



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

RENATA HELEN SILVA CORREIA

CARACTERIZAÇÃO GONADAL DE MACHOS DE *Astyanax lacustris*
MANTIDOS EM SISTEMAS DE RECIRCULAÇÃO (RAS) E BIOFLOCOS (BFT)

SERRA TALHADA – PE

2026

CARACTERIZAÇÃO GONADAL DE MACHOS DE *Astyanax lacustris* MANTIDOS
EM SISTEMAS DE RECIRCULAÇÃO (RAS) E BIOFLOCOS (BFT)

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

C824c Correia, Renata Helen Silva.
Caracterização gonadal de machos de *Astyanax lacustris* mantidos em sistemas de recirculação (RAS) e bioflocos (BFT) / Renata Helen Silva Correia. – Serra Talhada, 2026.
48 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.

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

CDD 574

RENATA HELEN SILVA CORREIA

CARACTERIZAÇÃO GONADAL DE MACHOS DE *Astyanax lacustris* MANTIDOS
EM SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO (RAS) E BIOFLOCOS (BFT)

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.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Nivaldo Ferreira do Nascimento (Orientador e 1º examinador) -
UFRPE/UAST

Profa. Dra. Cleonice Cristina Hilbig (Titular Interna e 2º examinadora) -
UFRPE/UAST

Profa. Dra. Ana Luiza da Silva (Titular Interna e 3º examinadora) - UFRPE/UAST

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente à minha mãe, a parceira mais preciosa que tenho nessa vida, a mulher que me conhece por inteiro, em todas as minhas versões. Obrigada por não soltar minha mão em nenhum momento sequer, sempre me mostrando sua fé nos momentos mais difíceis e me puxando de volta para perto de Deus. Espero que um dia eu consiga ser, pelo menos, metade do que você é para mim.

As minhas amigas de longa data, Sara, por se tornar minha irmã nesses anos e dividir as preocupações da vida comigo. Por todos os momentos bons e ruins que passamos juntas na experiência de morar sozinhas (juntas) pela primeira vez. E Bia, por todas as conversas e ligações longas nos momentos difíceis, todos os cafés da tarde e passeios pelo centro na nossa cidade, sempre fazendo questão de estar presente.

Aos presentes que a UAST me deu, meus amigos. Jarina, por ser ácida nos momentos certos e tornar tudo mais engraçado. Gabe, por seus trejeitos únicos, sempre rendendo boas risadas. Layres, por todas as histórias vividas na monitoria em Itamaracá e pela companhia. Ângelo, por expandir meus horizontes e pelas conversas mais absurdas possíveis. João e Lara, por aparecerem e desaparecerem dos nossos rolês aleatórios, mas nunca deixarem de fazer parte deles.

Às minhas primas, Bel e Dani, pelo carinho e por sempre me incluírem em tudo quando estou em casa. E Andinho que me incentivou a ingressar neste curso.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, em especial à Unidade Acadêmica de Serra Talhada, por toda a formação e experiências que contribuíram para o meu crescimento acadêmico. Ao Campus POP Mar por me proporcionar aprendizados que ultrapassaram a sala de aula e pelas vivências em Itamaracá.

Ao Núcleo de Biotecnologia e Reprodução (NUBIOR), minha segunda casa durante esses anos e ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), pela bolsa concedida, fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao meu orientador, professor Nivaldo, pela confiança, pelos ensinamentos, por toda a orientação e todas as confraternizações nesses anos. Também ao professor Samuel e à professora Cleonice, pela disponibilidade e pela ajuda na confecção e análise das lâminas histológicas, fundamentais para a realização deste trabalho.

RESUMO

O lambari (*Astyanax lacustris*) destaca-se como uma espécie nativa de importância ecológica, econômica e aquícola, sendo amplamente utilizada como modelo em estudos sobre reprodução de peixes. Entretanto, ainda são escassas as informações sobre os efeitos de diferentes sistemas de cultivo intensivo no desenvolvimento gonadal de machos da espécie. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo caracterizar o desenvolvimento gonadal de machos de *A. lacustris* mantidos em sistema de recirculação de água (RAS) e bioflocos (BFT). A estrutura dos sistemas foi montada com 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. Após 30 dias de aclimação foram realizadas sete coletas quinzenais ao longo do experimento, sendo retirados 8 machos de cada grupo (2 por caixa) selecionados de forma aleatória para análises biométricas, determinação do peso gonadal, cálculo do índice gonadossomático (IGS) e caracterização histológica das gônadas. As análises biométricas demonstraram comportamento semelhante entre os sistemas para comprimento padrão, comprimento total e peso corporal na maior parte do experimento. Diferenças significativas foram observadas para o peso gonadal e o IGS em coletas específicas, com maiores valores registrados para os animais mantidos em RAS. A análise histológica revelou que ambos os sistemas mantiveram a atividade reprodutiva dos machos, evidenciada pela presença contínua de células germinativas em diferentes fases da espermatogênese. Entretanto, o RAS apresentou maior uniformidade no desenvolvimento gonadal, com predominância do estágio apto intermediário, enquanto o BFT apresentou maior diversidade de fases reprodutivas. Conclui-se que ambos os sistemas são capazes de manter a atividade reprodutiva de machos de *A. lacustris*, embora promovam diferenças na dinâmica do desenvolvimento gonadal, fornecendo informações relevantes para o manejo reprodutivo da espécie em sistemas intensivos de cultivo.

Palavras-chave: Aquicultura; Espermatogênese; Lambari-do-rabo-amarelo; Piaba.

ABSTRACT

The lambari (*Astyanax lacustris*) stands out as a native species of ecological, economic, and aquacultural importance, being widely used as a model in studies on fish reproduction. However, information regarding the effects of different intensive farming systems on the gonadal development of males of this species remains scarce. In this context, the present study aimed to characterize the gonadal development of male *A. lacustris* reared in a recirculating aquaculture system (RAS) and a biofloc technology system (BFT). The experimental setup consisted of four 500-liter tanks per treatment group, with 100 fish stocked per tank (50 females and 50 males). Each system was operated independently, with separate recirculation, heating, and aeration units. After a 30-day acclimation period, seven biweekly samplings were carried out throughout the experiment; at each sampling, 8 males were randomly selected from each group (2 per tank) for biometric analyses, gonadal weight determination, calculation of the gonadosomatic index (GSI), and histological characterization of the gonads. Biometric analyses showed similar patterns between the two systems for standard length, total length, and body weight during most of the experimental period. Significant differences were observed for gonadal weight and GSI at specific sampling times, with higher values recorded for fish kept in RAS. Histological analysis confirmed that both systems supported reproductive activity in males, evidenced by the continuous presence of germ cells at different stages of spermatogenesis. Nonetheless, RAS showed greater uniformity in gonadal development, with a predominance of the intermediate maturation stage, whereas BFT displayed a wider diversity of reproductive stages. It is concluded that both systems are capable of maintaining reproductive activity in male *A. lacustris*, although they lead to differences in the dynamics of gonadal development. These findings provide relevant information for the reproductive management of this species in intensive farming systems.

Keywords: Aquaculture; Spermatogenesis; Yellow-tailed tetra; Piaba.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização do Núcleo de Biotecnologia e Reprodução na Unidade Acadêmica de Serra Talhada da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UAST/UFRPE).....	24
Figura 2 - Local da estufa experimental com os sistemas de cultivo. (A) Estufa com os dois sistemas de cultivo; (B) Sistema RAS; (C) Sistema BFT	25
Figura 3 - Coleta dos dados biométricos de <i>Astyanax lacustris</i> . (A) Comprimento total; (B) Peso corporal.....	26
Figura 4 - Processo de retirada das gônadas de <i>Astyanax lacustris</i> . (A) Gônadas sendo retiradas; (B) Gônadas masculinas	27
Figura 5 - Processo manual de desidratação. (A) Cassetes etiquetados para receber as amostras; (B) Níveis crescentes de etanol para processo de desidratação das amostras.....	28
Figura 6 - Processo de confecção das lâminas histológicas. (A) Fita formada com micrótomo; (B) Utilização de babosa para fixação da amostra na lâmina; (C) Técnica para pesca da amostra; (D) Amostra fixa na lâmina	29
Figura 7 - Processo de coloração das lâminas histológicas. (A) Capela com todas as etapas de coloração; (B) Lâminas coradas	30
Figura 8 - Peso corporal dos machos de <i>Astyanax lacustris</i> mantidos em RAS e BFT ao longo do experimento	32
Figura 9 - Comprimento padrão dos machos de <i>Astyanax lacustris</i> mantidos em RAS e BFT ao longo do experimento.....	33
Figura 10 - Peso gonadal dos machos de <i>Astyanax lacustris</i> mantidos em RAS e BFT ao longo do experimento	34
Figura 11 - Índice gonodossomático dos machos de <i>Astyanax lacustris</i> mantidos em RAS e BFT ao longo do experimento.....	35
Figura 12 - Gráfico de distribuição das fases reprodutivas encontradas nos machos de <i>Astyanax lacustris</i> mantidos em RAS.....	36
Figura 13 - Gráfico de distribuição das fases reprodutivas encontradas nos machos de <i>Astyanax lacustris</i> mantidos em BFT	36
Figura 14 - Lâminas histológicas das gônadas de machos de <i>Astyanax lacustris</i> mantidos no sistema BFT, evidenciando diferentes fases e subfases do desenvolvimento testicular	37
Figura 15 - Lâminas histológicas das gônadas de machos de <i>Astyanax lacustris</i> mantidos no sistema BFT, evidenciando diferentes fases e subfases do desenvolvimento testicular	40

LISTA ABREVIATURAS E SIGLAS

BFT	Tecnologia de Bioflocos (do inglês <i>Biofloc Technology</i>)
EG	Epitélio Germinativo
EGC	Epitélio Germinativo Contínuo
EGD	Epitélio Germinativo Descontínuo
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (do inglês <i>Food and Agriculture Organization</i>)
IGS	Índice Gonadossomático
RAS	Sistema de Recirculação Aquícola (do inglês <i>Recirculating Aquaculture System</i>)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA	14
2.1 Aquicultura e sustentabilidade	14
2.2 Sistema de recirculação aquícola (RAS).....	14
2.3 Tecnologia de bioflocos (BFT)	15
2.4 Espécie: Lambari do rabo amarelo (<i>Astyanax lacustris</i>)	16
2.5 Fisiologia reprodutiva e desenvolvimento gonadal em peixes	17
2.6 Histologia testicular em teleósteos.....	19
2.7 Estágios de maturação testicular em teleósteos.....	20
2.8 Influência dos sistemas de cultivo na reprodução de peixes	22
3. METODOLOGIA	24
3.1 Aspectos éticos da pesquisa.....	24
3.2 Delineamento experimental e manutenção dos peixes.....	24
3.3 Coleta de material biológico para Histologia	26
4.3.1 Análises morfométricas lineares	26
3.3.2 Coleta das gônadas	27
3.4 Processamento Histológico.....	27
3.5 Análise das gônadas.....	30
4. RESULTADOS.....	32
4.1 Desempenho Zootécnico	32
4.2 Índice Gonadossomático.....	34
4.3 Distribuição dos Estágios Gonadais	35
5. DISCUSSÃO	42
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47

1. INTRODUÇÃO

A aquicultura tem desempenhado um papel fundamental na produção sustentável de pescado, especialmente em regiões onde as condições ambientais impõem desafios à criação de espécies nativas (FAO, 2024). O aumento da demanda por proteína de origem aquática tem impulsionado o desenvolvimento de sistemas produtivos mais eficientes, sustentáveis e capazes de reduzir impactos ambientais, ocasionados pelos sistemas de produção intensivos (Campanati *et al.*, 2022). Em destaque temos os sistemas de recirculação aquícola (*Recirculating Aquaculture System* – RAS) e a tecnologia de bioflocos (*Biofloc Technology* – BFT), ambos caracterizados pelo uso racional da água e pelo controle intensivo das condições ambientais de cultivo (Wang *et al.*, 2024).

Neste contexto, atualmente a piscicultura é vista como uma estratégia para fonte de proteína de qualidade e micronutrientes para a segurança alimentar global, pois peixes de cultivo fornecem proteína, ácidos graxos como ômega-3, vitaminas e minerais importantes para combater a fome e a desnutrição, especialmente em países de baixa renda (Mantovani, Ferrari & Frazzoli, 2015; Mohanty *et al.*, 2017). Estudos recentes destacam que os alimentos aquáticos além de contribuir para o fornecimento de proteína, também previnem a redução de deficiências nutricionais, especialmente em populações vulneráveis (Golden *et al.*, 2021).

O RAS caracteriza-se pela reutilização contínua da água, em uma recirculação que aproveita 100% da água, permitindo reduzir até 99% o consumo hídrico em comparação a sistemas convencionais, mantendo um ambiente altamente controlado e estável, no que tange a qualidade de água, trazendo menor impacto ambiental (Vinatea-Arana, 2003; Masun Beg *et al.*, 2024; Fernandes *et al.*, 2025). Por sua vez, o BFT favorece o crescimento de microrganismos em suspensão, que contribuem para a manutenção da qualidade da água e atuam como fonte nutricional suplementar para os peixes (Abakari, Lou & Kombat, 2021). Neste estudo, o melaço de cana de açúcar foi utilizado como a fonte de carbono e a ração como fonte de nitrogênio, para estimular o desenvolvimento dos flocos biológicos, promovendo o adequado balanço entre carbono:nitrogênio no sistema (Barbosa, 2017).

O *Astyanax lacustris*, popularmente conhecido como lambari do rabo

amarelo, que pertence à família Characidae é uma espécie neotropical de pequeno porte amplamente distribuída em ambientes de água doce da América do Sul, apresenta rápido crescimento, ciclo de vida curto e elevada adaptação ao cativeiro (Baldisserotto & Gomes, 2005), características que favorecem sua utilização em estudos experimentais e produção aquícola. Além disso, a espécie conta com uma alta taxa de comercialização para consumo humano e como isca viva na pesca esportiva (Fonseca *et al.*, 2022).

