

RESSALVA

Atendendo a solicitação do autor, o arquivo completo desta dissertação só será disponibilizado somente a partir de 18/02/2028.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

BEATRIZ SANTOS LOPES

ASPECTOS ESTRUTURAIS E ULTRAESTRUTURAIS DA
ESPERMIOGÊNESE DA PIRACANJUBA *Brycon orbignyanus* (BRYCONIDAE)
SUBMETIDOS A EXPOSIÇÃO PROLONGADA EM ALTA TEMPERATURA DA
ÁGUA

Ilha Solteira - SP
2026

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA ANIMAL

BEATRIZ SANTOS LOPES

**ASPECTOS ESTRUTURAIS E ULTRAESTRUTURAIS DA
ESPERMIOGÊNESE DA PIRACANJUBA *Brycon orbignyanus* (BRYCONIDAE)
SUBMETIDOS A EXPOSIÇÃO PROLONGADA EM ALTA TEMPERATURA DA
ÁGUA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestra em Ciência e Tecnologia Animal.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Rosicleire Veríssimo Silveira

Ilha Solteira - SP

2026

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvida pela Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

- L864a Lopes, Beatriz Santos.
Aspectos estruturais e ultraestruturais da espermiogênese da piracanjuba *Brycon orbignyanus* (Bryconidae) submetidos a exposição prolongada em alta temperatura da água / Beatriz Santos Lopes. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2026
54 f. : il.
- Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Ciência e Tecnologia Animal, 2026
- Orientadora: Rosicleire Veríssimo Silveira
Inclui bibliografia
1. Alterações ultraestruturais. 2. Biologia reprodutiva. 3. Espécie ameaçada.
4. Estresse térmico.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Esta pesquisa apresenta elevado potencial científico ao demonstrar como a exposição prolongada ao estresse térmico (34 °C) interfere na cinética da espermiogênese de uma espécie neotropical. Considerando que *Brycon orbignyanus* encontra-se criticamente ameaçada de extinção, os resultados tornam-se ainda mais relevantes para ações de conservação. Além disso, o estudo possui inserção nacional e internacional ao dialogar com esforços globais voltados à compreensão dos efeitos do aquecimento sobre organismos ectotérmicos, reforçando a importância da biologia reprodutiva para a segurança alimentar e a preservação da biodiversidade.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This research has significant scientific potential by demonstrating how prolonged exposure to heat stress (34 °C) affects the kinetics of spermatogenesis in a Neotropical species. Given that *Brycon orbignyanus* is critically endangered, the results are even more relevant for conservation efforts. Furthermore, the study has national and international relevance as it contributes to global efforts aimed at understanding the effects of warming on ectothermic organisms, reinforcing the importance of reproductive biology for food security and the preservation of biodiversity.

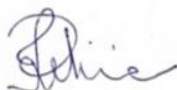
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Aspectos estruturais e ultraestruturais da espermiogênese da piracanjuba *Brycon orbignyanus* (Bryconidae) submetidos a exposição prolongada em alta temperatura da água

AUTORA: BEATRIZ SANTOS LOPES

ORIENTADORA: ROSICLEIRE VERISSIMO SILVEIRA

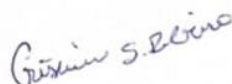
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Ciências ,
pela Comissão Examinadora:



Profa. Dra. ROSICLEIRE VERISSIMO SILVEIRA (Participação Presencial)
Departamento de Biologia e Zootecnia / UNESP / Câmpus de Ilha Solteira - FEIS

Documento assinado digitalmente
gov.br DIOGENES HENRIQUE DE SIQUEIRA SILVA
Data: 18/02/2026 10:35:32-0300
Verifique em <https://validar.jti.gov.br>

Prof. Dr. DIÓGENES HENRIQUE DE SIQUEIRA SILVA (Participação Virtual)
Faculdade de Biologia / Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará - UNIFESSPA



Profa. Dra. CRISTIÊLE DA SILVA RIBEIRO (Participação Presencial)
Departamento de Biologia e Zootecnia / UNESP / Câmpus de Ilha Solteira - FEIS

Ilha Solteira, 18 de fevereiro de 2026.

Dedico este trabalho às mãos que me sustentaram nos momentos difíceis e
aos olhos que sempre enxergaram em mim mais do que eu mesmo via...

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade de trilhar este caminho e por me proporcionar experiências transformadoras, tanto como pessoa quanto como profissional.

Agradeço também à Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Animal, Interunidades Ilha Solteira e Dracena, pela oportunidade de desenvolver este trabalho e pelo suporte institucional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), Código de Financiamento 001, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de pesquisa, processo nº 131444/2024-7, cujo apoio financeiro tornou possível a execução deste estudo e à Fapesp, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.

A minha orientadora Prof^a. Dr^a. Rosicleire Veríssimo Silveira, agradeço pela paciência, orientação generosa e por compartilhar não apenas conhecimento científico, mas também valores humanos que levarei para sempre comigo.

Aos membros da banca pela atenção desde o momento do convite, por compartilharem conhecimentos e pelo tempo dedicado à análise deste trabalho.

Ao professor Alexandre, aos colegas do LINEO e de jornada acadêmica, obrigada pelas conversas, risadas, trocas de experiências e por transformarem o caminho da pesquisa em algo mais leve e significativo.

Aos professores que tive o privilégio de conhecer ao longo desses anos, pelas valiosas contribuições durante as disciplinas e conversas que enriqueceram meus argumentos e expandiram meu conhecimento.

Aos meus pais e familiares pelo incentivo constante e por acreditarem em mim mesmo nos momentos em que duvidei das minhas próprias forças, todo o carinho e apoio advindo de vocês me fizeram ir muito além do que imaginava.

Ao meu namorado por toda a ajuda e motivação, você como pesquisador me inspira e sou grata por dividirmos tantos momentos enriquecedores.

Por fim, meus mais sinceros agradecimentos por todos aqueles que estenderam a mão para me ajudar, seja por meio de palavras ou atitudes.

“Quando nada parece ajudar, eu vou e olho o cortador de pedras martelando sua rocha talvez cem vezes sem que uma só rachadura apareça. No entanto, na centésima primeira martelada, a pedra se abre em duas, e eu sei que não foi aquela que conseguiu, mas todas as que vieram antes” (Mario Sergio Cortella, 2006, p. 69, *Não nascemos prontos!*).

