturação ovariana em andamento. |  |



|                      |                                                                                                                                                                                         |                                                                                     |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>APTO À DESOVA</p> | <p>Predominância de ovócitos vitelogênicos totalmente desenvolvidos, com intenso acúmulo de vitelo e grande diâmetro celular, indicando maturação completa e aptidão para a desova.</p> |  |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|

Fonte: Elaborado pela autora (2026).



## 5. DISCUSSÃO

A comparação entre os sistemas de recirculação aquícola (RAS) e bioflocos (BFT) demonstrou que ambos foram capazes de proporcionar condições adequadas para o crescimento e o desenvolvimento reprodutivo das fêmeas de *Astyanax lacustris*. A ausência de diferenças significativas para a maioria dos parâmetros biométricos e reprodutivos ao longo do período experimental sugere que os dois sistemas mantiveram condições ambientais suficientemente estáveis para atender às exigências fisiológicas da espécie. Esses resultados corroboram com estudos que demonstram a eficiência tanto do RAS quanto do BFT na manutenção da qualidade da água e na redução de fatores estressantes, favorecendo o desempenho zootécnico de peixes cultivados (Timmons & Ebeling, 2013; Avnimelech, 2012).

Em relação ao crescimento corporal, o comprimento padrão não diferiu entre os sistemas durante todo o período experimental, indicando que as condições de cultivo foram igualmente favoráveis ao desenvolvimento somático das fêmeas. Embora tenha sido observada diferença significativa para o peso corporal na terceira coleta, com maiores valores no sistema RAS, esse comportamento não se manteve nas avaliações subsequentes, sugerindo que essa diferença representa uma variação pontual e não um efeito consistente do sistema de cultivo. Variações temporárias dessa natureza podem estar relacionadas à variabilidade individual dos animais, ao estágio fisiológico das fêmeas ou ao redirecionamento de energia entre crescimento somático e desenvolvimento reprodutivo. Fernandes *et al.*, (2025) também observaram bom desempenho produtivo de *A. lacustris* em sistemas de recirculação, evidenciando que ambientes controlados proporcionam condições adequadas para o crescimento da espécie.

Os parâmetros diretamente relacionados à reprodução, representados pelo peso das gônadas e pelo índice gonadossomático (IGS), apresentaram diferenças significativas apenas em momentos específicos do experimento, com maiores valores registrados no sistema RAS durante as coletas 1 e 5. O fato dessas diferenças não terem sido observadas em todas as avaliações indica que a influência do sistema de cultivo sobre o desenvolvimento gonadal não foi contínua, mas provavelmente dependente do estágio reprodutivo em que as fêmeas se encontravam. Em peixes teleósteos, o investimento energético destinado ao desenvolvimento das gônadas varia ao longo da ovogênese, podendo resultar em oscilações temporárias do peso gonadal e do IGS, mesmo quando os organismos são mantidos sob condições ambientais semelhantes (Tyler & Sumpter, 1996; Lubzens *et al.*, 2010).

O desenvolvimento gonadal dos peixes é fortemente influenciado pelas condições ambientais, uma vez que fatores como temperatura, fotoperíodo, qualidade da água e

disponibilidade de alimento atuam diretamente sobre o eixo hipotálamo-hipófise-gônadas, regulando os processos de vitelogênese, maturação dos ovócitos e desova (Zohar *et al.*, 2010; Migaud *et al.*, 2010). Nesse contexto, a tendência observada para maiores valores de peso gonadal e IGS no sistema RAS pode estar relacionada à elevada estabilidade ambiental proporcionada por esse sistema, que permite maior controle dos parâmetros físico-químicos da água. Entretanto, considerando que essas diferenças ocorreram apenas em duas coletas e que não houve um padrão consistente ao longo do experimento, os resultados indicam que tanto o RAS quanto o BFT forneceram condições adequadas para o desenvolvimento reprodutivo das fêmeas.

Além disso, a ausência de diferenças reprodutivas expressivas entre os sistemas pode estar relacionada à capacidade da tecnologia de bioflocos em manter a qualidade da água por meio da assimilação microbiana dos compostos nitrogenados. A manipulação da relação carbono:nitrogênio promove o crescimento de bactérias heterotróficas capazes de converter compostos nitrogenados potencialmente tóxicos em biomassa microbiana, reduzindo a concentração de amônia e contribuindo para a estabilidade do ambiente de cultivo (Avnimelech, 2012). Dessa forma, embora utilizem mecanismos distintos para o controle da qualidade da água, tanto o RAS quanto o BFT parecem ter proporcionado condições ambientais compatíveis com a manutenção da atividade reprodutiva de *A. lacustris*.