No que se refere a reprodução do lambari, esta ocorre de forma sazonal e é influenciada por variáveis ambientais como temperatura da água, fotoperíodo e disponibilidade de alimento (Súarez, Silva & Viana, 2017). No entanto em casos de peixes provenientes de aquicultura é essencial averiguar os parâmetros de qualidade de água, a fim de descobrir se esta encontra-se numa faixa ideal para a reprodução, pois se não estiver favorável pode ocorrer inibição no processo de maturação final, fazendo com que o hormônio liberador de gonodotrofinas (GnRh) iniba a liberação do hormônio folículo estimulante (FSH) e luteinizante (LH) (Sahadan *et al.*, 2021).

Nos machos, a caracterização gonadal permite compreender a organização estrutural do testículo e a dinâmica da espermatogênese, esse processo é altamente organizado e envolve proliferação, diferenciação e maturação das células germinativas sob regulação endócrina e suporte das células de Sertoli, sendo considerado de suma importância para o sucesso reprodutivo e para a eficiência produtiva em sistemas aquícolas (Schulz *et al.*, 2010).

Essas células desempenham funções essenciais na nutrição, sustentação e sincronização do desenvolvimento germinativo, ajudando a determinar a eficiência reprodutiva (Nóbrega, Batlouni & França, 2009). Estudos recentes demonstram que condições ambientais e sistemas de cultivo exercem influência direta sobre índices gonadais, qualidade seminal e desempenho reprodutivo em peixes cultivados (Lima *et al.*, 2025).

Para o *A. lacustris*, análises comparativas entre sistemas de BFT e RAS indicam que ambos são capazes de manter o funcionamento reprodutivo dos machos, embora algumas diferenças possam ocorrer nos parâmetros fisiológicos e na qualidade do sêmen, mostrando que há déficit e que existe a necessidade de investigações mais aprofundadas sobre a biologia gonadal em diferentes condições

de cultivo (Roque, 2025).

A tecnologia do bioflocos tem foco na manipulação da relação carbono:nitrogênio para estimular comunidades microbianas capazes de reciclar nutrientes e reduzir compostos nitrogenados tóxicos, promovendo suplementação nutricional natural aos peixes (Da Silva, Bezerra & Melo, 2022). Por outro lado, o sistema RAS utiliza filtragem mecânica e biológica contínua, onde as nitrobacters oxidam a amônia que é tóxica para os organismos presentes em nitrito e as nitossomonas fazem uma oxirredução de nitrito em nitrato, permitindo elevado controle ambiental e maior estabilidade dos parâmetros físico-químicos da água, fatores diretamente relacionados ao bem-estar e ao desempenho reprodutivo dos organismos cultivados (Liu *et al.*, 2020; Fernandes *et al.*, 2025). A comparação entre esses sistemas torna-se relevante para compreender como diferentes estratégias de manejo influenciam processos fisiológicos fundamentais, como a gametogênese.

Do ponto de vista científico, ainda existem lacunas relacionadas à resposta reprodutiva de espécies nativas mantidas em sistemas intensivos sustentáveis, principalmente quando relacionadas às alterações histológicas e funcionais das gônadas masculinas. Embora estudos recentes tenham avaliado desempenho zootécnico e parâmetros seminais em *A. lacustris*, a caracterização gonadal detalhada permanece limitada, impossibilitando uma compreensão mais ampla entre ambiente de cultivo e desenvolvimento reprodutivo (Lima *et al.*, 2025). Dessa forma, investigações nessa área contribuem para o avanço do conhecimento em fisiologia reprodutiva aplicada à aquicultura tropical.

A promoção de sistemas produtivos mais sustentáveis e eficientes tem relevância, pois são capazes de aumentar a produção de pescado com menor uso de recursos naturais e menor geração de efluentes (Goda *et al.*, 2024). Tecnologias como RAS e BFT favorecem a produção em regiões com restrição hídrica e reduzem impactos ambientais, contribuindo para segurança alimentar, geração de renda e fortalecimento da piscicultura regional (Wang *et al.*, 2024). Além disso, o desenvolvimento tecnológico aplicado a espécies nativas valoriza a biodiversidade brasileira e reduz impactos associados à utilização de espécies exóticas na aquicultura (Moraes *et al.*, 2017).

Diante disso, o presente estudo tem como objetivo avaliar a caracterização

gonadal de machos de *A. lacustris* mantidos em sistemas RAS e BFT, com foco na análise dos efeitos desses sistemas sobre o desenvolvimento reprodutivo da espécie. A compreensão desses aspectos é essencial para o aprimoramento das práticas de manejo reprodutivo e para a maximização da eficiência produtiva na aquicultura do lambari.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

2.1 Aquicultura e sustentabilidade

A aquicultura tem apresentado crescimento contínuo nas últimas décadas, se tornando uma das principais atividades responsáveis pelo aumento da produção mundial de pescado (MPA, 2025). Esse crescimento está associado à necessidade de suprir a demanda por proteína de alta qualidade nutricional, ao mesmo tempo em que busca reduzir a pressão sobre estoques naturais explorados pela pesca (Boyd, 2020).

Nesse contexto, a sustentabilidade tornou-se uma prioridade científica e tecnológica nos sistemas de cultivo aquícola, na busca de aumentar a eficiência produtiva sem comprometer os recursos naturais e a qualidade ambiental (Zhang *et al.*, 2024). Sendo reconhecida como uma importante alternativa para fortalecer sistemas alimentares mais resilientes e sustentáveis, contribuindo diretamente para a segurança nutricional e o desenvolvimento econômico (Koroma, Bundu & Alhassan, 2025).

Entre as principais estratégias para alcançar esse objetivo destacam-se os sistemas de cultivo de alta tecnologia, como os sistemas de recirculação aquícola (RAS) e a tecnologia de bioflocos (BFT). Esses sistemas são caracterizados pelo maior controle das variáveis ambientais, melhor aproveitamento da água e redução da descarga de efluentes, permitindo uma produção intensiva de organismos aquáticos em áreas menores e com maior biossegurança (Chen, Ling & Blancheton, 2006).

2.2 Sistema de recirculação aquícola (RAS)

Os sistemas de recirculação (RAS - *Recirculating Aquaculture Systems*) são baseados no reaproveitamento contínuo da água, por meio de processos de filtragem mecânica, biológica e, em alguns casos, química, que permitem a manutenção de condições adequadas para o cultivo de organismos aquáticos

(Tundisi & Tundisi, 2016; Li *et al.*, 2023). Nesse tipo de sistema, a água é continuamente tratada e reutilizada, reduzindo significativamente o consumo hídrico quando comparado aos sistemas tradicionais de cultivo (Boyd, 2020).

Um dos componentes essenciais do RAS é o biofiltro, responsável por converter compostos nitrogenados tóxicos, como amônia e nitrito, em formas menos prejudiciais aos peixes, por meio da ação de bactérias nitrificantes (Chen, Ling & Blancheton, 2006). Esse processo biológico contribui para a estabilidade da qualidade da água e possibilita uma maior densidade de estocagem, fator importante para a intensificação da produção aquícola (Jatobá & Silva, 2015).

O RAS ainda conta com um elevado controle ambiental que permite uma maior previsibilidade das condições de cultivo, influenciando diretamente nos aspectos fisiológicos e reprodutivos dos organismos cultivados (Dai, Chen & Li, 2025). Em sistemas bem manejados, a manutenção de parâmetros físico-químicos da água dentro de faixas adequadas, com mínima variação temporal, contribui para a redução do estresse e favorece o desempenho dos peixes. Nesse contexto, o controle rigoroso de variáveis como temperatura, oxigênio dissolvido e concentrações de compostos nitrogenados (amônia, nitrito e nitrato) é considerado essencial para promover o desenvolvimento gonadal e otimizar o desempenho reprodutivo de peixes mantidos em cativeiro (Boyd, 2020).

2.3 Tecnologia de bioflocos (BFT)

A tecnologia de bioflocos (BFT - *Biofloc Technology*) é um sistema de produção aquícola baseado na manipulação da relação carbono:nitrogênio na água de cultivo, com o objetivo de estimular o crescimento de comunidades microbianas benéficas (Avnimelech, 2015). A adição de uma fonte de carbono favorece a assimilação do nitrogênio inorgânico, especialmente amônia e nitrito, gerados a partir da decomposição de resíduos de ração, fezes e excretas dos organismos cultivados, convertendo esses compostos potencialmente tóxicos em biomassa de microrganismos (Abakari, Lou & Kombat, 2021). Essa biomassa forma agregados conhecidos como bioflocos, constituídos por bactérias, algas, protozoários e matéria orgânica particulada (Embrapa, 2014).

Além de contribuir para o controle da qualidade da água, os bioflocos podem atuar como fonte suplementar de alimento natural para os organismos cultivados, fornecendo proteínas, lipídios, vitaminas e outros nutrientes importantes para o

crescimento e desenvolvimento dos peixes (Avnimelech, 2015; Spica, 2025). Dessa forma, o sistema BFT apresenta potencial para reduzir custos com alimentação e aumentar a eficiência produtiva da aquicultura intensiva.

Outro aspecto relevante da tecnologia de bioflocos é a redução da necessidade de renovação de água durante o cultivo, característica que contribui para menor impacto ambiental e maior sustentabilidade da produção aquícola (Silva *et al.*, 2022). Entretanto, a elevada densidade de organismos e a alta atividade microbiológica presentes nesse sistema podem influenciar diversos processos fisiológicos dos peixes, incluindo o metabolismo, o balanço energético, a resposta ao estresse e a regulação endócrina, refletindo sobre o crescimento, o desenvolvimento gonadal e o desempenho reprodutivo (Yu *et al.*, 2025).

2.4 Espécie: Lambari do rabo amarelo (*Astyanax lacustris*)

Os lambaris pertencentes ao gênero *Astyanax* são amplamente distribuídos em ambientes de água doce da América do Sul, apresentando grande diversidade e importância ecológica nas comunidades de peixes neotropicais (Orsi, Carvalho & Foresti, 2004). Entre essas espécies, o *A. lacustris* tem recebido destaque crescente na piscicultura brasileira devido ao seu potencial produtivo e às características biológicas favoráveis ao cultivo (Castilho-Almeida, 2007).

A espécie é caracterizada por apresentar pequeno porte, hábito alimentar onívoro, elevada capacidade de adaptação a diferentes condições de cultivo e potencial reprodutivo ao longo de grande parte do ano. Além disso, estudos demonstram que a espécie apresenta bom desempenho tanto em sistemas de bioflocos (BFT) quanto em sistemas de recirculação de água (RAS), evidenciando elevada plasticidade e adaptação a ambos os sistemas de cultivo (Lima *et al.*, 2025).

A espécie apresenta pequeno porte, atingindo entre 10 e 15 cm de comprimento total e peso médio de aproximadamente 60 g, além de apresentar maturação sexual precoce. Existe dimorfismo sexual em relação ao tamanho corporal, sendo os machos menores, com comprimento variando entre 7 e 9 cm, enquanto as fêmeas alcançam entre 9 e 12 cm de comprimento (Baldisserotto & Gomes, 2005).

O *A. lacustris* é uma espécie de interesse econômico, sendo utilizada tanto para o consumo humano quanto para a produção de iscas vivas destinadas à pesca

esportiva (Baldisserotto & Gomes, 2005). Além dessas aplicações, a espécie desempenha papel relevante na aquicultura brasileira, contribuindo para a geração de renda em sistemas de produção de pequena e média escala, especialmente em empreendimentos familiares e regionais (Fonseca et al., 2022).

Outro aspecto que favorece a utilização do lambari em pesquisas científicas é sua facilidade de reprodução em cativeiro, característica que possibilita o desenvolvimento de estudos sobre fisiologia reprodutiva, manejo de reprodutores e aplicação de biotecnologias na aquicultura (Guerra Lira, 2015). Nesse contexto, a espécie tem se consolidado como um modelo experimental relevante para investigações relacionadas à reprodução de peixes neotropicais.

2.5 Fisiologia reprodutiva e desenvolvimento gonadal em peixes

A reprodução dos peixes teleósteos depende da interação entre mecanismos endócrinos, fisiológicos e fatores ambientais, que em conjunto regulam o desenvolvimento gonadal e a produção de gametas (Vazzoler, 1996; Honji *et al.*, 2020). Esse processo é controlado principalmente pelo eixo hipotálamo-hipófise-gônadas (HHG), que é responsável pela liberação de hormônios que regulam a gametogênese e a maturação sexual dos indivíduos (Zohar et al., 2010). A ativação desse eixo ocorre em resposta a estímulos ambientais, como a temperatura, o fotoperíodo e a disponibilidade alimentar, esses fatores são de suma importância para o ciclo reprodutivo em condições favoráveis a sobrevivência da prole (Baldisserotto & Gomes, 2010).

Nos machos, o desenvolvimento gonadal envolve o processo de espermatogênese, que ocorre nos testículos e resulta na formação de espermatozoides funcionais (Vazzoler, 1996). Os testículos de teleósteos apresentam organização tubular ou lobular, sendo compostos por túbulos seminíferos onde as células germinativas se desenvolvem em associação com células de Sertoli, responsáveis pelo suporte estrutural e nutricional ao longo do desenvolvimento celular (Schulz *et al.*, 2010). Durante a espermatogênese, as espermatogônias sofrem várias divisões mitóticas e meióticas, originando espermátócitos, espermátides e, posteriormente, espermatozoides maduros (Schulz *et al.*, 2010). Em espécies do gênero *Astyanax*, esses diferentes tipos celulares podem ser observados simultaneamente nos lóbulos seminíferos, refletindo o

padrão de espermatogênese contínua característico do grupo (Nascimento *et al.*, 2017).