RESUMO

As mudanças climáticas têm elevado as temperaturas médias globais, representando um risco para organismos ectotérmicos, como os peixes. A piracanjuba (*Brycon orbignyanus*), espécie neotropical criticamente ameaçada e de grande interesse aquícola, pode ter sua reprodução comprometida diante desse cenário. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da exposição prolongada à alta temperatura da água (34 °C) na ultraestrutura das células germinativas presentes no processo de espermiogênese e dos espermatozoides de *B. orbignyanus*. Para isso, machos com um ano de idade foram mantidos por 12 meses em sistemas de recirculação de água sob duas condições: grupo controle a 27 °C e grupo tratamento a 34 °C. Os testículos foram coletados, fixados e submetidos a análises estruturais e estereológicas por microscopia de luz e análises ultraestruturais por microscopia eletrônica de transmissão. Os animais do grupo controle apresentaram espermiogênese ativa e cística, com sincronia no desenvolvimento dos cistos das espermátides e espermatozoides, apresentando padrão ultraestrutural descrito para a espécie. Já no grupo mantido a 34 °C, observaram-se alterações significativas, como assincronia no desenvolvimento celular, compactação irregular da cromatina, presença de núcleos picnóticos, espermátides no lúmen, além do alongamento da fossa nuclear, diminuição do número de células espermáticas e aumento expressivo no compartimento intersticial. Esses achados indicam que a exposição prolongada a altas temperaturas promove desorganização testicular, morte celular e deformidades espermáticas, comprometendo a cinética da espermiogênese para a espécie.

Palavras-chave: alterações ultraestruturais; biologia reprodutiva; espécie ameaçada; estresse térmico.

ABSTRACT

Climate change has increased global average temperatures, posing a risk to ectothermic organisms such as fish. The piracanjuba (*Brycon orbignyanus*), a critically endangered Neotropical species of great aquaculture interest, may have its reproduction compromised under this scenario. The aim of this study was to evaluate the influence of prolonged exposure to high water temperature (34 °C) on the ultrastructure of germ cells involved in spermiogenesis and on the spermatozoa of *B. orbignyanus*. To this end, one-year-old males were maintained for 12 months in recirculating water systems under two conditions: a control group at 27 °C and a treatment group at 34 °C. The testes were collected, fixed, and subjected to structural and stereological analyses using light microscopy, as well as ultrastructural analyses using transmission electron microscopy. Animals from the control group exhibited active and cystic spermiogenesis, with synchronized development of spermatid and spermatozoa cysts, displaying the ultrastructural pattern described for the species. In contrast, the group maintained at 34 °C showed significant alterations, including asynchronous cell development, irregular chromatin condensation, presence of pyknotic nuclei, spermatids within the lumen, elongation of the nuclear fossa, a reduction in the number of spermatid cells, and a marked increase in the interstitial compartment. These findings indicate that prolonged exposure to high temperatures promotes testicular disorganization, cell death, and sperm deformities, thereby impairing the kinetics of spermiogenesis in the species.

Keywords: reproductive biology; threatened species; thermal stress; ultrastructural changes.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	11
1.1	A TEMPERATURA E A REPRODUÇÃO DOS TELEÓSTEOS.....	11
1.2	CARACTERÍSTICAS TESTICULARES E A ESPERMATOGÊNESE NOS TELEÓSTEOS.....	12
1.3	ALTAS TEMPERATURAS E A ESPERMATOGÊNESE EM PEIXES	15
1.4	<i>Brycon orbignyanus</i> (Valenciennes, 1849).....	16
1.5	OBJETIVOS.....	19
1.5.1	Objetivo Geral	19
1.5.2	Objetivos Específicos.....	19
	REFERÊNCIAS	20
2	A ALTA TEMPERATURA DA ÁGUA E AS ALTERAÇÕES NA CINÉTICA DA ESPERMIOGÊNESE DE <i>Brycon orbignyanus</i> (Bryconidae) UMA ESPÉCIE NEOTROPICAL.....	29
2.1	INTRODUÇÃO.....	30
2.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	31
2.3	RESULTADOS.....	34
2.4	DISCUSSÃO.....	43
2.5	CONCLUSÃO	45
2.6	AGRADECIMENTOS.....	45
	REFERÊNCIAS	47

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 A TEMPERATURA E A REPRODUÇÃO DOS TELEÓSTEOS

A temperatura é um dos fatores determinantes para a existência e interdependência dos organismos e espécies aquáticas, por isso ela não afeta apenas um organismo isolado, mas toda a estrutura do ecossistema aquático, como quem consegue viver no mesmo ambiente, se reproduz melhor, torna-se dominante ou entra em declínio (Oliver *et al.*, 2018). Dessa forma, cada espécie possui uma zona de conforto térmica, ou seja, uma faixa específica de temperatura na qual suas funções metabólicas podem ocorrer normalmente (Kubitza, 2000), tais como crescimento, desenvolvimento, migração e reprodução (Amaral; Vale, 2010).

Nos teleósteos a reprodução é modulada por fatores exógenos, que são estímulos ambientais, que do meio externo desencadeiam o início do desenvolvimento gonadal (Ribeiro; Moreira, 2012). Esses gatilhos são analisados e convertidos em sinais eletroquímicos e a partir desse momento, uma cascata hormonal é controlada pelo eixo encéfalo-hipófise-gônada (Trudeau, 2022; Guan *et al.*, 2026). Deste modo, a reprodução de peixes resulta da integração de fatores exógenos (fotoperíodo, chuvas, temperatura, condutividade da água) e endógenos (hormonais) (Vazzoler, 1996).

Nas fases iniciais do desenvolvimento embrionário, a determinação sexual nos peixes pode ser mediada por fatores genéticos, fisiológicos e comportamentais, sendo o sexo do indivíduo estabelecido sob a influência de fatores exógenos, entre eles a temperatura (Devlin; Nagahama, 2002; Ospina-Álvarez; Piferrer, 2008; Fernandino; Hattori, 2019). Algumas espécies apresentam genes determinantes do sexo distribuídos nos cromossomos autossômicos, isto é, cromossomos não sexuais, como observado em *Rhamdia quelen* (Garcia; Oliveira; Almeida-Toledo, 2010), *Arapaima gigas* (Marques; Venere; Galetti Junior, 2006) e em *Brycon orbignyanus* (Margarido; Galetti Junior, 1999). Nesses peixes neotropicais, o sexo resulta da ação conjunta de múltiplos genes, cuja expressão pode ser modulada pela temperatura, a qual também influencia os níveis hormonais.

Esses efeitos refletem diretamente na etapa subsequente, a diferenciação sexual, que corresponde a um conjunto de eventos regulados por cascatas de expressão gênica e ação hormonal, por meio dos quais as gônadas inicialmente indiferenciadas passam a se desenvolver estruturalmente e funcionalmente como

ovários ou testículos (Baroiller; Guiguen; Fostier, 1999; Devlin; Nagahama, 2002; Kitano, 2018).

