

# RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese será disponibilizado somente a partir de 01/09/2024.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA  
FILHO”**

**IBB- INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS DE BOTUCATU**

**LAICIA CARNEIRO LEITE**

Inclusão de óleo de peixe marinho na dieta de reprodutor de  
*Astyanax lacustris* (Lutken 1875): desempenho, qualidade  
seminal e criopreservação do sêmen.

Botucatu – SP

2023

**LAICIA CARNEIRO LEITE**

Inclusão de óleo de peixe marinho na dieta de reprodutor de *Astyanax lacustris* (Lutken 1875): desempenho, qualidade seminal e criopreservação do sêmen.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Zoologia) – Instituto de Biociências, UNESP, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutora.

**Orientador: Prof. Dr. Alexandre Ninhaus Silveira**

**Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Hellen Buzollo Pazzini**

Botucatu – SP

2023

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÊC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.  
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP  
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: MARIA CAROLINA A. CRUZ E SANTOS-CRB 8/10188

Leite, Laícia Carneiro.

Inclusão de óleo de peixe marinho na dieta de reprodutor de *Astyanax lacustris* (Lutken 1875) : desempenho, qualidade seminal e criopreservação do sêmen / Laícia Carneiro Leite. - Botucatu, 2023

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Biociências de Botucatu

Orientador: Alexandre Ninhaus Silveira

Coorientador: Hellen Buzollo Pazzini

Capes: 20406002

1. Reprodução. 2. Ácidos Graxos Insaturados. 3. Peixe de água doce. 4. Congelamento. 5. Peixes - reprodução. 6. Criopreservação.

Palavras-chave: Ácidos graxos poli-insaturados; Congelação; Espermatozoides de peixes; Lambari-do-rabo-amarelo; Reprodução.

*Dedico este trabalho aos meus pais: Assunção Douro Leite e a Maria Lima Carneiro  
(in memoriam) pelo apoio e amor incondicional. A cada um dos meus irmãos e  
sobrinhos pelo amor, apoio e ajuda. A vocês, dedico todo o meu amor.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por meu suporte e amparo em todos os momentos, em especial naqueles em que não pude compartilhar minhas dores e tristezas e por me mostrar todos os dias o quanto me ama, OBRIGADA.

A minha mãe Maria Lima Carneiro (in memoriam) que foi e sempre será minha principal força, você me deixou muito cedo, mas saiba que tudo isso era por você e continua sendo, porque foi você que não me deixou desistir, foi você a pessoa que mais me incentivou e deu forças para eu continuar essa trajetória. Eu tinha certeza que não conseguiria, mas mais uma vez você mesmo não estando aqui me deu forças para continuar, e todas as vezes que parei e pedir luz e forças para você eu recebi e lhe agradeço tanto por isso, se estou hoje concluindo esta etapa é por você. Obrigada pela mulher e mãe que você foi, você é meu exemplo de mulher e mãe, obrigada por cada dificuldade que você passou por nós, obrigada por cada palavra, abraço, beijo, obrigada por me incentivar e cuidar de mim sempre, obrigada por me priorizar durante toda a sua vida. “Te amarei de janeiro a janeiro, até o mundo acabar”. EU TE AMO INFINITAMENTE, OBRIGADA.

Ao meu pai Assunção Douro Leite, por ser minha base, por me dar forças, por ser meu exemplo de homem, por ser esse pai maravilhoso, por me apoiar incondicionalmente, por demonstrar em cada conversa o quanto tem orgulho da sua filha. Obrigada por acreditar sempre em mim TE AMO INFINITAMENTE.

Aos meus irmãos Claudia, Valdineia, Audileia, Diego, Lineia e Deilane, por me apoiaram e me motivarem sempre, vocês são os melhores irmãos do mundo. Obrigada por cada palavra de consolo e incentivo, por suportar tudo comigo, por fazer do meu sonho o de vocês também e compreender o porquê de eu estar longe em todos os momentos de alegrias e tristezas também, simplesmente obrigada por me amarem e demonstrarem isso todos os dias. AMO VOCÊS INFINITAMENTE.