A formação das gônadas pode ser dividida em diferentes estágios de maturação, geralmente classificados como imaturo, em desenvolvimento, apto a espermição, regressão e regeneração, essas fases são identificadas por meio de análises macroscópicas e histológicas das gônadas (Vazzoler, 1996; Honji, Araújo & Moreira, 2020). A avaliação histológica permite observar a predominância dos tipos celulares germinativos presentes, sendo uma ferramenta essencial para estudos de biologia reprodutiva e manejo de reprodutores em sistemas de cultivo (Brown-Peterson *et al.*, 2011; Alonso-Fernández *et al.*, 2011; Schulz *et al.*, 2010).

Além de fatores hormonais, o ambiente também tem forte influência sobre a fisiologia reprodutiva dos peixes (Lima *et al.*, 2025). Variáveis como qualidade da água, densidade de estocagem e disponibilidade nutricional podem afetar diretamente a produção espermática e o desenvolvimento gonadal (Boyd, 2020). Diante disso, é imprescindível uma averiguação mais detalhada, para que haja o controle desses fatores essenciais.

Em sistemas de cultivo intensivo, alterações nos parâmetros físico-químicos da água podem desencadear respostas fisiológicas adaptativas, influenciando tanto a taxa de maturação sexual quanto a qualidade dos gametas produzidos (Schreck *et al.*, 2001; Murugananthkumar *et al.*, 2022). No sistema de bioflocos (BFT), essas variações podem ser mais pronunciadas em decorrência da elevada atividade microbiológica e da dinâmica de formação e renovação dos bioflocos, que modificam continuamente a concentração de matéria orgânica, a biomassa microbiana e a disponibilidade de nutrientes na água (Said *et al.*, 2024; Debes *et al.*, 2021). Dessa forma, o monitoramento e o manejo adequado desses componentes são fundamentais para manter a estabilidade do sistema e garantir condições favoráveis ao desempenho reprodutivo dos peixes.

Em espécies neotropicais, como os lambaris do gênero *Astyanax*, a plasticidade reprodutiva representa uma característica importante, permitindo múltiplos ciclos reprodutivos ao longo do ano quando as condições ambientais são favoráveis (Orsi, Carvalho & Foresti, 2004). Essa estratégia reprodutiva está atrelada a adaptabilidade dessas espécies ao cativeiro, favorecendo sua utilização em estudos experimentais e na piscicultura (Guerra Lira, 2015).

2.6 Histologia testicular em teleósteos

Inicialmente Grier (1993) propôs a organização estrutural dos testículos em teleósteos em dois tipos principais, o testículo tubular anastomosado, onde os compartimentos germinativos são interligados, formando uma rede contínua e ramificada no interior do órgão, sem alcançar a sua periferia. Por outro lado, no tipo lobular, existem dois modelos: o irrestrito, presente em muitos caracídeos, incluindo representantes do gênero *Astyanax*, as espermatogônias estão distribuídas ao longo de todo o lóbulo testicular, permitindo produção contínua de espermatozoides durante o período reprodutivo (Orsi, Carvalho & Foresti, 2004). E o restrito onde observa-se nos lóbulos uma sequência organizada de células germinativas em diferentes estágios de desenvolvimento, com as espermatogônias localizadas na região periférica do testículo (Uribe, Grier & Mejía-Roa, 2014).

Os testículos dos teleósteos apresentam uma organização característica, geralmente em pares e de formato alongado, localizados na cavidade celômica e revestidos por uma túnica albugínea (Grier & Aranzabal, 1998). De modo geral, as gônadas são formadas por lóbulos seminíferos delimitados por tecido conjuntivo, onde ocorre o desenvolvimento das células germinativas masculinas em diferentes estágios de diferenciação (Schulz *et al.*, 2010; Branco *et al.*, 2025).

Nos teleósteos, a espermatogênese ocorre em unidades estruturais chamadas de cistos espermatogênicos, formados por células germinativas sincronizadas envolvidas por prolongamentos citoplasmáticos das células de Sertoli (Uribe, Grier & Mejía-Roa, 2014). Essas células desempenham papel essencial no suporte mecânico e metabólico das células germinativas, também participam da regulação hormonal local e na liberação dos espermatozoides no lúmen dos túbulos seminíferos (Schulz *et al.*, 2010).

O desenvolvimento espermatogênico tem início com as espermatogônias, que são consideradas células germinativas indiferenciadas, elas ficam localizadas na periferia dos lóbulos testiculares (Schulz, *et al.*, 2010). Podem ser classificadas em espermatogônias do tipo A, associadas à renovação celular, e espermatogônias do tipo B, que entram em divisão mitótica e originam os espermatócitos primários e depois os secundários (Vazzoler, 1996). Posteriormente os espermatócitos secundários sofrem meiose e formam as espermátides haploides que passam por processos de diferenciação estrutural até originarem espermatozoides maduros (Grier, 1993; Vazzoler, 1996; Schulz, *et al.*, 2010). Na espécie *A. lacustris*, esse

processo está diretamente relacionado à organização funcional do eixo reprodutivo e ao desenvolvimento gonadal, refletindo a alta eficiência reprodutiva da espécie e sua adaptação a diferentes condições ambientais e de cultivo (Branco *et al.*, 2025; Lima *et al.*, 2025).

Durante a maturação testicular é possível observar aumento progressivo da quantidade de cistos contendo células germinativas mais diferenciadas e crescimento do lúmen dos túbulos seminíferos, onde os espermatozoides são acumulados antes da liberação durante a espermição (Nagahama, 1983). Paralelamente, células intersticiais denominadas células de Leydig, localizadas entre os lóbulos seminíferos, são responsáveis pela produção de andrógenos, hormônios fundamentais para a regulação da espermatogênese e expressão das características sexuais secundárias (Grier & Linton, 1977; Billard, 1986). Além das células de Leydig, o interstício testicular é composto por vasos sanguíneos e linfáticos, fibras nervosas, macrófagos e mastócitos, estruturas que atuam de forma integrada na nutrição, drenagem, regulação neuroendócrina, defesa imunológica e manutenção da homeostase do tecido testicular, fornecendo condições adequadas para o desenvolvimento da espermatogênese (França & Russell, 1998; Schulz *et al.*, 2010).

2.7 Estágios de maturação testicular em teleósteos

O desenvolvimento reprodutivo pode ser descrito por meio de estágios de maturação gonadal, que mostram o grau de atividade espermatogênica e a capacidade reprodutiva dos indivíduos (Wootton & Smith, 2014; Uribe, Grier & Mejía-Roa, 2014). A classificação desses estágios é amplamente utilizada em estudos de biologia reprodutiva, sendo baseada em características macroscópicas e, principalmente, em análises histológicas das gônadas (Vazzoler, 1996).

Nos machos, a avaliação histológica dos testículos permite identificar a predominância dos diferentes tipos celulares germinativos ao longo da espermatogênese, dando possibilidade para diferenciar os estágios de desenvolvimento (Nóbrega, Batlouni & França, 2009; Schulz, *et al.*, 2010). De maneira geral, os estágios de maturação testicular podem ser classificados em: imaturo, em desenvolvimento, em reprodução (espermiando), em regressão e em regeneração (Brown-Peterson *et al.*, 2011).

O estágio imaturo é caracterizado pela presença de espermatogônias indiferenciadas, localizadas na periferia dos lóbulos seminíferos, as células em estágios mais avançados são baixas ou não aparecem ainda (Brown-Peterson *et al.*, 2011). Nessa fase, os túbulos seminíferos apresentam lúmen ausente, indicando que o indivíduo ainda não atingiu a maturidade sexual (Schulz *et al.*, 2010; Brown-Peterson *et al.*, 2011).

No estágio em desenvolvimento, ocorre intensificação da atividade mitótica das espermatogônias e o surgimento de espermatócitos e espermátides (Schulz *et al.*, 2010). Os lóbulos seminíferos se tornam mais evidentes, com o aumento da densidade celular e o início da formação do lúmen (Brown-Peterson *et al.*, 2011). Esse estágio indica que o indivíduo está em processo de maturação sexual, preparando-se para a reprodução (Nóbrega, Batlouni & França, 2009; Schulz *et al.*, 2010).

Durante o estágio de reprodução ativa ou espermiação, ocorre a liberação dos espermatozoides para o lúmen dos túbulos seminíferos e ductos espermáticos (Schulz *et al.*, 2010). Os testículos apresentam grande quantidade de espermatozoides livres no lúmen, podendo ser observada uma redução relativa das células em estágios iniciais devido à intensa atividade reprodutiva (Brown-Peterson *et al.*, 2011).

Dentro da fase de reprodução ativa existem três subfases que ajudam a identificar em que momento da reprodução o peixe se encontra (inicial, intermediária e final), baseado nas mudanças do epitélio germinativo (Brown-Peterson *et al.*, 2011).

Subfases:

Inicial: epitélio germinativo contínuo em todo testículo;

Intermediária: epitélio germinativo contínuo e descontínuo presentes em diferentes regiões;

Final: epitélio germinativo todo descontínuo, células germinativas geralmente escassas.

Após o período reprodutivo, os testículos entram no estágio de regressão, onde ocorre a redução da atividade espermatogênica, presença de espaços vazios

nos lóbulos seminíferos e aparecimento de células degenerativas e resíduos celulares (Brown-Peterson *et al.*, 2011).

Por fim, depois da regressão, os testículos entram na fase de regeneração, que é caracterizada pela reorganização do tecido gonadal e pelo restabelecimento gradual da atividade espermatogênica (Brown-Peterson *et al.*, 2011). Nesse estágio, os espermatozoides residuais presentes no lúmen são progressivamente reabsorvidos, enquanto ocorre intensa proliferação de espermatogônias e formação de novos cistos germinativos, acompanhadas da recuperação da continuidade do epitélio germinativo. (Schulz *et al.*, 2010). As células de Sertoli e de Leydig retomam gradualmente sua atividade, restabelecendo as condições necessárias para um novo ciclo reprodutivo. (Brown-Peterson *et al.*, 2011; Schulz *et al.*, 2010).

2.8 Influência dos sistemas de cultivo na reprodução de peixes

Os fatores ambientais estão diretamente ligados ao controle do ciclo reprodutivo dos peixes, agindo nos processos hormonais, desenvolvimento gonadal e produção de gametas (Vazzoler, 1996; Baldisserotto; Gomes, 2010; Merçon *et al.*, 2021). Variáveis como temperatura, fotoperíodo, qualidade da água e disponibilidade alimentar são capazes de mudar a atividade reprodutiva das espécies, tanto em ambientes naturais quanto em sistemas de cultivo (Boyd, 2020). Em sistemas intensivos de produção, como RAS e BFT, essas variáveis podem ser controladas ou manipuladas, permitindo otimizar o desempenho reprodutivo dos organismos cultivados (Chen; Ling; Blancheton, 2006; Wang *et al.*, 2024).

No entanto, as condições ambientais modificadas também podem gerar respostas fisiológicas distintas entre espécies ou entre indivíduos mantidos em diferentes sistemas de cultivo (Honji, De Mello & Araújo, 2025). De forma semelhante, Bhat *et al.* (2025) destacam que fatores abióticos, como temperatura, fotoperíodo, oxigênio dissolvido, pH e compostos nitrogenados, exercem papel determinante sobre o desempenho reprodutivo dos peixes. Corroborando essa relação, Quirino *et al.* (2021) verificaram que populações de *Astyanax rivularis* submetidos a diferentes condições ambientais apresentaram diferenças no desenvolvimento gonadal e na progressão das fases reprodutivas, evidenciando a influência do ambiente sobre a reprodução. Esses achados reforçam a importância de estudos que avaliem como diferentes condições e sistemas de cultivo podem afetar o desenvolvimento reprodutivo de espécies aquícolas, contribuindo para o

aperfeiçoamento das técnicas de reprodução em cativeiro e para o fortalecimento da aquicultura de espécies nativas.

3. METODOLOGIA

3.1 Aspectos éticos da pesquisa

O presente projeto foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal Rural de Pernambuco (CEUA nº 5765091123), sob o protocolo nº 5765091123. Todos os procedimentos experimentais foram conduzidos em conformidade com os princípios éticos para o uso de animais em pesquisa científica, respeitando as normas vigentes e adotando medidas para minimizar o estresse e o sofrimento dos animais durante as etapas de cultivo, manejo, biometria, coleta e eutanásia.

3.2 Delineamento experimental e manutenção dos peixes

O experimento foi realizado na estufa do Laboratório Núcleo de Biotecnologia e Reprodução (NUBIOR) localizada na Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST – UFRPE) (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização do Núcleo de Biotecnologia e Reprodução na Unidade Acadêmica de Serra Talhada da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UAST/UFRPE)



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Na estufa foram delineados dois sistemas de produção, um sistema de recirculação de água (RAS) e um sistema de bioflocos (BFT), utilizando exemplares de *A. lacustris* provenientes do Açude do Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA), localizado em Serra Talhada, PE. A estrutura foi montada com quatro caixas de 500 litros em cada grupo, sendo distribuídos 100 peixes por caixa (50 fêmeas e 50 machos) (Figura 2).

Figura 2 - Local da estufa experimental com os sistemas de cultivo. (A) Estufa com os dois sistemas de cultivo; (B) Sistema RAS; (C) Sistema BFT



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Cada sistema foi mantido de forma independente, utilizando água proveniente de um poço artesiano da Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST/UFRPE). O sistema de recirculação de água (RAS) foi composto por decantador, filtro mecânico e biológico e sistema de recirculação, enquanto ambos os sistemas contaram com aquecimento e aeração individuais. A qualidade da água foi monitorada periodicamente por meio da determinação da temperatura, oxigênio dissolvido, pH e compostos nitrogenados (amônia, nitrito e nitrato), a fim de garantir condições

adequadas para a manutenção dos peixes durante todo o período experimental. Os peixes foram alimentados duas vezes ao dia com ração comercial contendo 32% de proteína bruta, fornecida até a saciedade aparente.

3.3 Coleta de material biológico para Histologia

Após 30 dias da distribuição dos animais nos sistemas para aclimação e maturação, foi realizada a primeira coleta, sendo as demais efetuadas em intervalos de 15 dias, correspondendo aos dias 30, 45, 60, 75, 90, 105 e 120 do experimento (12/06/2025 a 12/09/2025). Em cada coleta, foram retirados aleatoriamente oito machos de cada sistema (dois por caixa) para análises morfométricas e, posteriormente, para a coleta das gônadas destinadas à análise histológica.