Em *B. orbignyanus* com três meses de idade, à temperatura considerada de conforto para a espécie (27°C), as gônadas indiferenciadas dão origem a fêmeas, enquanto em machos essa diferenciação ocorre apenas aos cinco meses de idade. Parte das fêmeas diferenciadas passam por um processo de inversão sexual, e por um período de remodelamento gonadal, dando origem a espécimes intersexos (Quirino *et al.*, 2022). Quando submetidos à temperatura de 20 °C, por 420 dias, os espécimes ainda se encontravam indiferenciados, enquanto em 23 °C e 26 °C a proporção sexual foi predominantemente de machos (Carvalho *et al.*, 2023).

Portanto, sabe-se que a temperatura, especialmente nos aspectos reprodutivos, influencia diretamente a gametogênese, além de outros processos correlacionados, como a embriogênese, eclosão e sobrevivência das larvas (Pankhurst; Porter, 2003; Kumar *et al.*, 2022; Cheng *et al.*, 2025) e a duração do desenvolvimento embrionário, que pode acelerar em temperaturas elevadas, como observado em *Oreochromis niloticus* (Morrison; Miyake; Wright Jr., 2001) e *Pimelodus maculatus* (Buzollo *et al.*, 2011).

Além disso, foi demonstrado que a temperatura influencia no efeito transgenacional, através da ação dos mecanismos epigenéticos no salmão-do-atlântico, *Salmo salar* (Jonsson; Jonsson, 2019) e na espécie *Oncorhynchus mykiss* no qual, o estresse térmico durante as fases iniciais pode induzir efeitos permanentes em aspectos reprodutivos essenciais, como a maturação gonadal durante a fase adulta e ainda modular a capacidade adaptativa da respectiva progênie, quando submetidas às mesmas condições que os parentais (Butzge *et al.*, 2021).

1.2 CARACTERÍSTICAS TESTICULARES E A ESPERMATOGÊNESE NOS TELEÓSTEOS

Em teleósteos, o desenvolvimento gonadal cíclico e sazonal ocorre em razão de diversas alterações nas características morfológicas dos ovários e testículos, decorrentes da renovação dos gametas, por meio de sua diferenciação, desenvolvimento, maturação e liberação (Lowerre-Barbieri *et al.*, 2011), processos denominados ovogênese e espermatogênese, respectivamente.

Em machos, os testículos são compostos por dois compartimentos principais: o intertubular (região intersticial) e o compartimento germinativo ou tubular. O compartimento intertubular contém células de Leydig esteroidogênicas, vasos sanguíneos e linfáticos, macrófagos, mastócitos, células do tecido conjuntivo e neural. O compartimento tubular é delimitado por uma membrana basal e por células mióides peritubulares, que abrigam o epitélio germinativo. Este epitélio contém dois tipos de células, as células somáticas de Sertoli e as germinativas (Grier, 1981).

O epitélio germinativo pode ser caracterizado por “Contínuo” (EGC), com uma população contínua de células de Sertoli e células germinativas ao longo dos túbulos ou de forma “Descontínua” (EGD), caracterizada pela perda das células germinativas com a liberação dos espermatozoides (Grier; Taylor, 1998; Siqueira-Silva *et al.*, 2013). É por meio da observação e descrição das características desse epitélio, juntamente com os estágios das células germinativas presentes, que se classificam as fases do ciclo reprodutivo testicular em teleósteo (Brown-Peterson *et al.*, 2011).

Durante a maturação testicular ocorre a espermatogênese, processo conservado, complexo e regulado pelo eixo encéfalo-hipófise-gônada, que promove a proliferação e a diferenciação das células germinativas, originando os gametas masculinos (Schulz *et al.*, 2010). A espermatogênese inicia-se na fase proliferativa, em que as espermatogônias passam por sucessivas divisões mitóticas. Ao término das divisões, são chamadas de espermatogônias B e diferenciam-se em espermatócitos primários, que iniciam a meiose (Grier; Aranzabal, 2009; Nóbrega *et al.*, 2010). As espécies *B. orbignyanus* e *Astyanax lacustris* apresentaram nove gerações espermatogoniais (Benevente *et al.*, 2022; Rodrigues *et al.*, 2017), e, para as espécies *Danio rerio* (Leal *et al.*, 2009), *Cyprinus carpio* (Vigoya, 2016) e *Hoplias malabaricus* (Bizzott; Godinho, 2007), foi estimado cerca de oito gerações. Essas informações fornecem a capacidade de regulação da espermatogênese (Veríssimo-Silveira *et al.*, 2006) e de repopulação das células germinativas por meio de divisões mitóticas provenientes das espermatogônias de cada espécie, sendo uma característica espécie-específica (Honji; Araújo; Moreira, 2020).

Durante as divisões, as células de Sertoli, circundam as espermatogônias, formando espermatocistos, que correspondem às unidades funcionais do epitélio germinativo do testículo (Grier, 1993; Uribe; Grier; Mejía-Roa, 2014; Rodrigues *et al.*, 2017).

A próxima fase é denominada fase meiótica, na qual os espermatócitos primários (células germinativas diplóides) (Grier *et al.*, 1980; Benevente *et al.*, 2022) ao final da meiose I reduzem o número de cromossomos pela metade, gerando os espermatócitos secundários (células germinativas haplóides) (Honji; Araújo; Moreira, 2020; Zheng *et al.*, 2023) que prosseguem para a meiose II originando as células germinativas denominadas espermátides, garantindo a recombinação genética (Nóbrega *et al.*, 2010; Junqueira; Carneiro, 2023).

A última fase é caracterizada pela diferenciação celular das espermátides em espermatozoides, denominada espermiogênese (Nóbrega; Batlouni; França, 2009; Schulz *et al.*, 2010). Na espermiogênese, as divisões celulares cessam, ocorrendo mudanças morfológicas marcantes nas espermátides, como a formação da cabeça do espermatozoide, a compactação da cromatina, a formação da peça intermediária, a perda do excesso de citoplasma e o desenvolvimento do flagelo (Billard, 1983; Miura, 1999; Veríssimo-Silveira *et al.*, 2006). Ao término destes eventos, as ligações entre as projeções citoplasmáticas das células de Sertoli se rompem e os espermatozoides são liberados na luz do compartimento testicular (Grier, 1981; Billard, 1983), tornando-se células altamente especializadas para transferir o DNA masculino ao ovócito por meio da fertilização (Junqueira; Carneiro, 2023).