A análise histológica revelou apenas dois estágios de desenvolvimento gonadal ao longo do experimento: "em desenvolvimento" e "apto à desova". A ocorrência desses estágios está de acordo com o padrão descrito para teleósteos, nos quais o desenvolvimento ovariano ocorre de forma progressiva, envolvendo sucessivas fases de crescimento e maturação dos ovócitos (Tyler & Sumpter, 1996; Lubzens *et al.*, 2010). Entretanto, mais do que confirmar esse padrão, os resultados histológicos demonstram que as fêmeas permaneceram reprodutivamente ativas durante todo o período experimental, independentemente do sistema de cultivo utilizado.

A presença simultânea de ovócitos em diferentes fases de desenvolvimento no interior do mesmo ovário reforça o padrão de desenvolvimento ovariano característico de espécies com desova parcelada, como ocorre em diversos representantes da família Characidae. Essa organização permite que diferentes lotes de ovócitos completem a maturação em momentos distintos, possibilitando múltiplos eventos reprodutivos ao longo da estação de reprodução (Brown-Peterson *et al.*, 2011; de Jesus-Silva *et al.*, 2018). A manutenção desse padrão tanto no

sistema RAS quanto no BFT indica que nenhum dos sistemas comprometeu a dinâmica natural do desenvolvimento ovariano da espécie.

Sob uma perspectiva aplicada, os resultados obtidos apresentam importante relevância para a aquicultura de espécies nativas. O desenvolvimento de protocolos reprodutivos eficientes depende da manutenção de condições ambientais capazes de favorecer a maturação gonadal e a produção de gametas de qualidade. Nesse sentido, os resultados demonstram que tanto o RAS quanto o BFT constituem alternativas viáveis para a manutenção de reprodutores de *A. lacustris*, permitindo o adequado desenvolvimento ovariano e oferecendo flexibilidade para diferentes modelos de produção.

Em conjunto, os resultados deste estudo demonstram que ambos os sistemas de cultivo foram eficientes para sustentar o crescimento corporal e o desenvolvimento gonadal das fêmeas de *A. lacustris*. Embora o sistema RAS tenha apresentado vantagens pontuais para o peso das gônadas e o índice gonadossomático em momentos específicos do ciclo experimental, essas diferenças não foram suficientes para caracterizar um efeito consistente sobre a reprodução da espécie. Assim, os achados sugerem que tanto o sistema de recirculação aquícola quanto a tecnologia de bioflocos apresentam potencial para utilização na manutenção de reprodutores de *A. lacustris*, contribuindo para o aprimoramento de programas de reprodução em cativeiro e para o fortalecimento da piscicultura de espécies nativas.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo demonstrou que tanto o sistema de recirculação aquícola (RAS) quanto a tecnologia de bioflocos (BFT) proporcionaram condições adequadas para o crescimento e o desenvolvimento gonadal de fêmeas de *Astyanax lacustris*. A ausência de diferenças significativas para a maior parte dos parâmetros biométricos e reprodutivos indica que ambos os sistemas foram capazes de manter condições ambientais compatíveis com o desenvolvimento da espécie ao longo do período experimental.

Embora tenham sido observadas diferenças pontuais para o peso corporal, o peso gonadal e o índice gonadossomático, com valores superiores no sistema RAS em algumas coletas, esses resultados não evidenciaram um efeito consistente do sistema de cultivo sobre o desenvolvimento reprodutivo das fêmeas. A análise histológica corroborou essa interpretação ao demonstrar que ambos os sistemas sustentaram a progressão normal do desenvolvimento ovariano, com a ocorrência dos estágios "em desenvolvimento" e "apto à desova" durante o experimento.

Assim, os resultados indicam que tanto o RAS quanto o BFT constituem alternativas viáveis para a manutenção de reprodutores de *A. lacustris*. Entretanto, a tendência de maiores valores de peso gonadal e índice gonadosomático observada no RAS sugere que esse sistema pode favorecer o desenvolvimento reprodutivo em momentos específicos do ciclo gonadal, aspecto que merece investigação em estudos futuros.