4.3.1 Análises morfométricas lineares

Em todas as coletas os peixes foram pesados (g), com balança analítica (0,0001 de precisão) e as medidas biométricas foram obtidas com paquímetro digital de fibra de carbono, com resolução de 0,1 mm e exatidão de $\pm 0,2$ mm (Figura 3). Os dados de comprimento padrão, peso corporal, peso gonadal e índice gonadosomático (IGS) foram submetidos à análise de variância (ANOVA), adotando-se nível de significância de 5% ($P < 0,05$), para verificar diferenças entre os sistemas de cultivo.

Figura 3 - Coleta dos dados biométricos de *Astyanax lacustris*. (A) Comprimento total; (B) Peso corporal



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

3.3.2 Coleta das gônadas

Para realizar a coleta das gônadas os peixes foram eutanasiados por imersão em solução anestésica de Eugenol ($C_{10}H_{12}O_2$) (100 mg/L). Logo após, as gônadas foram retiradas e pesadas (g) (Figura 4), para posterior análises do índice gonadossomático, proposto por Vazzoler (1996), onde:

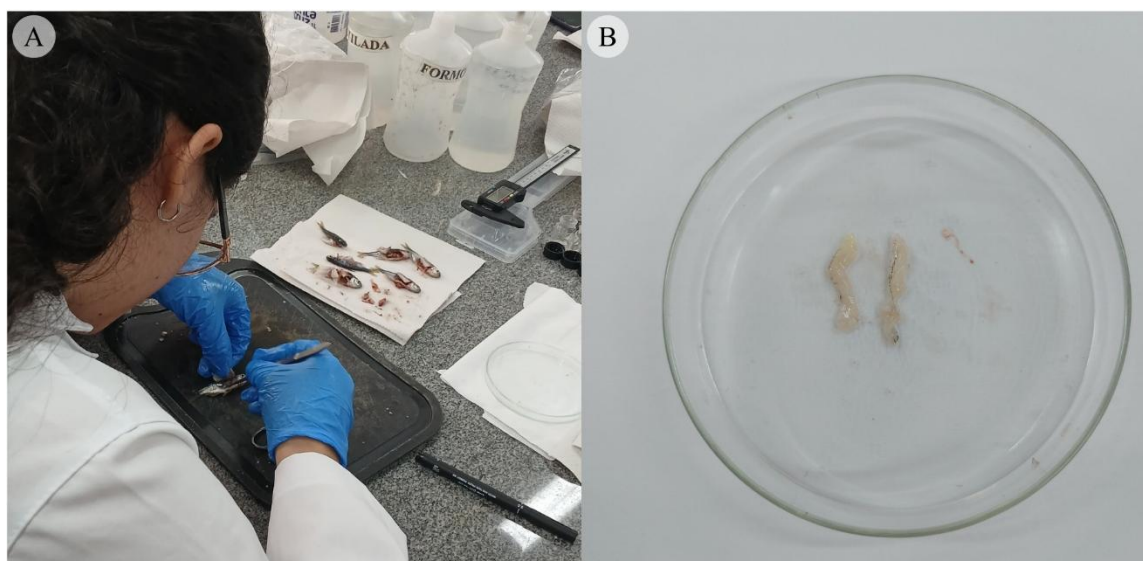
W_t = Massa total (g);

W_g = Massa da gônada (g);

Índice gonadossomático (IGS%) = $W_g/W_t \times 100$.

$$IGS(\%) = \left(\frac{W_g}{W_t} \right) * 100$$

Figura 4 - Processo de retirada das gônadas de *Astyanax lacustris*. (A) Gônadas sendo retiradas; (B) Gônadas masculinas



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

3.4 Processamento Histológico

Os testículos foram fixados em solução AlfAac (850 ml de álcool 80% + 100 ml de formalina 37% + 50 ml de ácido acético) durante um período de 16 horas, para preservação adequada do material biológico. Em seguida, as gônadas foram transferidas para cassetes devidamente etiquetados que posteriormente foram

desidratadas em concentrações crescentes de etanol (Figura 5). Em seguida, as mesmas foram e infiltradas com parafina.

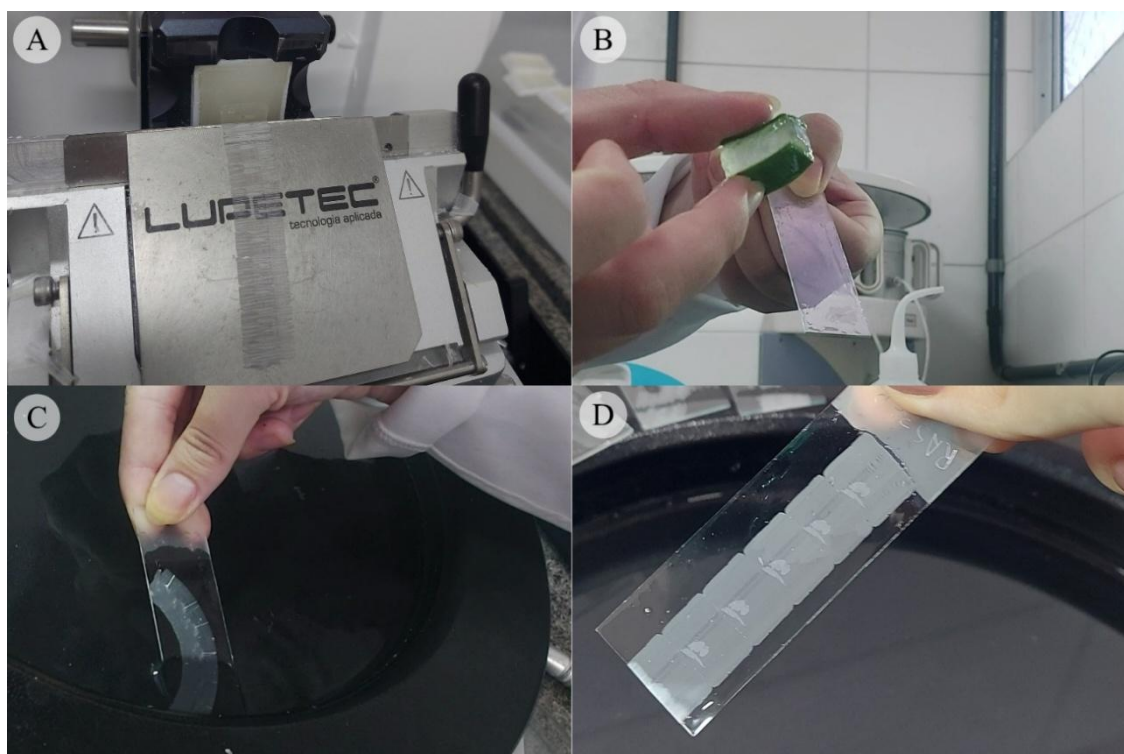
Figura 5 - Processo manual de desidratação. (A) Cassetes etiquetados para receber as amostras; (B) Níveis crescentes de etanol para processo de desidratação das amostras



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Logo após, os blocos de parafina contendo as gônadas foram seccionadas a uma espessura de 5,0 μm utilizando micrótomo (LEICA RM 2145; Leica Instruments GmbH, Nussloch Heidelberg, Alemanha) equipado com navalha de perfil alto. Ao formar uma fita contínua nos cortes o material foi posto em banho maria para ser “pescado” com auxílio de uma lâmina contendo babosa, que serviu para fixar a amostra na superfície durante os processos seguintes (Figura 6).

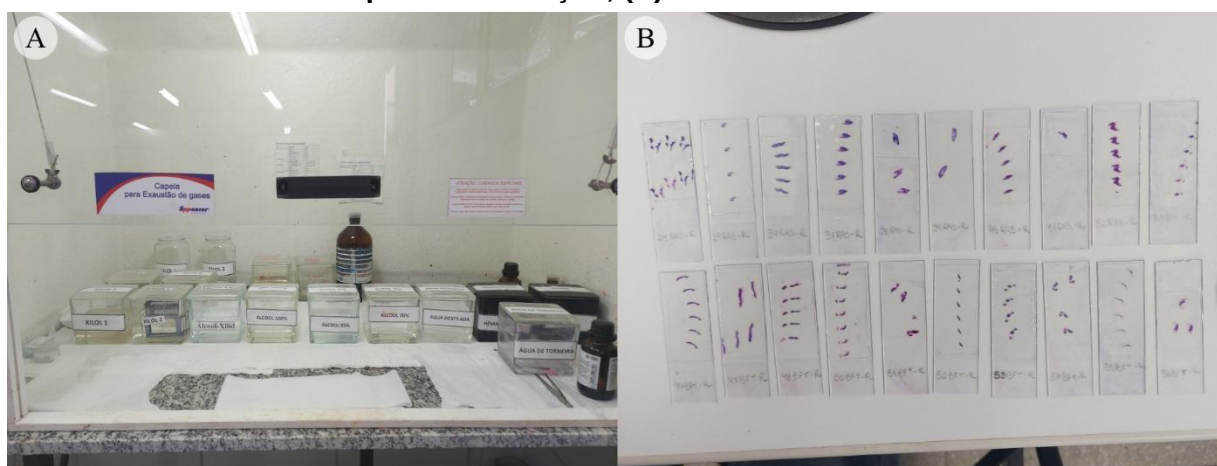
Figura 6- Processo de confecção das lâminas histológicas. (A) Fita formada com micrótomo; (B) Utilização de babosa para fixação da amostra na lâmina; (C) Técnica para pesca da amostra; (D) Amostra fixa na lâmina



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Seguindo o processo histológico, as lâminas foram emergidas em concentrações de xilol para remoção da parafina, seguidas de concentrações decrescentes de etanol até chegar a água destilada para então serem coradas com Hematoxilina/Eosina e (Figura 7). O foto-processamento e as análises histológicas foram concluídas com um microscópio óptico Nikon equipado com câmera AxioCam-MRC5 (Nikon, Japão), com a finalidade de identificar as diferentes fases reprodutivas e analisar os cistos predominantes e seus diferentes estágios em todas as amostras.

Figura 7 - Processo de coloração das lâminas histológicas. (A) Capela com todas as etapas de coloração; (B) Lâminas coradas



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

3.5 Análise das gônadas

A partir das análises histológicas realizadas em microscópio óptico (Nikon), foi possível a identificação das fases reprodutivas dos machos, classificadas em: imaturo, em desenvolvimento, apto à liberação de esperma, regressão e regeneração. Adicionalmente, foram identificados os diferentes estágios das células germinativas presentes (espermatogônias, espermatídes, espermatócitos e espermatozoides) que serviram para ajudar na diferenciação das fases reprodutivas. O aspecto do epitélio germinativo (EG) também foi observado, sendo referido como epitélio germinativo contínuo (EGC) e descontínuo (EGD) que se apresentam em diferente aspecto durante o processo espermatogênico e serviram para auxiliar na identificação das subfases de reprodução.

A classificação dos estágios de maturação testicular foi realizada com base em características histológicas adaptadas de Vazzoler (1996) e Brown-Peterson *et al.* (2011) (Tabela 1).

Tabela 1 - Classificação histológica dos estágios de maturação testicular em peixes teleósteos

Estágio reprodutivo	Características histológicas	Células predominantes	Aspecto do lúmen
Imaturo	Lóbulos seminíferos pouco desenvolvidos; ausência de organização evidente; baixa atividade espermatogênica	Espermatogônias (principalmente tipo A)	Ausente ou muito reduzido
Em desenvolvimento	Aumento da atividade germinativa; presença de cistos espermatogênicos; início da organização lobular	Espermatogônias, espermatócitos e algumas espermátides	Pequeno e em formação
Apto a reprodução/inicial	EGC predominante; túbulos amplos e repletos de espermatozoides; luz visível na maior parte das regiões e presença de cistos	Espermatozoides livres no lúmen, espermatogônias, espermatócitos e algumas espermátides	Ampla e preenchida
Apto a reprodução/intermediário	EGC e EGD em diferentes regiões da gônada; região contínua com vários cistos em diferentes estágios; região descontínua com escassez de cistos	Região contínua com abundância de células germinativas e região descontínua com escassez dessas, espermatozoides livres	Ampla e preenchida
Apto/intermediário - regressão	EGD predominante com escassez de cistos; região com ocorrência de continuidades com cistos abundantes	Espermatogônias, células de Sertoli aparentes e espermatozoides em menor quantidade	Irregular, com áreas vazias
Apto a reprodução/final	Epitélio germinativo totalmente descontínuo com cistos bem dispersos e em pequena quantidade; espermatozoides volumosos nos túbulos	Células germinativas escassas, células de Sertoli aparentes, luz ampla repleta de espermatozoides	Ampla e preenchida
Apto a reprodução/final – regressão	Região com aspecto de regressão; cistos dispersos; EGD com cistos escassos, regiões específicas com continuidades e maior número de cistos	Espermátides, espermatócitos, células de Sertoli aparentes e espermatozoides residuais	Irregular, com áreas vazias
Regressão (pós-reprodutivo)	Epitélio com total aspecto de regressão; túbulos fragmentados; células germinativas abundantes em proliferação	Poucas células germinativas; presença de espermatogônias, células de Sertoli e espermatozoides residuais	Irregular, com áreas vazias
Regeneração	Epitélio contínuo; em reorganização; com intensa proliferação de espermatogônias	Espermatogônias, células de Sertoli e poucos espermatócitos iniciais	Reduzido ou vazio, com poucos ou nenhum espermatozoide residual

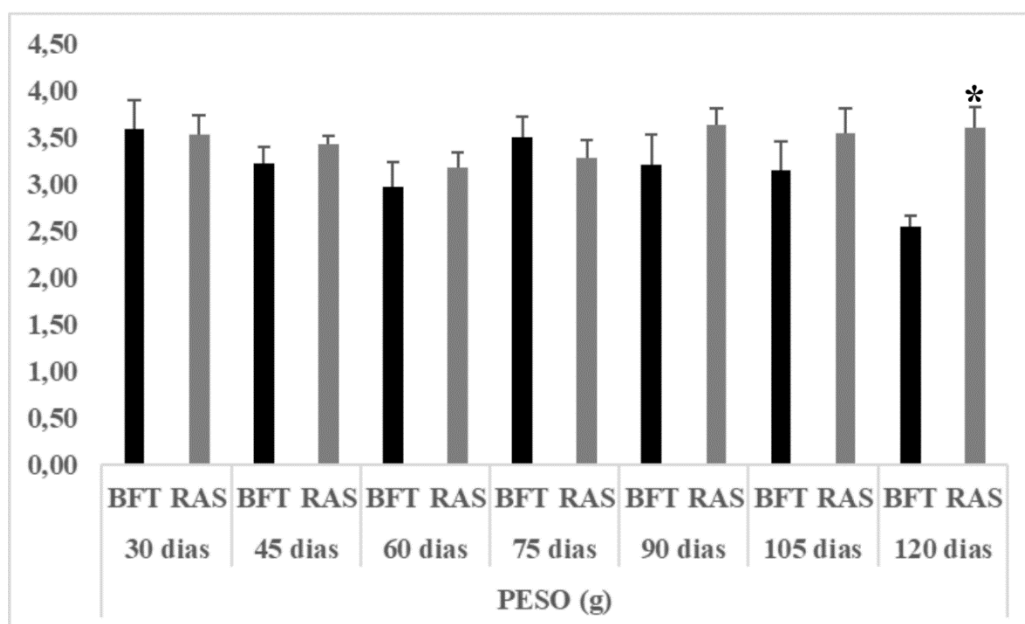
Fonte: adaptado de Vazzoler (1996) e Brown-Peterson *et al.* (2011).