Quando a produção de espermatozoides ocorre completamente nos espermatocistos, a espermatogênese é descrita como tipo cística; no entanto, quando os cistos se abrem antes que a espermiogênese termine, liberando espermatócitos ou espermátides no lúmen testicular, passa a ser considerada semicística (Grier *et al.*, 1980; Mattei *et al.*, 1993; Grier; Aranzabal, 2009). A interação das células de Sertoli com as células germinativas está relacionada com a eficiência da espermatogênese (Siqueira-Silva; Rodrigues; Nóbrega, 2019), uma vez que as células de Sertoli auxiliam no desenvolvimento das células germinativas por meio do fornecimento de nutrientes, regulação hormonal, na caracterização do tipo de cisto representando o estágio em que a espermatogênese está ocorrendo e a quantidade de divisões mitóticas que as espermatogônias passam até se diferenciarem, influenciando diretamente na eficácia da produção dos espermatozoides (Matta *et al.*, 2002; Batlouni; Nóbrega; França, 2009; Hai *et al.*, 2014; Rodrigues *et al.*, 2015; Benevente *et al.*, 2022).

Por meio de estudos comparativos da morfologia dos espermatozoides com fecundação externa, são classificados em tipo I, tipo II e tipo III. No tipo I o eixo do

flagelo é perpendicular à base do núcleo, visto que este passa por rotação, já no tipo II o eixo do flagelo é paralelo à base do núcleo por não haver rotação durante a espermiogênese e no tipo III o desenvolvimento do flagelo é perpendicular ao núcleo com ausência de rotação nuclear e fossa nuclear rasa, podendo apresentar ou não um pequeno canal citoplasmático (Jamieson, 1991; Veríssimo-Silveira *et al.*, 2006; Quagio-Grassiotto *et al.*, 2020). Essas características podem servir de auxílio no reconhecimento de organismos filogeneticamente aproximados por meio da ultraestrutura dos espermatozoides, pela variação da espermiogênese e pelo tipo de espermatogênese (Quagio-Grassiotto *et al.*, 2001; Veríssimo-Silveira *et al.*, 2006).

1.3 ALTAS TEMPERATURAS E A ESPERMATOGÊNESE EM PEIXES

Até meados do século XX, as médias de longo prazo dos parâmetros climáticos, como a temperatura, variavam lentamente. Entretanto, essa realidade se alterou significativamente a partir da década de 1970, em função da aceleração das mudanças climáticas associadas ao aquecimento global (Chen *et al.*, 2011; Cortizo, 2023; IPCC, 2023). Quando essas variações ocorrem de forma abrupta, podem acelerar o ciclo e a época reprodutiva (Scherer *et al.*, 2023), alterar os padrões de migração, uma vez que muitas espécies tendem a se deslocar para escapar de condições ambientais adversas (Possamai *et al.*, 2018) e até mesmo modificar o comportamento reprodutivo, afetando processos fisiológicos e sociais relacionados a reprodução (Campos; Val; Almeida-Val, 2018), gerando impactos negativos sobre a reprodução dos teleósteos (Miranda-Chumacero *et al.*, 2020).

Os impactos causados pela elevação da temperatura nos teleósteos dependem da espécie, da amplitude e do tempo de exposição (Alix *et al.*, 2020). Partindo desse conhecimento, pesquisadores investigaram algumas espécies; dentre elas, foi observado em *Astyanax altiparanae* a aceleração do processo de espermatogênese, reduzindo o processo de 5 dias para 24 horas, quando expostos às temperaturas de 27 °C e 32 °C (Quirino *et al.*, 2021). Já em *Oreochromis niloticus* mantidos em 20 °C, 25 °C e 30 °C, na temperatura mais elevada a espermatogênese teve duração de aproximadamente 6 dias e para 25 °C de 10 a 11 dias, evidenciando uma aceleração no processo em 30 °C (Vilela *et al.*, 2003).

Temperaturas elevadas podem ainda promover a depleção da espermatogênese. Indivíduos de *A. altiparanae* tiveram a espermatogênese esgotada,

com ausência de espermatozoides e os poucos cistos presentes apresentavam células picnóticas quando cultivados a 35 °C (Siqueira-Silva *et al.*, 2015), sendo estes também presentes à temperatura de 32 °C, resultando em morte celular (Quirino *et al.*, 2021). Para a espécie *Danio rerio*, quando exposta à temperatura de 35 °C por uma semana, observou-se o aumento de células germinativas em apoptose (Nóbrega *et al.*, 2010).

Para a espécie *Cottus gobio*, os resultados indicaram inibição da maturação gonadal, entendida como a falha na progressão normal do desenvolvimento gonadal, indicada pela ausência do pico do IGS e pelos baixos níveis de esteroides sexuais quando expostos a um aumento de 8 °C na temperatura da água (Dorts *et al.*, 2012). Pesquisadores investigaram as flutuações diárias da temperatura na espécie *Odontesthes bonariensis* e observaram que os pulsos de água quente durante a desova reduziram os níveis plasmáticos de esteroides sexuais, interrompendo consequentemente, os níveis do eixo reprodutivo, prejudicando a reprodução (Elisio; Chalde; Miranda, 2012).

Com o intuito de encontrar condições ideais de criação para *Cyclopterus lumpus* em cativeiro, 3 temperaturas foram testadas (6 °C, 9 °C e 14 °C), sendo que, na temperatura mais elevada, houve uma redução significativa na densidade de espermatozoides (Pountney *et al.*, 2020).

Temperaturas acima da faixa ideal podem causar malformações, atraso ou antecipação da eclosão, menor crescimento inicial e maior mortalidade larval, especialmente quando combinadas a outros fatores como hipóxia e mudanças na qualidade da água. Influenciando também proteínas envolvidas na sinalização e defesa celular, regulação osmótica, expressão gênica, equilíbrio homeostático, no desenvolvimento e na elevação dos níveis de cortisol como observado em *Colossoma macropomum* criados em cativeiro (Oliveira; Val, 2017).

Neste sentido, os efeitos decorrentes da elevação da temperatura da água podem ser ainda mais severos para espécies neotropicais e ameaçadas, a exemplo da piracanjuba, *B. orbignyanus*.

1.4 *Brycon orbignyanus* (Valenciennes, 1849)

Pertencente a subfamília Bryconinae, *B. orbignyanus* é uma espécie neotropical nativa de rios e bacias hidrográficas da América do Sul, principalmente

encontrada no Brasil, Argentina e Paraguai e de reprodução sazonal, com alto potencial produtivo devido à sua boa conversão alimentar (Vaz; Torquato; Barbosa, 2000; Zardo *et al.*, 2021). No entanto, atualmente está classificada como Ameaçada (Endangered – EN) pela *International Union for Conservation of Nature* (IUCN, 2020) e, em âmbito nacional, a espécie apresenta um status ainda mais preocupante, sendo listada como Criticamente Ameaçada de Extinção (CR) segundo a Portaria do Ministério do Meio Ambiente nº 148, de 7 de junho de 2022 (ICMBio, 2022, 2023). Essa classificação interliga-se à construção de um grande número de barragens hidrelétricas que impedem a sua migração reprodutiva e ao desmatamento ciliar que reduz a disponibilidade da sua alimentação natural, o que se agrava ainda mais com a deterioração da qualidade da água devido à poluição (Lopera-Barrero, 2009).