Os resultados deste trabalho contribuem para ampliar o conhecimento sobre a influência de diferentes sistemas de cultivo na reprodução de espécies nativas, fornecendo informações que poderão subsidiar o aperfeiçoamento de protocolos de manejo reprodutivo e fortalecer o desenvolvimento de tecnologias voltadas à piscicultura sustentável para o semiárido brasileiro. Além disso, por se tratar de uma espécie nativa amplamente distribuída nas bacias hidrográficas brasileiras e de crescente interesse para a aquicultura, o aprimoramento das técnicas de cultivo de *Astyanax lacustris* pode contribuir para a diversificação da produção aquícola regional, reduzindo a dependência de espécies exóticas e incentivando o uso sustentável dos recursos pesqueiros locais. No contexto do semiárido, esses avanços são especialmente relevantes por favorecerem a consolidação de sistemas de produção mais eficientes, adaptados às limitações hídricas da região e capazes de fortalecer a piscicultura como alternativa de geração de renda e desenvolvimento regional.

Recomenda-se que estudos futuros avaliem períodos experimentais mais longos, diferentes relações carbono:nitrogênio, densidades de estocagem e indicadores adicionais da qualidade dos gametas, permitindo compreender de forma mais abrangente os efeitos do BFT e do RAS sobre a reprodução de *A. lacustris*.

## 7. REFERÊNCIAS

- AVNIMELECH, Y. *Biofloc technology: a practical guide book*. 2. Ed. Baton Rouge: The World Aquaculture Society, 2012.
- BAEK, S. I.; JI, S. C.; CHO, J.-H. Reproductive cycle of cultured chub mackerel (*Scomber japonicus*) in a land-based tank system in Jeju Island, Korea. *Frontiers in Marine Science*, v. 12, 2025. <https://doi.org/10.3389/fmars.2025.1617181>.
- BRANDÃO, H.; LANGE, D.; BLANCO, D. R.; RAMOS, I. P.; SOUSA, J. Q.; NOBILE, A. B.; CARVALHO, E. D. Fish-food interaction network around cage fish farming in a neotropical reservoir. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 33, e18, 2021. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X10919>.
- BROWN-PETERSON, N. J.; WYANSKI, D. M.; SABORIDO-REY, F.; MACEWICZ, B. J.; LOWERRE-BARBIERI, S. K. A standardized terminology for describing reproductive development in fishes. *Marine and Coastal Fisheries*, v. 3, n. 1, p. 52-70, 2011. <https://doi.org/10.1080/19425120.2011.555724>.
- CALIXTO, E.; SANTOS, D. B.; LANGE, D.; GALDIANO, M. S.; RAHMAN, I. Aquaculture in Brazil and worldwide: overview and perspectives. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v. 5, n. 1, p. 98-107, 2020. <https://doi.org/10.24221/jeap.5.1.2020.2753.098-107>.
- CARVALHO, I. F. S.; CANTANHÊDE, L. G.; DINIZ, A. L. C.; CARVALHO-NETA, R. N. F.; ALMEIDA, Z. S. Reproductive biology of seven fish species of commercial interest at the Ramsar site in the Baixada Maranhense, Legal Amazon, Brazil. *Neotropical Ichthyology*, v. 19, n. 2, e200067, 2021. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2020-0067>.
- CRAB, R.; DEFOIRDT, T.; BOSSIER, P.; VERSTRAETE, W. Biofloc technology in aquaculture: beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*, v. 356–357, p. 351–356, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.046>.
- DE JESUS-SILVA, L. M.; DE OLIVEIRA, P. V.; DA SILVA RIBEIRO, C.; NINHAUSSILVEIRA, A.; VERÍSSIMO-SILVEIRA, R. Ovarian cycle in *Devario aequipinnatus* with emphasis on oogenesis. *Zygote*, v. 26, n. 2, p. 168-176, 2018. <https://doi.org/10.1017/S0967199418000060>.

EMERENCIANO, M.; GAXIOLA, G.; CUZON, G. Biofloc Technology (BFT): a review for aquaculture application and animal food industry. In: MATOVIC, M. D. (ed.). *Biomass Now: Cultivation and Utilization*. Rijeka: InTech, 2013. P. 301-328.

FAO. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2024.

FERNANDES, E. J.; SOUZA, J. C. S.; MOURA, L. A.; SILVA, N. J.; LEITE, V. R.; SOUZA, A. M. L.; NASCIMENTO, N. F. Stocking densities on the reproduction of lambari (*Astyanax lacustris*) in a recirculating aquaculture system, with considerations on growth and water quality. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 77, n. 5, 2025. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-13469>.

GARCIA, Y. *Biologia reprodutiva e genética de Astyanax lacustris: avaliação da razão sexual em cultivo*. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2019.