4. RESULTADOS

4.1 Desempenho Zootécnico

O peso corporal dos machos de *A. lacustris* não diferiu entre os sistemas RAS e BFT (Figura 8) dos 30 aos 105 dias de experimento ($P > 0,05$). Entretanto, aos 120 dias de experimento, os indivíduos cultivados no sistema RAS apresentaram peso corporal significativamente superior ($3,61 \pm 0,22g$) em comparação aos mantidos no sistema BFT ($2,55 \pm 0,12g$) ($P = 0,02$). Além disso, observa-se que os animais mantidos em RAS apresentaram maior estabilidade no peso corporal ao longo do período experimental, enquanto no sistema BFT houve tendência de redução nos últimos dias de avaliação.

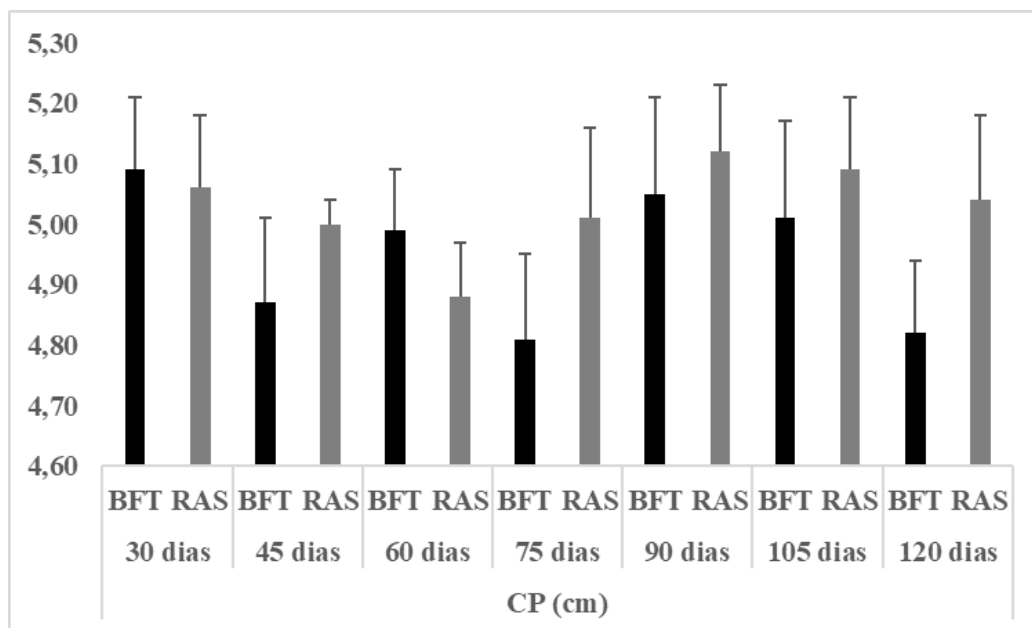
Figura 8 - Peso corporal dos machos de *Astyanax lacustris* mantidos em RAS e BFT ao longo do experimento



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

O comprimento padrão não apresentou diferenças significativas entre os sistemas RAS e BFT em nenhum dos dias de experimento avaliados ($P > 0,05$). Os valores permaneceram semelhantes entre os tratamentos, variando aproximadamente entre 4,8 e 5,1 cm, indicando que ambos os sistemas proporcionaram desenvolvimento corporal equivalente (Figura 9).

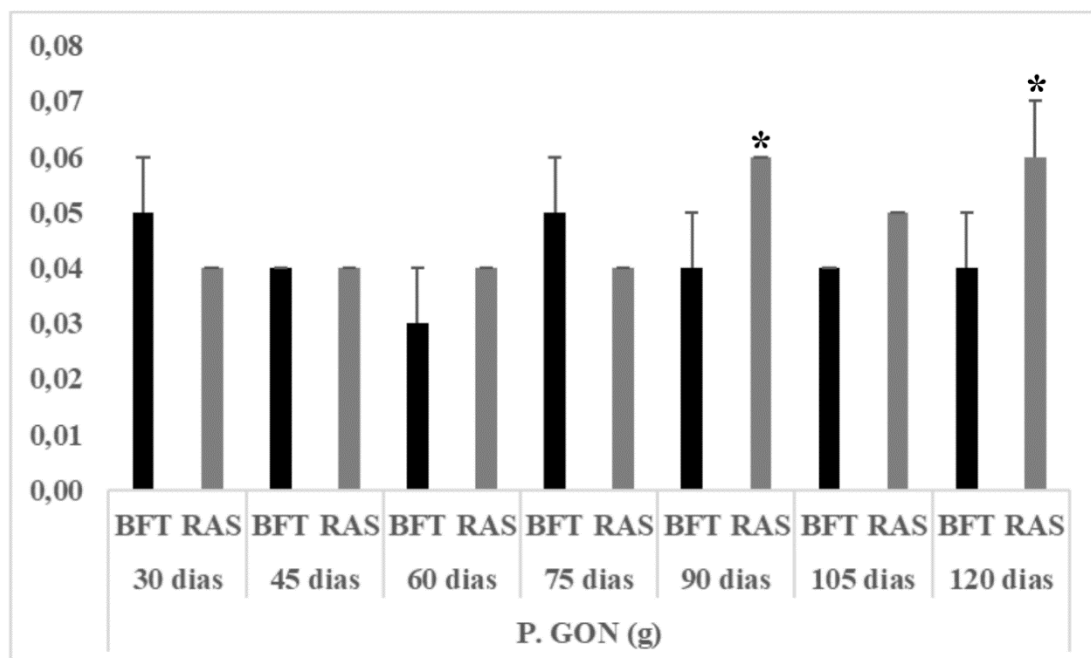
Figura 9 - Comprimento padrão dos machos de *Astyanax lacustris* mantidos em RAS e BFT ao longo do experimento



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

O peso gonadal (Figura 10) apresentou diferenças entre os sistemas apenas aos 90 ($P = 0,02$) e 120 dias de experimento ($P = 0,04$) de experimento. Nesses períodos, os indivíduos mantidos em RAS apresentaram maiores valores de peso gonadal ($0,06 \pm 0,00$ g e $0,06 \pm 0,01$ g, respectivamente) em comparação aos indivíduos do BFT ($0,04 \pm 0,01$ g em ambos os períodos). Nos demais dias avaliados, não foram observadas diferenças significativas ($P > 0,05$).

Figura 10 - Peso gonodal dos machos de *Astyanax lacustris* mantidos em RAS e BFT ao longo do experimento

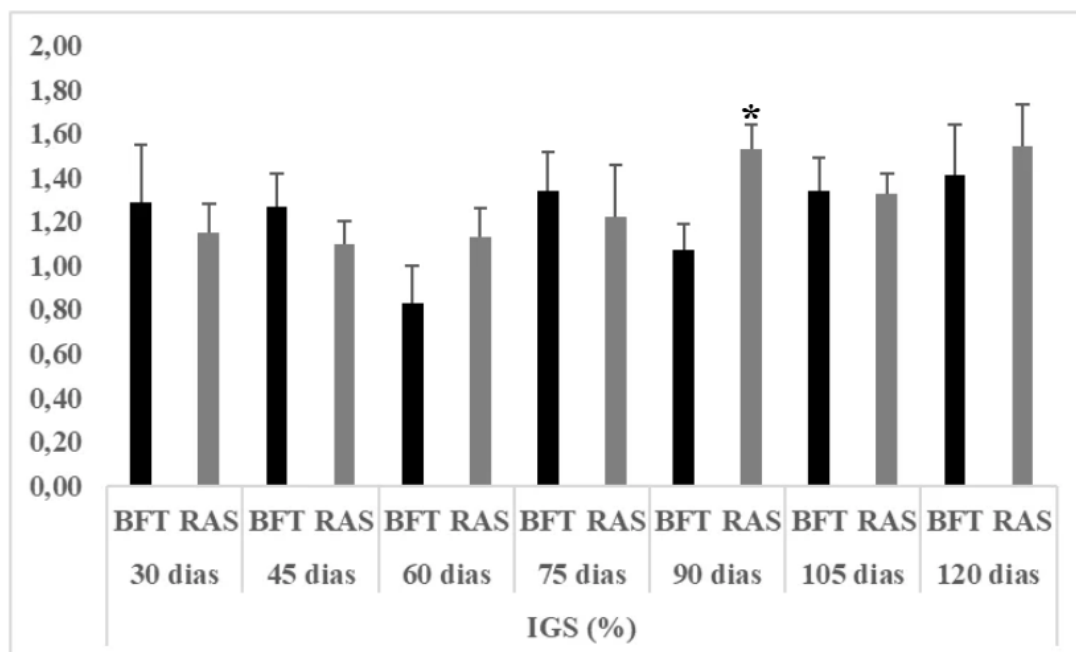


Fonte: Elaborado pela autora (2026).

4.2 Índice Gonadossomático

O índice gonadossomático (IGS) apresentou comportamento semelhante entre os sistemas de cultivo ao longo das sete coletas (Figura 11), não sendo observadas diferenças significativas entre RAS e BFT nos períodos de 30, 45, 60, 75, 105 e 120 dias coletas 1, 2, 3, 4, 6 e 7 ($P > 0,05$). Entretanto, com 90 dias, os indivíduos mantidos em RAS ($1,53 \pm 0,11\%$) apresentaram IGS significativamente superior aos mantidos em BFT ($1,07 \pm 0,12\%$) ($P = 0,01$).

Figura 11 - Índice gonodossomático dos machos de *Astyanax lacustris* mantidos em RAS e BFT ao longo do experimento

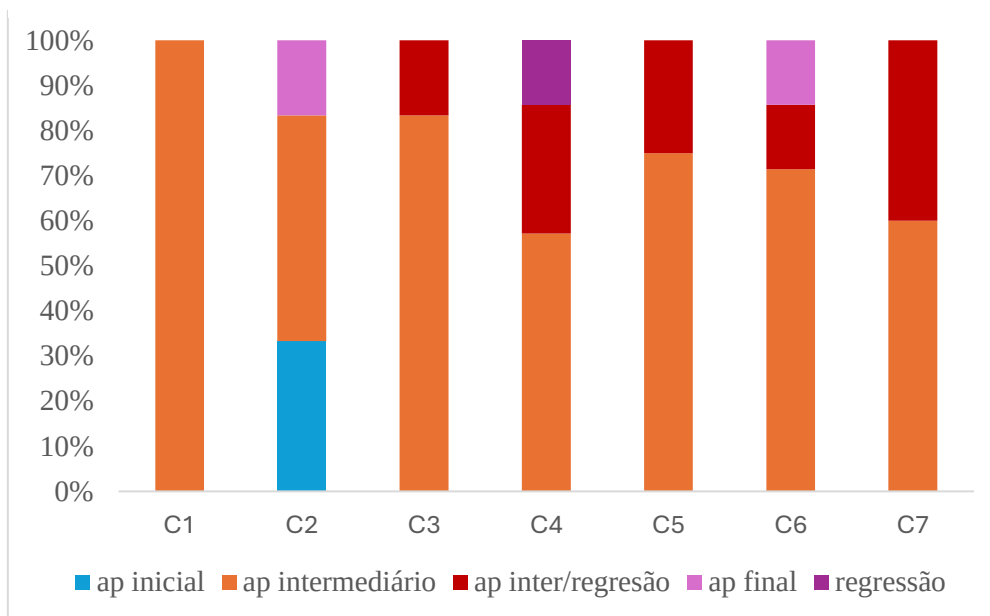


Fonte: Elaborado pela autora (2026).