Por possuir hábito alimentar onívoro, com preferência por frutos e insetos, alimentando-se também de outros invertebrados, sementes, plantas aquáticas e peixes (Vaz; Torquato; Barbosa, 2000), caracteriza-se como uma ótima dispersora de sementes. A espécie desempenha um papel muito importante nos ecossistemas aquáticos, por ser considerada uma espécie indicadora ecológica (Lopera-Barrero, 2009). Portanto, o aumento das populações em um determinado ambiente indica conservação do ecossistema ou sucesso de programas de repovoamento (Metzger; Casatti, 2006).

Devido a estes fatores, pesquisas buscam investigar a espermatogênese da espécie para uma melhor compreensão dos processos reprodutivos. Por meio de análises estereológicas, estima-se que as espermatogônias passam por aproximadamente 9 divisões mitóticas antes de se diferenciarem em espermatócito primário, sendo uma característica espécie-específica (Benevente *et al.*, 2022).

Além disso, estudos apontam que *B. orbignyanus* atinge maturidade sexual tardiamente, os machos por volta dos dois anos de idade e as fêmeas aos três anos (Zaniboni Filho; Schulz, 2003) e uma parcela das fêmeas podem passar por inversão acompanhada de remodelação gonadal, resultando inicialmente em indivíduos intersexuais e, posteriormente, em machos secundários com uma proporção sexual de 1♀: 2♂ (Quirino *et al.*, 2022). Esse aspecto foi investigado mais a fundo, a partir dos hormônios andrógenos presentes no plasma sanguíneo, em que níveis elevados de 11-cetotestosterona (11-KT) observados em indivíduos intersexuais e machos funcionais, sugerindo sua atuação como principal mediador no processo de diferenciação e inversão gonadal (Quirino *et al.*, 2025).

Ao combinar essa característica, investigada em conjunto com diferentes temperaturas da água, indivíduos com 420 dias após a fertilização, em 26 °C, aceleraram o desenvolvimento gonadal, evidenciando machos em fase de regressão (Carvalho *et al.*, 2023). As análises seminais em *B. orbignyanus* revelaram diferenças significativas entre os grupos expostos por tempo prolongado às temperaturas de 27 °C e 34 °C, como redução da concentração espermática e aumento de danos na membrana espermática, comprometendo a qualidade seminal de indivíduos submetidos a altas temperaturas (Silva, 2024).

Estudos prévios descreveram a ultraestrutura da espermiogênese de peixes da ordem Characiformes, com destaque para a espécie em questão, na qual se observa uma fossa nuclear profunda, peça intermediária longa, poucas mitocôndrias e flagelo perpendicular ao núcleo (Aires; Stefanini; Orsi, 2000). Outro trabalho destaca a peculiaridade da subfamília Bryconinae por apresentar anéis concêntricos membranosos ao redor do segmento inicial do flagelo (Veríssimo-Silveira *et al.*, 2006). Entretanto, não há informações de como a temperatura pode afetar a espermiogênese de *B. orbignyanus*.

Diante do que foi abordado, a compreensão da influência da elevação da temperatura na biologia reprodutiva dos peixes constitui base para estudos sobre preservação, ecologia, mudanças climáticas e produção aquícola (Lema *et al.*, 2024). Além disso, esse conhecimento reforça a necessidade de programas eficazes de reintrodução e ações de manejo focadas no restabelecimento das populações (Fornari *et al.*, 2014; Muelbert *et al.*, 2018).

Nesse sentido, é essencial investigar os processos de desenvolvimento das células germinativas, ciclo reprodutivo, características morfológicas, ultraestruturais e fisiológicas (Rodrigues *et al.*, 2015), pois esses aspectos estabelecem a elaboração de técnicas voltadas à conservação e produção em cativeiro (Toth *et al.*, 1997; Sanchez *et al.*, 2024) uma vez que a produção de espermatozoides maduros e férteis é uma etapa necessária para a continuação das espécies (Hao; Ni; Yang, 2019).

Considerando o exposto acima, a hipótese testada para o presente trabalho é que a temperatura elevada da água promove alterações morfológicas ao longo da espermiogênese de *B. orbignyanus*.

REFERÊNCIAS

- AIRES, Eduardo Duarte; STEFANINI, Maíra Aparecida; ORSI, Antonio Marcos. Ultrastructural features and differentiation of the spermatids in *Brycon orbignyanus* during the spermiogenesis. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 37, p. 183–188, 2000.
- ALIX, Maud; KJESBU, Olav S.; ANDERSON, Kelli C. From gametogenesis to spawning: How climate-driven warming affects teleost reproductive biology. **Journal of Fish Biology**, v. 97, n. 3, p. 607–632, 2020.
- AMARAL, Marilu Teixeira; VALE, Rúbia Camila dos Santos. BIODIVERSIDADE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS: UM OLHAR SOBRE A AMAZÔNIA. v. 6, 2010.
- BALDISSEROTTO, Bernardo; GOMES, Levy. **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**. [S.l.]: UFSM Santa Maria, 2005.
- BAROILLER, J. F.; GUIGUEN, Y.; FOSTIER, A. Endocrine and environmental aspects of sex differentiation in fish. **Cellular and Molecular Life Sciences CMLS**, v. 55, n. 6, p. 910–931, 1 jun. 1999.
- BATLOUNI, S. R.; NÓBREGA, R. H.; FRANÇA, L. R. Cell junctions in fish seminiferous epithelium. **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 35, n. 1, p. 207–217, 1 mar. 2009.
- BAUM, J. S.; GEORGE, J. P. S.; MCCALL, K. Programmed cell death in the germline. **Seminars in Cell & Developmental Biology**, Cellular Cholesterol Metabolism and Trafficking and Apoptosis in Development. v. 16, n. 2, p. 245–259, 1 abr. 2005.
- BENEVENTE, Cristiane Fernanda *et al.* Stereological analysis of spermatogenesis in *Brycon orbignyanus* (Characiformes: Bryconidae). **Aquaculture Research**, v. 53, n. 18, p. 6664–6670, 2022.
- BILLARD, Roland. Spermiogenesis in the rainbow trout (*Salmo gairdneri*). **Cell and Tissue Research**, v. 233, n. 2, p. 265–284, 1 ago. 1983.
- BIZZOTT, Paula M.; GODINHO, Hugo P. Morphometric evaluation of the spermatogenesis in trahira *Hoplias malabaricus* (Bloch) (Characiformes, Erythrinidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 24, p. 541–544, 2007.
- 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, 1 jan. 2011.
- BUTZGE, Arno Juliano *et al.* Early warming stress on rainbow trout juveniles impairs male reproduction but contrastingly elicits intergenerational thermotolerance. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 17053, 23 ago. 2021.