KHANJANI, M. H.; SHARIFINIA, M.; EMERENCIANO, M. G. C. Biofloc Technology (BFT) in Aquaculture: What Goes Right, What Goes Wrong? A Scientific-Based Snapshot. *Aquaculture Nutrition*, 2024. <https://doi.org/10.1155/2024/7496572>.

KUBITZA, F. Aquicultura no Brasil: principais espécies, produção e perspectivas. *Panorama da Aquicultura*, 2015.

LUBZENS, E.; YOUNG, G.; BOBE, J.; CERDÀ, J. Oogenesis in teleosts: how fish eggs are formed. *General and Comparative Endocrinology*, v. 165, n. 3, p. 367-389, 2010.

MARTINS, C. I. M.; EDING, E. H.; VERDEGEM, M. C. J.; HEINSBROEK, L. T. N.; SCHNEIDER, O.; BLANCHETON, J. P.; ROQUE D'ORBCASTEL, E.; VERRETH, J. A. J. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: a perspective on environmental sustainability. *Aquacultural Engineering*, v. 43, n. 3, p. 83–93, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2010.09.002>.

MECHALY, A. S.; AWRUCH, C. A.; CABRITA, E.; COSTAS, B.; FERNANDES, J. M. O.; GALLEGU, V.; HIRT-CHABBERT, J. A.; KONSTANTINIDIS, I.; OLIVERA, C.; RAMOS-JÚDEZ, S.; RAMOS-PINTO, L.; FATSINI, E. *Cutting-Edge Methods in Teleost and Chondrichthyan Reproductive Biology*. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, v. 33, p. 77-112, 2024. <https://doi.org/10.1080/23308249.2024.2377999>.

MIGAUD, H.; DAVIE, A.; TAYLOR, J. F. Current knowledge on the photoneuroendocrine regulation of reproduction in temperate fish species. *Journal of Fish Biology*, v. 76, n. 1, p. 27-68, 2010.

NEVES, J. B.; GUBIANI, É. A.; SILVA, P. R. L.; BAUMGARTNER, D.; BAUMGARTNER, G. Reproduction of fishes of the Verde River, upper Paraná River Basin, Brazil. *Revista de Biología Tropical*, v. 68, n. 3, p. 833–846, 2020. DOI: <https://doi.org/10.15517/rbt.v68i3.40411>.

NISAR, U.; PENG, D.; SUN, Y. Biofloc technology as a sustainable aquaculture production system: a review. *Aquaculture Reports*, v. 24, 2022.

SCHULZ, R. W.; DE FRANÇA, L. R.; LAREYRE, J.-J.; LE GAC, F.; CHIARINI-GARCIA, H.; NOBREGA, R. H.; MIURA, T. Spermatogenesis and oogenesis in teleost fishes. *General and Comparative Endocrinology*, v. 165, n. 3, p. 390–411, 2010.

TIMMONS, M. B.; EBELING, J. M. *Recirculating Aquaculture*. 3. Ed. Ithaca: Cayuga Aqua Ventures, 2013.

TYLER, C. R.; SUMPTER, J. P. Oocyte growth and development in teleosts. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, v. 6, p. 287-318, 1996.

VASCONCELOS, V. M. DE; MORAIS, E. R. C. DE; FAUSTINO, S. J. B.; HERNANDEZ, M. C. R.; GAUDÊNCIO, H. R. S. C.; MELO, R. R. DE; BESSA JUNIOR, A. P. Floating aquatic macrophytes for the treatment of aquaculture effluents. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, n. 3, p. 2600–2607, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11356-02011308-8>.

VAZZOLER, A. E. A. M. *Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática*. Maringá: EDUEM, 1996.

VERDEGEM, M. C. J.; BUSCHMANN, A. H.; LATT, U. W.; DALSGAARD, A. J. T.; LOVATELLI, A. The contribution of aquaculture systems to global aquaculture production. *Journal of the World Aquaculture Society*, v. 54, n. 2, p. 206–250, 2023. <https://doi.org/10.1111/jwas.12963>.

YU, Y.-B.; CHOI, J.-H.; LEE, J.-H.; JO, A.-H.; LEE, K. M.; KIM, J.-H. Biofloc technology in fish aquaculture: a review. *Antioxidants*, v. 12, n. 2, art. 398, 2023. DOI: 10.3390/antiox12020398.

ZOHAR, Y.; MUÑOZ-CUETO, J. A.; ELIZUR, A.; KAH, O. Neuroendocrinology of reproduction in teleost fish. *General and Comparative Endocrinology*, v. 165, n. 3, p. 438455, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2009.04.017>.