4.3 Distribuição dos Estágios Gonadais

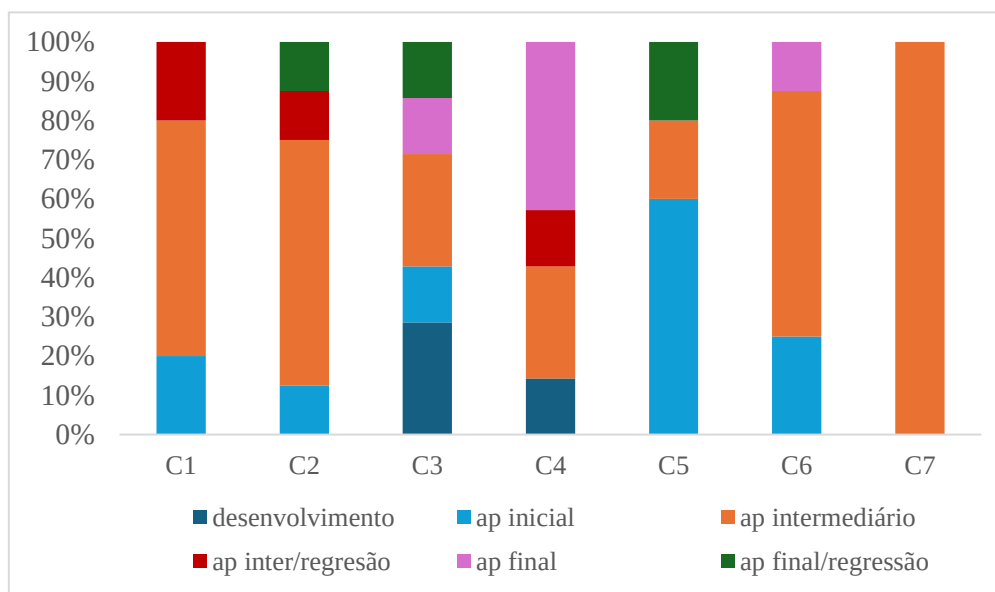
A distribuição dos estágios gonadais demonstrou diferenças no padrão de maturação entre os sistemas de cultivo. Nos machos mantidos no sistema de recirculação observou-se predominância do estágio apto com subfase intermediário durante todo o período do experimento, representando a fase mais frequente em todas as coletas (Figura 12). Em contraste, os indivíduos mantidos no bioflocos apresentaram uma maior diversidade de estágios gonadais, incluindo fases classificadas em desenvolvimento, apto com subfase inicial, apto com subfase intermediário, apto com subfase final e apto com subfase final/regressão (Figura 13). A maior heterogeneidade observada no BFT foi evidenciada nas coletas três e quatro, onde ocorreram simultaneamente indivíduos em múltiplos estágios de maturação.

Figura 12 - Gráfico de distribuição das fases reprodutivas encontradas nos machos de *Astyanax lacustris* mantidos em RAS



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Figura 13 - Gráfico de distribuição das fases reprodutivas encontradas nos machos de *Astyanax lacustris* mantidos em BFT

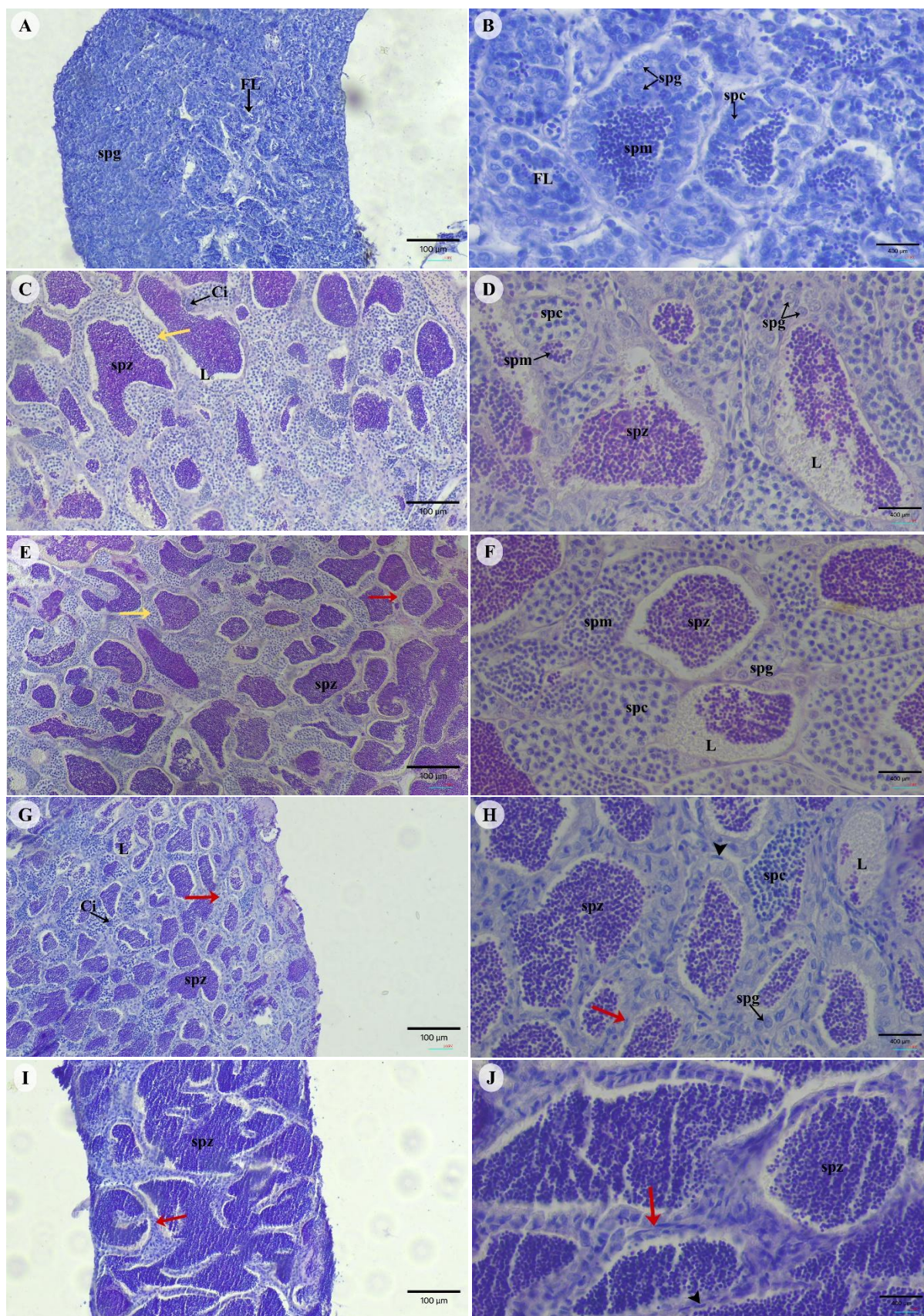


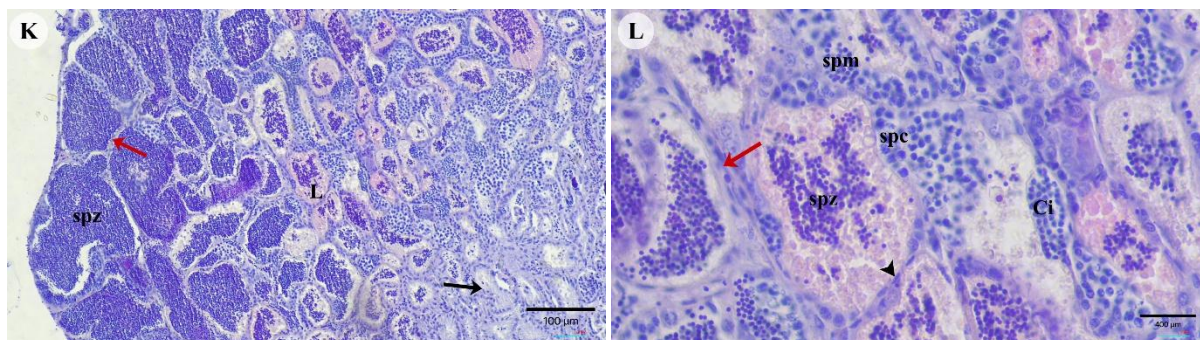
Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Figura 14 - Lâminas histológicas das gônadas de machos de *Astyanax lacustris* mantidos no sistema BFT, evidenciando diferentes fases e subfases do desenvolvimento testicular

A e B: Fase de desenvolvimento – A: Grande quantidade de espermatogônias em multiplicação em toda extensão da amostra e início da formação do lúmen. B: Região com células germinativas em diferentes estágios, presença de espermatogônias, espermatócitos e espermátides e o início da formação do lume. C e D: Fase apto – subfase inicial – C: Gônada com epitélio germinativo contínuo predominante. Túbulos amplos e repletos de espermatozoides, luz visível na maior parte das regiões e presença de cistos. D: Espermatozoides nos túbulos, luz ampla, EGC com abundância de células germinativas. Presença de cistos de espermátides e espermatócitos. E e F: Fase apto – subfase intermediária – E: Presença do EGC e EGD em diferentes regiões da amostra. Na região contínua vários cistos em diferentes estágios, na descontínua escassez de cistos. Túbulos grandes com espermatozoides abundantes. F: Região apresentando epitélio contínuo com ocorrência de todos os estágios germinativos. Luz ampla e com presença de espermatozoides. G e H: Fase apto – subfase intermediária/regressão – G: Testículo com EGD predominante e escassez de cistos nessa região, em outra região ocorrência de continuidades com cistos mais abundantes e lúmen com espermatozoides. H: Epitélio germinativo descontínuo com cistos escassos e dispersos. Lúmen com uma quantidade menor de espermatozoides, células de sertoli e espermatogônias. I e J: Fase apto – subfase final – I: Epitélio germinativo totalmente descontínuo com cistos bem dispersos e em pequena quantidade, espermatozoides volumosos nos túbulos. J: Escassez de cistos, EGD, células de Sertoli e espermatozoides nos túbulos, apto a espermição. K e L: Fase apto – subfase final/regressão – K: Epitélio com aspecto de regressão em uma região, com cistos dispersos e luz com espermatozoides residuais. Epitélio germinativo descontínuo com cistos escassos, regiões com presença de continuidades e maior número de cistos. L: Cistos em diferentes estágios, com presença de espermátides e espermatócitos, EGD, espermatozoides residuais no lúmen e células de Sertoli.

Seta amarela: epitélio germinativo contínuo, **seta vermelha:** epitélio germinativo descontínuo, **seta preta:** epitélio com aspecto de regressão, **cabeça de seta:** célula de sertoli, **spz:** espermatozóides, **spg:** espermatogônias, **spm:** espermátides, **spc:** espermatócito e **L:** lúmen.

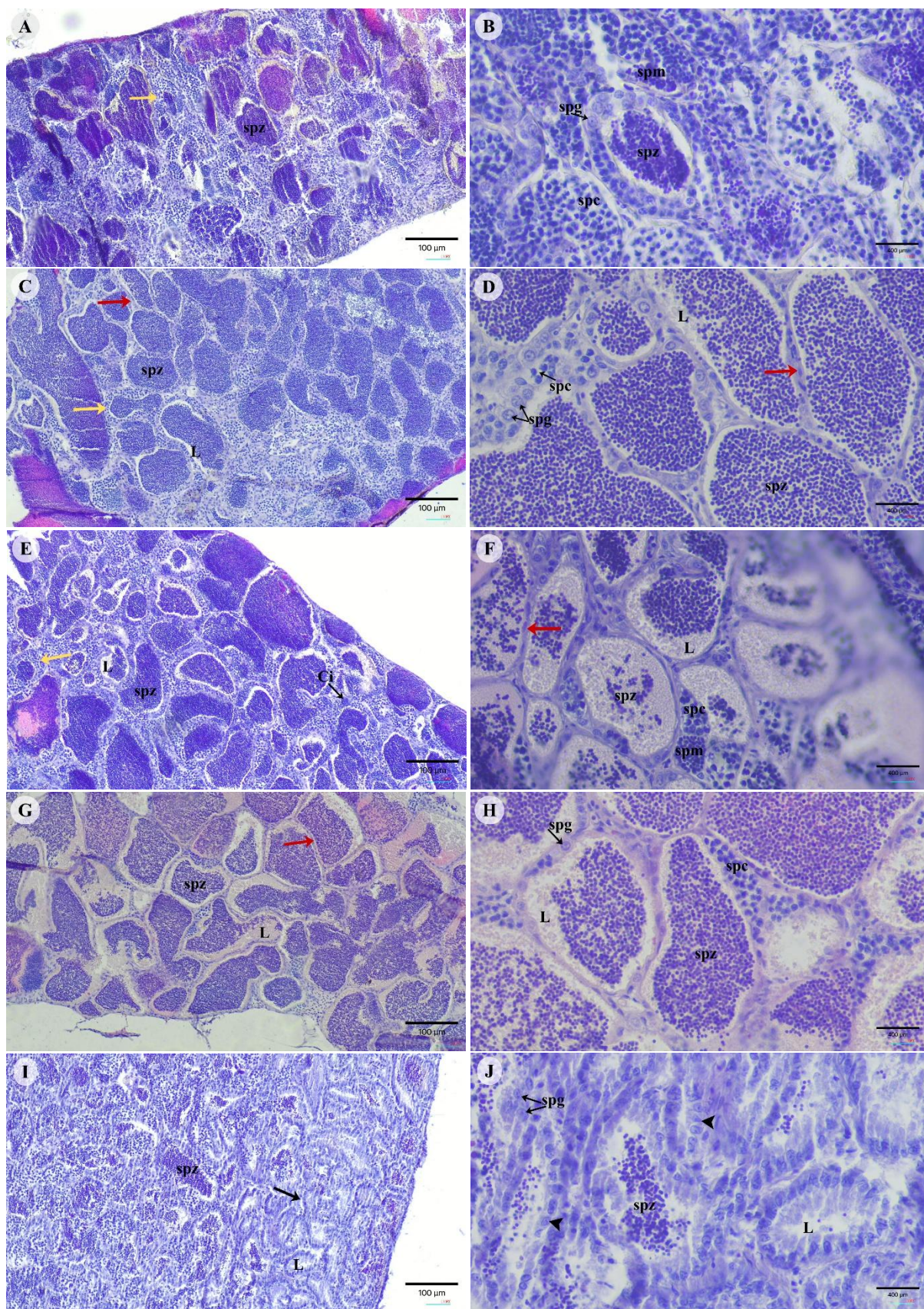




Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Figura 15 - Lâminas histológicas das gônadas de machos de *Astyanax lacustris* mantidos no sistema BFT, evidenciando diferentes fases e subfases do desenvolvimento testicular