- BUZOLLO, Hellen *et al.* Structural analysis of the *Pimelodus maculatus* (Lacépède, 1803) embryogenesis (Siluriformes: Pimelodidae). **Neotropical Ichthyology**, v. 9, p. 601–616, 2011.
- CAMPOS, D. F.; VAL, A. L.; ALMEIDA-VAL, V. M. F. The influence of lifestyle and swimming behavior on metabolic rate and thermal tolerance of twelve Amazon forest stream fish species. **Journal of Thermal Biology**, v. 72, p. 148–154, fev. 2018.
- CARVALHO, Helena Robattini *et al.* Temperature modulates gonadal development and sex ratio of piracanjuba *Brycon orbignyanus*. **Aquaculture**, v. 565, p. 739099, fev. 2023.
- CECCARELLI, P. S.; SENHORINI, J. A.; VOLPATO, G. **Dicas em piscicultura ; perguntas e respostas**. [S.l.]: Santana Gráfica Editora, 2000.
- CHEN, I.-Ching *et al.* Rapid Range Shifts of Species Associated with High Levels of Climate Warming. **Science**, v. 333, n. 6045, p. 1024–1026, 19 ago. 2011.
- CHENG, Yu *et al.* Impacts of Global Warming on Quality of Male Fishes: Evidence From A Meta-Analysis of Temperature Effects on Sperm Motility Kinematics. **Reviews in Aquaculture**, v. 17, n. 1, p. e12961, 2025.
- CORTIZO, Sérgio. **Impacto observado das mudanças climáticas nos rios brasileiros**. SciELO Preprints, , 10 ago. 2023. Disponível em: <<https://preprints.scielo.org/index.php/scielo/preprint/view/6418>>. Acesso em: 16 jan. 2026
- DEVLIN, Robert H.; NAGAHAMA, Yoshitaka. Sex determination and sex differentiation in fish: an overview of genetic, physiological, and environmental influences. **Aquaculture**, v. 208, n. 3–4, p. 191–364, jun. 2002.
- DONELSON, Jennifer M. *et al.* Acclimation to predicted ocean warming through developmental plasticity in a tropical reef fish. **Global Change Biology**, v. 17, n. 4, p. 1712–1719, 2011.
- DORTS, Jennifer *et al.* Evidence that elevated water temperature affects the reproductive physiology of the European bullhead *Cottus gobio*. **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 38, n. 2, p. 389–399, 1 abr. 2012.
- ELISIO, Mariano; CHALDE, Tomás; MIRANDA, Leandro A. Efeitos de curtos períodos de flutuações de temperatura da água no eixo endócrino reprodutivo da desova do peixe-rei (*Odontesthes bonariensis*). **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 163, n. 1, p. 47–55, 1 set. 2012.
- FERNANDINO, Juan Ignacio; HATTORI, Ricardo Shohei. Sex determination in Neotropical fish: Implications ranging from aquaculture technology to ecological assessment. **General and Comparative Endocrinology**, v. 273, p. 172–183, mar. 2019.
- FORNARI, Carlos Darci *et al.* Cooling protocol for embryos of piracanjuba *Brycon orbignyanus* (Valenciennes, 1850). **Semina Ci. agr.**, v. 35, p. 2809–2816, 2014.

GALLUZZI, L. *et al.* Cell death modalities: classification and pathophysiological implications. **Cell Death & Differentiation**, v. 14, n. 7, p. 1237–1243, 1 jul. 2007.

GARCIA, C.; OLIVEIRA, C.; ALMEIDA-TOLEDO, L. F. Karyotypic evolution trends in *Rhamdia quelen* (Siluriformes, Heptapteridae) with considerations about the origin and differentiation of its supernumerary chromosomes. **Genetics and Molecular Research**, v. 9, n. 1, p. 365–384, 2010.

GRIER, H. J. *et al.* Structural evidence for two different testicular types in teleost fishes. **American Journal of Anatomy**, v. 159, n. 3, p. 331–345, 1980.

GRIER, H. J.; TAYLOR, R. G. Testicular maturation and regression in the common snook. **Journal of Fish Biology**, v. 53, n. 3, p. 521–542, 1998.

GRIER, Harry J. Cellular Organization of the Testis and Spermatogenesis in Fishes¹. **American Zoologist**, v. 21, n. 2, p. 345–357, 1 maio 1981.

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

GRIER, HJ. Comparative organization of Sertoli cells including the Sertoli cell barrier. **The Sertoli Cell**, p. 703–739, 1993.

GUAN, Qiao *et al.* Regulatory mechanisms of temperature on the gonadal development of fish. **Aquaculture**, v. 613, p. 743382, 1 fev. 2026.

HAI, Yanan *et al.* The roles and regulation of Sertoli cells in fate determinations of spermatogonial stem cells and spermatogenesis. **Seminars in Cell & Developmental Biology**, Regulation of Spermatogenesis & Nuclear envelope proteins in health and diseases. v. 29, p. 66–75, 1 maio 2014.

HAO, Shuang-Li; NI, Fei-Da; YANG, Wan-Xi. The dynamics and regulation of chromatin remodeling during spermiogenesis. **Gene**, v. 706, p. 201–210, 20 jul. 2019.

HONJI, Renato Massaaki; ARAÚJO, Bruno Cavalheiro; MOREIRA, Renata Guimarães. FISILOGIA REPRODUTIVA APLICADA AO CULTIVO DE PEIXES NEOTROPICAIS. **Ciência Animal**, v. 30, n. 4, p. 123–137, 2020.

JAMIESON, Barrie G. M. **Fish Evolution and Systematics: Evidence from Spermatozoa: With a Survey of Lophophorate, Echinoderm and Protochordate Sperm and an Account of Gamete Cryopreservation**. [S.l.]: Cambridge University Press, 1991.

JONSSON, B.; JONSSON, Nina. Phenotypic plasticity and epigenetics of fish: embryo temperature affects later-developing life-history traits. **Aquatic Biology**, v. 28, p. 21–32, 11 abr. 2019.

JUNQUEIRA, Luiz Carlos; CARNEIRO, José. **Histologia Basica - Textos E Atlas**. 14. ed. RIO DE JANEIRO, RJ: Editora Guanabara Koogan Ltda, 2023.