Aos meus cunhados Fernando, Nonato e Mauro obrigado por cuidarem das minhas joias preciosas sempre. A minha cunhadinha Antonia por cuidar do meu irmão e por ser muito mais que uma cunhada, uma irmã. AMO VOCÊS INFINITAMENTE.

Aos meus sobrinhos Arthur, Guilherme, André, Valentina, Isis, Lorenzo e Livia Maria, Benjamin e Liz Vitória vocês são minha motivação diária, tudo o que faço é por vocês e para vocês. Obrigada por todos os sorrisos, por todas as alegrias, por todo carinho, vocês são a dose diária de amor e carinho. É com vocês que

recarrego minhas energias. Com vocês descobrir o melhor abraço, o melhor beijo, o melhor sorriso. AMO VOCÊS INFINITAMENTE.

A Lorena Frigini pela amizade e companheirismo, você é especial demais para mim. Obrigada pelo apoio incondicional em todos os momentos deste o primeiro dia que nos conhecemos. Obrigada por cada palavra, abraço, sorriso, ligação, por deixar o seu sofrimento de lado para cuidar do meu. EU TE AMO TANTO, OBRIGADA.

Aos todos os meus amigos de Chapadinha-MA que mesmo com a distância me apoiaram e me deram forças sempre, em especial as minhas Andressa Douro e Vanna Diniz que estão comigo pra tudo sempre, que em um único minuto de conversa conseguem tirar a minha melhor versão, eu sou muito grata por ter vocês na minha vida, amo vocês OBRIGADA

A Luciane, Khatarine e Valdomiro por estarem comigo sempre em Ilha Solteira, por serem meu apoio fora da Universidade, por cada momento juntos que aliviaram a minha tristeza e meu estresse, vocês são presente de Deus. EU AMO VOCÊS, OBRIGADA.

A Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho - UNESP, por me acolher desde o mestrado e me possibilitar realizar esse sonho, minha eterna gratidão, OBRIGADA.

A Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior – CAPES, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (Processo: 434283/2018-5) e a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP pela bolsa concedida e apoio financeiro ao projeto (Processo Fapesp 2020/15020-0).

Ao meu orientador, Alexandre Ninhaus Silveira pela oportunidade, por ter aceitado me orientar desde o mestrado sem ao menos me conhecer pessoalmente, você abriu as portas do L.I.Neo e com isso tornou possível a realização desse sonho. Obrigada por todo apoio, conversas, ensinamentos, críticas (construtivas claro), pela paciência, atenção, compreensão, incentivo, por acreditar sempre no meu potencial, serei eternamente grata, OBRIGADA.

A minha coorientadora Hellen Buzollo Pazzini por todo apoio, ajuda, paciência, atenção e compreensão, por estar sempre disponível, por sanar todas as minhas dúvidas, só tenho a agradecer a você, OBRIGADA.

Ao Laboratório de Ictiologia Neotropical (L.I.Neo) e cada integrante desse grande laboratório que me ajudaram direto ou indiretamente. Obrigada pelas conversas, coletas, apoio, risadas, estudos, nós somos como uma grande família em que todos se ajudam pelo bem de cada um e do laboratório em geral especial Bárbara Bianchini, Luana, Viviane, Giovana, Jéssica, Mayara, Yasmim, Lorena, Stella, Lais e Luciane você tornam minha vida de pós-graduanda mais leve. A Profa. Dra. Rosicleire Verrissimo Silveira por toda ajuda e apoio sempre, OBRIGADA.

A Stella, Lais, Lorena Pacheco e Luciane que merecem sem dúvida nenhuma um parágrafo destes agradecimentos porque me ajudaram desde início e durante toda a execução do meu projeto, vocês nunca me deixaram sozinha, e eu serei eternamente grata, OBRIGADA.

Aos todos funcionários da UNESP/ Ilha Solteira por serem tão atenciosos desde os guardas, galera da limpeza, os técnicos dos laboratórios em especial ao Sidival do Laboratório de Bromatologia pelo auxílio nas análises, ao Laboratório de Estudos de Fisiologia Animal, UNESP, Campus Ilha Solteira e Laboratório de Metabolismo e Reprodução de Organismos Aquáticos, USP/ Campus São Paulo no nome da professora Cristiele Ribeiro pelo auxílio e ajudas nas análises.