A e B: Fase apto – subfase inicial – A: Epitélio germinativo contínuo predominante, com cistos abundantes por toda parte, luz ampla com grande quantidade de espermatozoides. B: Epitélio contínuo com presença de células germinativas em todas as fases. Luz ampla e repleta de espermatozoides, apto a espermiação. C e D: Fase apto – subfase intermediária – C: Presença do epitélio com descontinuidades, células germinativas escassas nessa região. Em outra região epitélio com continuidades e presença de células germinativas em maior quantidade. Túbulos completamente preenchidos com espermatozoides e luz ampla. D: Epitélio descontínuo com cistos escassos e espalhados, algumas espermatogônias e espermatócitos aparentes em uma região específica e luz ampla repleta de espermatozoides. E e F: Fase apto – subfase intermediária/ regressão – E: Testículo com EGC em região específica, com abundância de estágios celulares. Visualização de cistos de células germinativas, luz ampla e com grande quantidade de espermatozoides. F: Presença do EGD com cistos em pouca quantidade e dispersos. Lúmen com espermatozoides residuais e presença de cistos de espermátides e espermatócitos. G e H: Fase apto – subfase final – G: Predominância do epitélio germinativo descontínuo, com cistos bem escassos e espalhados. Luz ampla com uma menor quantidade de espermatozoides. H: Epitélio descontínuo apresentando cistos dispersos e escassos, com espermatócitos e espermatogônias. Uma luz mais visível e ampla com menor número de espermatozoides. I e J: Fase regressão – I: Epitélio com total aspecto de regressão, túbulos fragmentados, células germinativas abundantes em proliferação e espermatozoides residuais na luz. J: Epitélio em regressão com presença de espermatogônias, células de Sertoli e espermatozoides residuais no lúmen. **Seta amarela:** epitélio germinativo contínuo, **seta vermelha:** epitélio germinativo descontínuo, **seta preta:** epitélio com aspecto de regressão, **cabeça de seta:** célula de sertoli, **spz:** espermatozóides, **spg:** espermatogônias, **spm:** espermátides, **spc:** espermatócito e **L:** lúmen.



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

5. DISCUSSÃO

A reprodução de peixes teleósteos é fortemente influenciada pelas condições ambientais e nutricionais, fatores como qualidade da água, disponibilidade energética e estresse podem afetar diretamente o desenvolvimento gonadal e a produção de gametas (Bhat *et al.*, 2025). No presente estudo, os resultados demonstraram que tanto o sistema de recirculação aquícola (RAS), quanto o sistema de bioflocos (BFT) foram capazes de sustentar o desenvolvimento reprodutivo dos machos de *A. lacustris*, evidenciada pela predominância de indivíduos classificados em fases aptas à reprodução e pela presença simultânea de espermatogônias, espermatócitos, espermatídes e espermatozoides nas análises histológicas. Segundo Schulz *et al.* (2010), essa coexistência de diferentes estágios celulares e de espermatozoides livres no lúmen caracteriza testículos funcionalmente ativos e confirma a manutenção da espermatogênese contínua em peixes teleósteos.

Apesar da manutenção da atividade reprodutiva em ambos os sistemas, foram observadas diferenças na distribuição dos estágios gonadais. Os machos mantidos no sistema de recirculação de água apresentaram predominância mais consistente do estágio apto intermediário ao longo das sete coletas (30, 45, 60, 75, 90, 105 e 120 dias), enquanto os indivíduos mantidos na tecnologia de bioflocos exibiram maior diversidade de estágios histológicos, incluindo desenvolvimento, apto inicial, apto intermediário, apto intermediário/regressão, apto final e apto final/regressão. Esse resultado sugere que os animais cultivados em BFT apresentaram maior assincronia no desenvolvimento gonadal quando comparados aos indivíduos mantidos em recirculação.

Uma possível explicação para esse padrão está relacionada às características inerentes de cada sistema de cultivo. Os sistemas RAS apresentam uma maior estabilidade dos parâmetros físico-químicos da água, uma elevada capacidade de controle ambiental e menor variação das condições de cultivo, o que acaba favorecendo respostas fisiológicas mais homogêneas entre os indivíduos (Li *et al.*, 2023; Waller, 2024). Em contrapartida, o BFT constitui um ambiente biologicamente mais complexo, caracterizado pela elevada concentração de partículas suspensas, uma intensa atividade dos microrganismos e disponibilidade contínua de bioflocos como fonte complementar de alimento (Jamal *et al.*, 2020).

Essas características podem modificar o comportamento alimentar, a disponibilidade energética e a forma como cada indivíduo utiliza os recursos disponíveis, contribuindo para diferentes velocidades de desenvolvimento gonadal. Além disso, a maior turbidez característica do sistema reduz a transparência da água e pode alterar aspectos comportamentais dos peixes, reforçando a variabilidade observada entre os indivíduos.

Revisões recentes indicam que, embora os bioflocos promovam benefícios ao crescimento, à fisiologia e à reprodução dos organismos aquáticos, as respostas individuais tendem a ser mais variáveis quando comparadas às observadas em sistemas com maior controle ambiental (Yu *et al.*, 2023; Khanjani *et al.*, 2024). Os resultados do índice gonadossomático reforçam essa interpretação. Mesmo que diferenças significativas tenham sido observadas apenas no período de 90 dias, os maiores valores de IGS registrados para os machos mantidos em RAS coincidiram com a elevada frequência de indivíduos que foram classificados como apto intermediário e com os maiores valores de peso gonadal. O IGS é amplamente utilizado como indicador indireto do investimento energético, que é destinado ao desenvolvimento das gônadas e tende a aumentar conforme ocorre intensificação da gametogênese (Vazzoler, 1996). Dessa forma, o maior IGS observado em RAS sugere maior desenvolvimento gonadal naquele período específico.

Resultado semelhante foi observado para o peso gonadal, que apresentou valores superiores em RAS com 90 e 120 dias de experimento. Considerando que não foram observadas diferenças significativas para comprimento padrão, comprimento total e peso corporal durante a maior parte do período experimental, o aumento do peso das gônadas parece refletir alterações específicas do desenvolvimento reprodutivo, e não diferenças no crescimento somático dos animais. Segundo Vazzoler (1996), as alterações no peso gonadal acompanham a maturação das gônadas e representam um dos principais indicadores do estado reprodutivo dos peixes.

Essas observações são consistentes com os resultados obtidos por Lima *et al.* (2025), que avaliaram machos de *A. lacustris* cultivados em RAS e BFT e observaram maiores valores de índice gonadossomático nos machos mantidos em sistema RAS durante o terceiro mês de cultivo. Além disso, os autores verificaram que os peixes cultivados em RAS apresentaram melhor qualidade seminal, indicado por maiores valores de motilidade espermática progressiva, maior frequência de

batimento flagelar e maior proporção de espermatozoides rápidos aos cinco meses de idade, mantendo desempenho superior para parâmetros cinéticos do sêmen ao final do período experimental. Apesar dessas diferenças, a análise histológica demonstrou que os indivíduos de ambos os sistemas apresentavam gônadas aptas à reprodução, indicando que tanto o RAS quanto o BFT foram capazes de sustentar o desenvolvimento reprodutivo da espécie. Esses resultados reforçam os achados do presente estudo, no qual ambos os sistemas mantiveram a espermatogênese ativa, porém o RAS promoveu maior uniformidade do desenvolvimento gonadal e maiores valores de IGS em um período específico do cultivo.

Embora Lima *et al.* (2025) não tenham atribuído essas diferenças a um único fator, seus resultados mostraram que os machos cultivados em BFT apresentaram maior índice hepatossomático, além de maior teor de matéria seca e extrato etéreo na composição corporal, enquanto os mantidos em RAS apresentaram maior porcentagem de proteína bruta e cinzas. Esses achados sugerem diferenças na alocação e utilização das reservas energéticas entre os sistemas de cultivo. Considerando que o sistema BFT fornece bioflocos como fonte complementar de alimento e apresenta elevada concentração de partículas suspensas e intensa atividade microbiana, é possível que os peixes distribuam os recursos energéticos de forma distinta entre manutenção, crescimento e reprodução, contribuindo para uma maior heterogeneidade no desenvolvimento gonadal. Em contrapartida, o ambiente mais estável e previsível do RAS pode favorecer uma alocação energética mais uniforme para o desenvolvimento das gônadas, refletindo nos maiores valores de IGS e na maior sincronização observada entre os indivíduos.

A ocorrência exclusiva de indivíduos em desenvolvimento no BFT e de indivíduos em regressão no RAS sugere diferenças na dinâmica temporal da maturação gonadal entre os sistemas. Segundo Brown-Peterson *et al.* (2011), fases de desenvolvimento são caracterizadas pela presença de epitélio germinativo contínuo, formação inicial do lúmen e intensa proliferação de células germinativas, enquanto fases de regressão apresentam epitélio germinativo descontínuo, redução da espermatogênese e permanência de espermatozoides residuais no lúmen. As características observadas nas lâminas deste estudo estão de acordo com os critérios histológicos descritos por esses autores para a classificação das fases reprodutivas em peixes teleósteos.

Outro aspecto relevante foi a observação de epitélio germinativo contínuo e descontínuo, células de Sertoli associadas aos cistos espermatogênicos e células germinativas em diferentes estágios. As células observadas nas lâminas foram identificadas com base em suas características morfológicas, sendo reconhecidas espermatogônias, espermatócitos, espermátides e espermatozoides, de forma semelhante ao descrito para *A. lacustris* por Brasileiro (2021) e para *Astyanax altiparanae* por Nascimento *et al.* (2017), demonstrando elevada similaridade na organização histológica testicular entre espécies do mesmo gênero. Essas estruturas são fundamentais para a organização dos lóbulos seminíferos e para o suporte à espermatogênese (Grier, 1981). A associação das células de Sertoli aos cistos espermatogênicos observada neste estudo corrobora o padrão de organização testicular descrito para espécies do gênero *Astyanax*, no qual essas células permanecem fortemente associadas às células germinativas durante todo o processo espermatogênico, evidenciando a conservação desse padrão histológico entre espécies do gênero (Nascimento *et al.*, 2017).

Os resultados obtidos corroboram com os observados por Valandro (2023), que avaliou reprodutores de *A. lacustris* mantidos em sistemas BFT, RAS e tanque escavado. A autora verificou que os diferentes sistemas foram capazes de preservar a qualidade seminal e a capacidade reprodutiva dos machos. Em conjunto com os achados de Lima *et al.* (2025), esses estudos reforçam que tanto o sistema RAS quanto o sistema BFT constituem alternativas viáveis para a manutenção do potencial reprodutivo da espécie, embora promovam padrões distintos de desenvolvimento gonadal.

Embora o presente estudo tenha fornecido informações relevantes sobre a caracterização gonadal de machos de *A. lacustris* em sistemas intensivos de cultivo, novas investigações são necessárias para compreender os mecanismos responsáveis pelas diferenças observadas entre os sistemas. Estudos futuros devem integrar avaliações histológicas, qualidade seminal, análises hormonais e moleculares, além de investigar o efeito de diferentes densidades de estocagem, estratégias nutricionais e composição da comunidade microbiana dos bioflocos sobre a fisiologia reprodutiva da espécie. Essas informações poderão contribuir para o aprimoramento do manejo reprodutivo e para o fortalecimento da aquicultura sustentável de peixes nativos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da caracterização do desenvolvimento gonadal de machos de *A. lacustris* feitas nesse estudo entre os sistemas de recirculação aquícola (RAS) e bioflocos (BFT), conclui-se que ambos os sistemas foram capazes de manter a atividade reprodutiva da espécie durante o período experimental.

Mesmo que os dois sistemas tenham proporcionado condições adequadas para a manutenção da função reprodutiva, diferenças foram observadas na dinâmica do desenvolvimento gonadal. Os machos mantidos em RAS apresentaram maior uniformidade entre os indivíduos, evidenciada pelo predomínio do estágio apto intermediário e por maiores valores de peso gonadal e índice gonadosomático em momentos específicos do experimento. Por outro lado, o sistema BFT promoveu uma maior diversidade de fases gonadais, indicando maior heterogeneidade no desenvolvimento reprodutivo, sem comprometimento da espermatogênese.

A análise histológica mostrou-se essencial para a compreensão desses padrões, permitindo a identificação das diferentes fases do desenvolvimento gonadal e confirmando a ocorrência de espermatogênese contínua na espécie. Dessa forma, este trabalho amplia o conhecimento sobre a fisiologia reprodutiva de *A. lacustris* e fornece informações que podem subsidiar o manejo de reprodutores mantidos em sistemas intensivos de cultivo.

Por fim, o presente estudo demonstrou que a escolha do sistema de cultivo pode ser orientada conforme o objetivo produtivo, o RAS é indicado para situações que demandam maior sincronização reprodutiva, enquanto o BFT pode ser vantajoso quando se busca diversidade de estágios e flexibilidade fisiológica. Por tanto, ambos os sistemas, se mostram viáveis para a aquicultura sustentável do lambari, contribuindo para o avanço do manejo reprodutivo e para a produção eficiente de peixes nativos em ambientes controlados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAKARI, Godwin; LUO, Guozhi; KOMBAT, Emmanuel O. Dynamics of nitrogenous compounds and their control in biofloc technology (BFT) systems: A review.

Aquaculture and Fisheries, v. 6, n. 5, p. 441-447, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.05.005>.

ALONSO-FERNÁNDEZ, Alexandre et al. The use of histological techniques to study the reproductive biology of the hermaphroditic Mediterranean fishes *Coris julis*, *Serranus scriba*, and *Diplodus annularis*. **Marine and Coastal Fisheries**, v. 3, n. 1, p. 145-159, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1080/19425120.2011.556927>.

BALDISSEROTTO, B.; GOMES, L. C. **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**. 2. ed. Santa Maria: Editora da UFSM, 2005. ISBN: 978-85-7391-081-1.