KITANO, Takeshi. Endocrine and Environmental Control of Sex Differentiation in Gonochoristic Fish. *In*: KOBAYASHI, Kazuya *et al.* (Orgs.). **Reproductive and Developmental Strategies: The Continuity of Life**. Tokyo: Springer Japan, 2018. p. 307–319.

KOWALSKI, Radosław Kajetan; CEJKO, Beata Irena. Sperm quality in fish: Determinants and affecting factors. **Theriogenology**, v. 135, p. 94–108, 1 set. 2019.

KUBITZA, Fernando. **Tilapia: Tecnologia E Planejamento Na Producao Comercial**. [S.l.]: Não definido, 2000.

KUMAR, Prem *et al.* Effect of Changing Environmental Factors on Reproductive Cycle and Endocrinology of Fishes. *In*: SINHA, Archana; KUMAR, Shivendra; KUMARI, Kavita (Orgs.). **Outlook of Climate Change and Fish Nutrition**. Singapore: Springer Nature, 2022. p. 377–396.

LAHNSTEINER, Franz; LEITNER, Stephanie. Effect of Temperature on Gametogenesis and Gamete Quality in Brown Trout, *Salmo trutta*. **Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological Genetics and Physiology**, v. 319, n. 3, p. 138–148, 2013.

LEAL, Marcelo C. *et al.* Histological and stereological evaluation of zebrafish (*Danio rerio*) spermatogenesis with an emphasis on spermatogonial generations. **Biology of Reproduction**, v. 81, n. 1, p. 177–187, jul. 2009.

LEMA, Sean C. *et al.* Fish reproduction in a warming world: vulnerable points in hormone regulation from sex determination to spawning. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 379, n. 1898, p. 20220516, 5 fev. 2024.

LOPERA-BARRERO, N. M. Conservation of *Brycon orbignyanus* natural populations and stocks for their reproductive, genetic, environmental sustainability: A model for species threatened with extinction. **Ciencia e investigación agraria**, v. 36, n. 2, p. 191–208, ago. 2009.

LOWERRE-BARBIERI, Susan K. *et al.* Emerging Issues and Methodological Advances in Fisheries Reproductive Biology. **Marine and Coastal Fisheries**, v. 3, n. 1, p. 32–51, 1 jan. 2011.

MARGARIDO, Vladimir Pavan; GALETTI JUNIOR, Pedro Manoel. Heterochromatin patterns and karyotype relationships within and between the genera *Brycon* and *Salminus* (Pisces, Characidae). **Genetics and Molecular Biology**, v. 22, p. 357–361, 1999.

MARQUES, Debora Karla; VENERE, Paulo Cesar; GALETTI JUNIOR, Pedro Manoel. Chromosomal characterization of the bonytongue *Arapaima gigas* (Osteoglossiformes: Arapaimidae). **Neotropical Ichthyology**, v. 4, p. 215–218, 2006.

MATTA, Sérgio L. P. *et al.* The Goitrogen 6-n-Propyl-2-Thiouracil (PTU) Given during Testis Development Increases Sertoli and Germ Cell Numbers per Cyst in Fish: The Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Model. **Endocrinology**, v. 143, n. 3, p. 970–978, 1 mar. 2002.

MATTEI, X. *et al.* Peculiarities in the organization of testis of *Ophidian* sp. (Pisces Teleostei). Evidence for two types of spermatogenesis in teleost fish. **Journal of Fish Biology**, v. 43, n. 6, p. 931–937, dez. 1993.

METZGER, Jean Paul; CASATTI, Lilian. Do diagnóstico à conservação da biodiversidade: o estado da arte do programa BIOTA/FAPESP. **Biota Neotropica**, v. 6, 2006.

MIRANDA-CHUMACERO, Guido *et al.* Threatened fish spawning area revealed by specific metabarcoding identification of eggs and larvae in the Beni River, upper Amazon. **Global Ecology and Conservation**, v. 24, p. e01309, dez. 2020.

MIURA, T. Spermatogenetic cycle in fish. **Encyclopedia of reproduction**, v. 4, p. 571–578, 1999.

MORRISON, Carol M.; MIYAKE, Tsutomu; WRIGHT JR., James R. Histological study of the development of the embryo and early larva of *Oreochromis niloticus* (Pisces: Cichlidae). **Journal of Morphology**, v. 247, n. 2, p. 172–195, 2001.

MUELBERT, Juan Ramon Esquivel *et al.* Assessing the viability of reintroduction of locally extinct migratory fish brycon orbignyanus : successful growth, dispersal and maturation. 2018.

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, 1 mar. 2009.

NÓBREGA, Rafael Henrique *et al.* Spermatogonial Stem Cell Niche and Spermatogonial Stem Cell Transplantation in Zebrafish. **PLOS ONE**, v. 5, n. 9, p. e12808, 20 set. 2010.

OLIVEIRA, Alzira M.; VAL, Adalberto L. Effects of climate scenarios on the growth and physiology of the Amazonian fish tambaqui (*Colossoma macropomum*) (Characiformes: Serrasalminidae). **Hydrobiologia**, v. 789, n. 1, p. 167–178, 1 mar. 2017.

OLIVER, Eric C. J. *et al.* Longer and more frequent marine heatwaves over the past century. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, p. 1324, 10 abr. 2018.

OSPINA-ÁLVAREZ, Natalia; PIFERRER, Francesc. Temperature-Dependent Sex Determination in Fish Revisited: Prevalence, a Single Sex Ratio Response Pattern, and Possible Effects of Climate Change. **PLOS ONE**, v. 3, n. 7, p. e2837, 30 jul. 2008.

PANKHURST, N. W.; PORTER, M. J. R. Cold and dark or warm and light: variations on the theme of environmental control of reproduction. **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 28, n. 1, p. 385–389, 1 mar. 2003.

POSSAMAI, Bianca *et al.* Variabilidade temporal (1997-2015) de guildas de peixes tróficos e suas relações com eventos *El Niño* em um estuário subtropical. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 202, p. 145–154, 5 mar. 2018.

POUNTNEY, Samuel M. *et al.* Altas temperaturas são prejudiciais ao desempenho reprodutivo do peixe-lumpo (*Cyclopterus lumpus* , L.) em cativeiro. **Aquaculture**, v. 522, p. 735121, 30 maio 2020.

PUDNEY, Jeffrey. Spermatogenesis in nonmammalian vertebrates. **Microscopy Research and Technique**, v. 32, n. 6, p. 459–497, 1995.

QUAGIO-GRASSIOTTO, I. *et al.* Ultrastructure of spermatogenic cells and spermatozoa in *Hoplias malabaricus* (Teleostei, Characiformes, Erythrinidae). **Journal of Fish Biology**, v. 59, n. 6, p. 1494–1502, 2001.