As professoras Mônica Machado e Jaqueline Biller por terem participado da minha banca de qualificação agradeço por cada apontamento e contribuição, OBRIGADA.

Aos professores Carmina Salmito-Vanderley, Taís Lopes, Rosemeire Filardi, Leandro Godoy, Giovana Branco, Alan Melo e Robie Bombardelli por terem aceito participar da minha banca de defesa de doutorado, desde de já agradeço por cada apontamento e contribuição, OBRIGADA.

## RESUMO

Este estudo teve por objetivo avaliar o efeito da inclusão de ácidos graxos poli-insaturados ômega-3 (PUFAs-ô3) na dieta de machos de *Astyanax lacustris* sobre o desempenho, a qualidade seminal e a resistência dos espermatozoides à baixa temperatura. Para tal, 400 machos foram dispostos em 20 caixas de 180 L e alimentados durante 105 dias com dietas isoproteicas (32% PB) contendo 0, 3, 6 e 9% de inclusão de óleo de peixe marinho (OPM) rico em PUFAs-ô3. Foram avaliados os parâmetros de desempenho zootécnico, a qualidade seminal e a crioresistência dos espermatozoides ao processo de congelação e descongelação. Para os parâmetros de desempenho não foram observadas diferenças significativas entre os níveis de inclusão de óleo marinho. Entretanto, foi observado uma alteração do perfil de ácidos graxos nos músculos, com o aumento da quantidade de DHA no tratamento com 3% de OPM e EPA no tratamento com 6% de OPM. A inclusão de PUFAs-ô3 na dieta de *A. lacustris* influenciou positivamente os parâmetros cinéticos espermáticos, sendo que os níveis com 6 e 9% de OPM proporcionaram valores significativamente maiores para a maioria dos parâmetros analisados. Após análise dos resultados pode-se concluir que, a adição PUFAs-ô3 na alimentação de reprodutores melhorou a qualidade do músculo e, aumentou significativamente a qualidade seminal dos machos de *A. lacustris*, melhorando as os parâmetros cinéticos dos espermatozoides. Entretanto, para o sêmen criopreservado, apesar de não influenciar nas características cinéticas dos espermatozoides pós descongelação, manteve a capacidade de fertilização dos gametas com uma leve indicação para o tratamento com 6% de OPM e para o uso da solução crioprotetora 1.

**Palavras-chave:** reprodução; ácidos graxos poli-insaturados; lambari-do-rabo-amarelo; espermatozoides de peixes; congelação.

## ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effect of including omega-3 polyunsaturated fatty acids (PUFAs- $\omega$ 3) in the diet of *Astyanax lacustris* males, on productive performance, seminal quality and sperm resistance to low temperatures. To this end, 400 males were placed in 20 boxes of 180 L and fed for 105 days with isoprotein diets (32% CP) containing 0, 3, 6 and 9% inclusion of marine fish oil (OPM) rich in PUFAs- $\omega$ 3. Zootechnical performance parameters, seminal quality and sperm cryoresistance to the freezing and thawing process were evaluated. For performance parameters, no significant differences were observed between marine oil inclusion levels. However, a change in the profile of fatty acids in the muscles was observed, with an increase in the amount of DHA in the treatment with 3% OPM and EPA in the treatment with 6% OPM. The inclusion of PUFAs- $\omega$ 3 in the diet of *A. lacustris* positively influenced sperm kinetic parameters, with levels with 6 and 9% of OPM provided significantly higher values for most of the analyzed parameters. After analyzing the results, it can be concluded that the addition of PUFAs- $\omega$ 3 in the feeding of breeding animals improved the quality of the muscle and significantly increased the seminal quality of the *A. lacustris* males, improving sperm kinetic parameters. However, for cryopreserved semen, despite not influencing the kinetic characteristics of spermatozoa after thawing, it maintained the fertilization capacity of gametes with a slight indication for treatment with 6% OPM and the use of cryoprotectant solution 1.