BARBOSA, F. T. L. et al. Sistema bioflocos. **Anais da X Mostra Científica FAMEZ/UFMS**, p. 308-313, 2017.

BHAT, Irfan Ahmad et al. Impact of shifting abiotic factors in aquaculture on fish breeding and reproduction: a review. **Blue Biotechnology**, v. 2, n. 1, p. 3, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1186/s44315-025-00027-9>.

BILLARD, Roland. Spermatogenesis and spermatology of some teleost fish species. **Reproduction Nutrition Développement**, v. 26, n. 4, p. 877-920, 1986.

BOYD, C. E. **Water quality: an introduction**. 2. ed. Cham: Springer, 2020. ISBN 978-3-030-23335-8.

BRANCO, Giovana Souza et al. Ontogeny of adenohipophyseal cells, pituitary gland development, and structure in adults of *Astyanax lacustris* (Teleostei, Characiformes): an emerging Neotropical model fish species. **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 51, n. 1, p. 33, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10695-024-01448-w>.

BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura. **Da Água à Mesa: aquicultura como solução às mudanças climáticas**. Disponível em: <https://www.gov.br/mpa/pt-br/assuntos/noticias/da-agua-a-mesa-aquicultura-como-solucao-as-mudancas-climaticas>.

BRAZILIANO, Bruna Mayra Bispo da Silva. Desenvolvimento testicular do peixe *Astyanax lacustris* (CHARACIDAE) submetidos por tempo prolongado à temperatura de 32° C. 2021. DOI: <http://hdl.handle.net/11449/215589>.

BROWN-PETERSON, Nancy J. et al. A standardized terminology for describing reproductive development in fishes. **Marine and Coastal Fisheries**, v. 3, n. 1, p. 52-70, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1080/19425120.2011.555724>.

CAMPANATI, Camilla et al. Sustainable intensification of aquaculture through nutrient recycling and circular economies: more fish, less waste, blue growth. **Reviews in Fisheries Science & Aquaculture**, v. 30, n. 2, p. 143-169, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/23308249.2021.1897520>.

CASTILHO-ALMEIDA, R. B. *Astyanax altiparanae* (Pisces, Characiformes) como modelo biológico de espécie de peixe para exploração zootécnica e biomanipulação. **Botucatu: Universidade Estadual Paulista**, 2007.

CHEN, Shulin; LING, Jian; BLANCHETON, Jean-Paul. Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. **Aquacultural engineering**, v. 34, n. 3, p. 179-197, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.09.004>.

DA SILVA, Raniell Ribeiro; BEZERRA, Vitor Alves; MELO, José Douglas G. Desempenho zootécnico de Tilápia Imperial Gift criada em sistema de Bioflocos sob diferentes densidades. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 9, p. e37111931958-e37111931958, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i9.31958>.

DAI, Limin; CHEN, Yuan; LI, Changwei. Environmental factor impacts on behavioral and physiological responses of aquaculture species in recirculating aquaculture systems: Mechanisms and regulation. **Aquaculture Reports**, v. 44, p. 103036, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.103036>.

DE MORAES, Mariana Bissoli et al. Espécies exóticas e alóctones da bacia do Rio Paraíba do Sul: implicações para a conservação. **Biodiversidade Brasileira**, v. 7, n. 1, p. 34-54, 2017. DOI: <https://doi.org/10.37002/biodiversidadebrasileira.v7i1.563>.

DEBES, Paul V. et al. Polygenic and major-locus contributions to sexual maturation timing in Atlantic salmon. **Molecular Ecology**, v. 30, n. 18, p. 4505-4519, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/mec.16062>.

DO NASCIMENTO, Nivaldo Ferreira et al. Análise estereológica de gônadas de peixes diploides e triploides tetra-amarelo *Astyanax altiparanae* (Garutti & Britski) em condições de laboratório. **Zygote**, v. 25, n. 4, p. 537-544, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0967199417000399>.

DO NASCIMENTO, Nivaldo Ferreira et al. Crescimento, composição de ácidos graxos e parâmetros reprodutivos de tetra cauda amarela diploide e triploide *Astyanax altiparanae*. **Aquicultura**, v. 471, p. 163-171, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.01.007>.

EMBRAPA. Sistema de bioflocos torna produção de tilápia mais sustentável e econômica em uso de água. **Portal Embrapa**, 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/103611877/sistema-de-bioflocos-torna-producao-de-tilapia-mais-sustentavel-e-economica-em-uso-de-agua>.

FERNANDES, E. J. et al. 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, p. e13469, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-13469>.

FONSECA, Tamara et al. Environmental accounting of the yellow-tail lambari aquaculture: Sustainability of rural freshwater pond systems. **Sustainability**, v. 14, n. 4, p. 2090, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14042090>.

GODA, Ashraf MA-S. et al. Optimizing nutrient utilization, hydraulic loading rate, and feed conversion ratios through freshwater IMTA-aquaponic and hydroponic systems as an environmentally sustainable aquaculture concept. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 14878, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-63919-7>.

GOLDEN, Christopher D. et al. Aquatic foods to nourish nations. **Nature**, v. 598, n. 7880, p. 315-320, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03917-1>.

GRIER, H. J. Comparative organization of Sertoli cells including the Sertoli cell barrier. In: RUSSELL, L. D.; GRISWOLD, M. D. (Eds.). *The Sertoli Cell*. Clearwater, FL: Cache River Press, 1993. p. 703–739.

GRIER, H. J.; LINTON, J. R. Ultrastructural identification of the Sertoli cell in the testis of the northern pike, *Esox lucius*. **American Journal of Anatomy**, v. 149, n. 2, p. 283-288, 1977. DOI: <https://doi.org/10.1002/aja.1001490211>.

GRIER, Harry J. Cellular organization of the testis and spermatogenesis in fishes. **American Zoologist**, v. 21, n. 2, p. 345-357, 1981. DOI: <https://doi.org/10.1093/icb/21.2.345>.

GRIER, Harry J.; ARANZABAL, Mari Carmen Uribe. The testis and spermatogenesis in teleosts. In: **Reproductive biology and phylogeny of fishes (agnathans and bony fishes)**. CRC Press, 2009. p. 119-142.

GUERRA LIRA, Lieschen Valeria. Vitelogênese pós-desova em lambaris, *Astyanax altiparanae*, mantidos em laboratório. 2015. DOI: <http://hdl.handle.net/11449/143022>.

HONJI, Renato Massaaki; DE MELLO, Paulo Henrique; ARAÚJO, Bruno Cavaleiro. Reproduction and development in fish: Solving bottlenecks in modern aquaculture. **Animals**, v. 15, n. 2, p. 145, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani15020145>.

JAMAL, Mamdoh T. et al. Biofloc technology: Emerging microbial biotechnology for the improvement of aquaculture productivity. **Polish journal of microbiology**, v. 69, n. 4, p. 401-409, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33073/pjm-2020-049>.

JATOBÁ, A.; SILVA, B. C. Densidade de estocagem na produção de juvenis de duas espécies de lambaris em sistema de recirculação. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 67, p. 1469-1474, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-8080>.

KOROMA, Juana et al. Aquaculture as Crucial Promoter for Sustainable Global Nutrition and Food Security. **Journal of Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 229-250, 2025. DOI: 10.58970/JSR.1106

LI, Hao et al. A review of influencing factors on a recirculating aquaculture system: Environmental conditions, feeding strategies, and disinfection methods. **Journal of the world aquaculture society**, v. 54, n. 3, p. 566-602, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1111/jwas.12976>.

LIMA, Jéssica Julian Fernandes et al. Zootechnical and reproductive performance of juvenile male *Astyanax lacustris* (Yellowtail Lambari) cultivated in Biofloc Technology (BFT) and Recirculating Aquaculture System (RAS). **Animal Reproduction**, v. 22, n. 4, p. e20250015, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2025-0015>.

LIMA, Jéssica Julian Fernandes. Desenvolvimento e desempenho reprodutivo de lambaris (*Astyanax lacustris*) cultivados em sistema de bioflocos e em sistema de recirculação com água clara. 2022. DOI: <http://hdl.handle.net/11449/235986>.

LIU, Wenchang et al. Performance of a recirculating aquaculture system using biofloc biofilters with convertible water-treatment efficiencies. **Science of the Total Environment**, v. 754, p. 141918, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141447>.

MANTOVANI, Alberto; FERRARI, Daniela; FRAZZOLI, Chiara. Sustainability, security and safety in the feed-to-fish chain: focus on toxic contamination. **Int J Nutr Food Sci**, v. 4, n. 2-2, p. 6-24, 2015. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.ijnfs.s.2015040202.12>.

MASUM BEG, Mirza et al. Study on recirculating aquaculture system (RAS) in organic fish production. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2024. p. 012013. DOI: 10.1088/1755-1315/1391/1/012013.

MERÇON, Julia et al. Evidence of reproductive disturbance in *Astyanax lacustris* (Teleostei: Characiformes) from the Doce River after the collapse of the Fundão Dam in Mariana, Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 47, p. 66643-66655, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15238-x>.

MURUGANANTHKUMAR, Raju; SUDHAKUMARI, Cheni-Chery. Understanding the impact of stress on teleostean reproduction. **Aquaculture and fisheries**, v. 7, n. 5, p. 553-561, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2022.05.001>.

NAGAHAMA, Yoshitaka. 6 The functional morphology of teleost gonads. In: **Fish physiology**. Academic Press, 1983. p. 223-275. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1546-5098\(08\)60290-3](https://doi.org/10.1016/S1546-5098(08)60290-3).

NÓBREGA, R. H.; BATLOUNI, S. R.; FRANÇA, L. R. An overview of functional and stereological evaluation of spermatogenesis and germ cell transplantation in fish. **Fish physiology and biochemistry**, v. 35, n. 1, p. 197-206, 2009. DOI: 10.1007/s10695-008-9252-z.

Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO). Informe da FAO: A produção mundial de pesca e aquicultura atinge novo recorde histórico. 7 de junho de 2024.

ORSI, Mário Luís; CARVALHO, Edmir Daniel; FORESTI, Fausto. Biologia populacional de *Astyanax altiparanae* Garutti & Britski (Teleostei, Characidae) do médio Rio Paranapanema, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 21, p. 207-218, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-81752004000200008>.

PARENTI, Lynne R.; GRIER, Harry J. Evolution and phylogeny of gonad morphology in bony fishes. **Integrative and comparative biology**, v. 44, n. 5, p. 333-348, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1093/icb/44.5.333>.

PUROHIT, Shriya et al. Evaluation of seasonal cyclicity of testicular development in adult Himalayan snow trout, *Schizothorax plagiostomus*. **Aquaculture Reports**, v. 27, p. 101333, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101333>.

QUIRINO, Patricia Postingel et al. Gonadal morphology and difference in reproductive development of two isolated populations of *Astyanax rivularis* (Teleostei, Characidae). **Journal of fish biology**, v. 99, n. 5, p. 1719-1728, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfb.14879>.

ROQUE, LAIS SANTOS. TECNOLOGIA DE BIOFLOCOS NA REPRODUÇÃO DE MACHOS DE LAMBARI-DO-RABO-AMARELO (*Astyanax lacustris*). 2025.

SAHADAN, Fatin Nabilah et al. Gonadotropin-releasing hormone (GnRH)-its approaches to improve reproduction in fish. **Sains Malaysiana**, v. 51, n. 11, p. 3539-3549, 2022. DOI: <http://doi.org/10.17576/jsm-2022-5111-03>.

SAID, Mohamed et al. Influence of stocking density on the growth, immune and physiological responses, and cultivation environment of white-leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in biofloc systems. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 11147, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-61328-4>.

SCHRECK, Carl B.; CONTRERAS-SANCHEZ, Wilfrido; FITZPATRICK, Martin S. Effects of stress on fish reproduction, gamete quality, and progeny. In: **Reproductive biotechnology in finfish aquaculture**. Elsevier, 2001. p. 3-24. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-50913-0.50005-9>.

SCHULZ, Rüdiger W. et al. Spermatogenesis in fish. **General and comparative endocrinology**, v. 165, n. 3, p. 390-411, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2009.02.013>.

SPICA, LOUISE NEX. Utilização da tecnologia de bioflocos (BFT) no retorno reprodutivo de machos e resfriamento de sêmen de pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. 2025.

SÚAREZ, Yzel R.; SILVA, Edileia A.; VIANA, Lucilene F. Reproductive biology of *Astyanax lacustris* (Characiformes: Characidae) in the southern Pantanal floodplain, upper Paraguay River basin, Brazil. **Environmental Biology of Fishes**, v. 100, n. 7, p. 775-783, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10641-017-0604-3>.

TUNDISI, José Galizia; TUNDISI, Takako Matsumura. **Limnologia**. Oficina de textos, 2016.

URIBE, Mari Carmen; GRIER, Harry J.; MEJÍA-ROA, Víctor. Comparative testicular structure and spermatogenesis in bony fishes. **Spermatogenesis**, v. 4, n. 3, p. e983400, 2014. DOI: <https://doi.org/10.4161/21565562.2014.983400>.

VAZZOLER, A. E. A. de M. Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática. Maringá: **EDUEM**, 1996. 169 p. **Parte II** – Prática, “Reconhecimento do sexo e escala de maturidade gonadal” (p. 111–114).

VINATEA-ARANA, L. Fundamentos de aquicultura. Florianópolis: UFSC, 2003.

WANG, Yuren et al. Increasing fish production in recirculating aquaculture system by integrating a biofloc-worm reactor for protein recovery. **Water Research X**, v. 24, p. 100246, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2024.100246>.

WOOTTON, Robert J.; SMITH, Carl. **Reproductive biology of teleost fishes**. John Wiley & Sons, 2014.

YU, Young-Bin et al. Biofloc technology in fish aquaculture: A review. *Antioxidants*, v. 12, n. 2, p. 398, 2023. | KHANJANI, Mohammad Hossein et al. Broodstock and seed production in biofloc technology (BFT): an updated review focused on fish and penaeid shrimp. *Aquaculture*, v. 579, p. 740278, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox12020398>.