QUAGIO-GRASSIOTTO, Irani *et al.* Spermiogenesis and sperm ultrastructure as sources of phylogenetic characters. The example of characid fishes (Teleostei: Characiformes). **Zoologischer Anzeiger**, v. 289, p. 77–86, 1 nov. 2020.

QUIRINO, Patricia Postingel *et al.* The influence of increased water temperature on the duration of spermatogenesis in a neotropical fish, *Astyanax altiparanae* (Characiformes, Characidae). **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 47, n. 3, p. 747–755, 1 jun. 2021.

QUIRINO, Patricia Postingel *et al.* Female sex inversion as a reason for an unbalanced sex ratio in the neotropical species *Brycon orbignyanus*. **Aquaculture Research**, v. 53, n. 5, p. 1706–1726, 2022.

QUIRINO, Patricia Postingel *et al.* Ultrastructure and androgen analysis during sex inversion of *Brycon orbignyanus* reared in captivity. **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 51, n. 3, p. 104, 28 maio 2025.

RIBEIRO, Cristiële da Silva; MOREIRA, Renata Guimarães. Environmental factors and fish reproduction. **Revista da Biologia**, v. 8, n. 1, p. 58–61, 2012.

RIBEIRO, Yves Moreira *et al.* Biomarker responses induced by bisphenol A on spermatogenesis in a Neotropical teleost fish are temperature-dependent. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 224, p. 112670, nov. 2021.

RODRIGUES, Maira da Silva *et al.* Espermatogênese no lambari-do-rabo-amarelo *Astyanax altiparanae*: uma análise histológica com ênfase aos tipos espermatogoniais e espermático. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 41, n. especial, p. 697–705, 2015.

RODRIGUES, Maira Da Silva *et al.* The efficiency of spermatogenesis and the support capacity of Sertoli cells in Characiformes. **Theriogenology**, v. 103, p. 149–152, nov. 2017.

ROTILI, Daniel Antonio *et al.* Sex steroid levels in females and males of *Brycon orbignyanus* throughout different juvenile and adult ages and during induction hormone in the mature females. **Aquaculture**, v. 548, p. 737695, fev. 2022.

SANCHEZ, Malbelys Padilla *et al.* Relationship between seminal plasma composition and sperm quality parameters of the catfish *Pseudoplatystoma reticulatum*. **Neotropical Ichthyology**, v. 22, n. 2, p. e230109, 2024.

SCHERER, Laura *et al.* Climate change threats to the global functional diversity of freshwater fish. **Global Change Biology**, v. 29, n. 13, p. 3781–3793, 2023.

SCHULZ, Rüdiger W. *et al.* Spermatogenesis in fish. **General and Comparative Endocrinology**, v. 165, n. 3, p. 390–411, fev. 2010.

SEEBACHER, Frank; WHITE, Craig R.; FRANKLIN, Craig E. Physiological plasticity increases resilience of ectothermic animals to climate change. **Nature Climate Change**, v. 5, n. 1, p. 61–66, jan. 2015.

SIQUEIRA-SILVA, Diógenes Henrique de *et al.* The effects of temperature and busulfan (Myleran) on the yellowtail tetra *Astyanax altiparanae* (Pisces, Characiformes) spermatogenesis. **Theriogenology**, v. 84, n. 6, p. 1033–1042, out. 2015.

SIQUEIRA-SILVA, Diógenes Henrique de; DA SILVA RODRIGUES, Maira; NÓBREGA, Rafael Henrique. Testis structure, spermatogonial niche and Sertoli cell efficiency in Neotropical fish. **General and Comparative Endocrinology**, Endocrinology of Neotropical Vertebrates. v. 273, p. 218–226, 1 mar. 2019.

SIQUEIRA-SILVA, Diógenes Henrique De *et al.* Reproductive cycle of the Neotropical cichlid yellow peacock bass *Cichla kelberi*: A novel pattern of testicular development. **Neotropical Ichthyology**, v. 11, n. 3, p. 587–596, set. 2013.

TOTH, Gregory P. *et al.* Análise objetiva da motilidade espermática no esturjão-do-lago, *Acipenser fulvescens*: condições de ativação e inibição. **Aquaculture**, v. 154, n. 3, p. 337–348, 18 ago. 1997.

TRUDEAU, Vance L. Neuroendocrine Control of Reproduction in Teleost Fish: Concepts and Controversies. **Annual Review of Animal Biosciences**, v. 10, n. Volume 10, 2022, p. 107–130, 15 fev. 2022.

URIBE, Mari Carmen; GRIER, Harry J.; MEJÍA-ROA, Víctor. Comparative testicular structure and spermatogenesis in bony fishes. **Spermatogenesis**, v. 4, n. 3, p. e983400, 4 maio 2014.

VAZ, MM; TORQUATO, VC; BARBOSA, ND de C. Guia ilustrado de peixes da bacia do Rio Grande. **Belo Horizonte: Cemig/Cetec**, 2000.

VAZZOLER, Anna Emília Amato de Moraes. **Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática**. [S.l.]: EDUEM, 1996.

VERÍSSIMO-SILVEIRA, R. *et al.* Spermiogenesis and spermatozoa ultrastructure in *Salminus* and *Brycon*, two primitive genera in Characidae (Teleostei: Ostariophysi: Characiformes). **Acta Zoologica**, v. 87, n. 4, p. 305–313, 2006.

VIGOYA, Arias; ANDRÉS [UNESP, Angel. Transplante de espermatogônias tronco em peixes teleósteos, utilizando como modelo experimental a carpa comum (*Cyprinus carpio*). 8 dez. 2016.

VILELA, D. A. R. *et al.* Spermatogenesis in teleost: insights from the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) model. **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 28, n. 1, p. 187–190, 1 mar. 2003.

ZANIBONI FILHO, E.; SCHULZ, U. H. Migratory Fishes of the Uruguay River. *In*: **Migratory Fishes of South America. Biology, Fisheries and Conservation Status**. [S.l.]: Carlsfeld J, Harvey B, Ross C, Baer, A., 2003. p. 157–194.

ZARDO, Éverton Luís *et al.* Período de desenvolvimento gonadal e diferenciação sexual através de análise histológica em *Brycon orbignyanus* (Valenciennes, 1850) (Characiformes: Bryconidae). **Aquaculture**, v. 539, p. 736636, 30 jun. 2021.

ZHENG, Xuebin *et al.* Testis Development and Ultrastructural Features During Spermatogenesis in Cultured Small Yellow Croaker, *Larimichthys polyactis*. **Journal of Ocean University of China**, v. 22, n. 5, p. 1412–1426, 1 out. 2023.

ZUPA, Rosa. Rearing in captivity affects fish spermatogenesis through changes in germ cell proliferation and apoptosis. 2017.