**Keywords:** reproduction; polyunsaturated fatty acids; yellowtail lambari; fish sperm; freezing.

## SUMÁRIO

|                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. INTRODUÇÃO.....                                                                   | 11  |
| 2. Revisão Bibliográfica .....                                                       | 12  |
| 2.1. Lipídios na nutrição de peixes .....                                            | 12  |
| 2.1.1. Ácidos graxos .....                                                           | 13  |
| 2.1.2. Ácidos graxos poli-insaturados (PUFAs) no desempenho produtivo de peixes..... | 15  |
| 2.1.3. Ácidos graxos poli-insaturados (PUFAs) na reprodução de peixes.....           | 16  |
| 2.1.4. Ácidos graxos e a criopreservação.....                                        | 17  |
| 2.2. <i>Astyanax lacustris</i> (Lambari-do-rabo-amarelo) .....                       | 20  |
| 3. OBJETIVOS .....                                                                   | 21  |
| 3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....                                                      | 21  |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                                      | 22  |
| 4. CAPÍTULO I.....                                                                   | 32  |
| INTRODUÇÃO.....                                                                      | 35  |
| MATERIAL E MÉTODOS .....                                                             | 37  |
| RESULTADOS .....                                                                     | 45  |
| DISCUSSÃO .....                                                                      | 54  |
| CONCLUSÕES.....                                                                      | 58  |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                                      | 59  |
| 5. CAPÍTULO II.....                                                                  | 65  |
| INTRODUÇÃO.....                                                                      | 68  |
| MATERIAL E MÉTODOS .....                                                             | 71  |
| RESULTADOS .....                                                                     | 78  |
| DISCUSSÃO .....                                                                      | 83  |
| CONCLUSÕES.....                                                                      | 86  |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                                      | 87  |
| 6. CAPÍTULO III.....                                                                 | 92  |
| INTRODUÇÃO.....                                                                      | 95  |
| MATERIAL E MÉTODOS .....                                                             | 99  |
| RESULTADOS .....                                                                     | 107 |
| DISCUSSÃO .....                                                                      | 120 |
| CONCLUSÕES.....                                                                      | 127 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                                      | 128 |

## 1. INTRODUÇÃO

A aquicultura cresceu substancialmente nas últimas décadas, alcançando um novo recorde de produção em 2020 de 122,6 milhões de toneladas de peso vivo (FAO, 2022). No Brasil, a aquicultura teve uma produção de 860,355 toneladas em 2022, um crescimento de 2,3% em relação a 2021 (PEIXE BR, 2023).

O lambari-do-rabo-amarelo, *Astyanax lacustris* é uma espécie nativa, de pequeno porte, que é produzida no Brasil principalmente devido ao mercado de iscas vivas e também para o consumo humano. Em 2021 foram produzidos 599,380 quilogramas de lambari, sendo a região Sudeste a maior produtora (271,101 kg), com destaque para São Paulo como maior produtor de lambari (167,130 kg) (IBGE, 2021).

O sucesso da criação em cativeiro depende, dentre outros fatores, de uma nutrição adequada, que atenda as exigências para a espécie, evitando danos à saúde animal, reduzindo o estresse e ocasionando um crescimento saudável e maior eficiência alimentar (Oliva-Teles 2012). Além disso, a nutrição influencia no sucesso reprodutivo da espécie (Lall; Tibbetts, 2009).

A adequada nutrição de peixes requer que a dieta forneça proteínas, carboidratos, lipídeos, vitamina e minerais. Entre os lipídeos destaca-se a importância dos ácidos graxos, em especial os poli-insaturados (PUFAs), pois participam dos processos de síntese de hormônios eicosanoides, organogênese e estrutura e composição de membranas (Kottmann *et al.*, 2020; Lall; Tibbetts, 2009).

Os PUFAs atuam na reprodução nos processos de gonadogênese, ovulação, fertilidade, desova, incubação de ovos, embriogênese, composição e qualidade das larvas, fatores esses importantes para o sucesso reprodutivos na piscicultura (Asil *et al.*, 2017; Agh *et al.*, 2019; Hilbig *et al.*, 2019). Os PUFAs proporcionam ainda uma maior resistência e aumentam a viabilidade dos espermatozoides de peixes, principalmente por atuarem na estrutura, composição e fluidez das membranas dos espermatozoides, fatores fundamentais para criopreservação de sêmen, técnica que permite a conservação de material genético por tempo indeterminado (Lahnsteiner *et al.*, 2009; Carvalho, 2012; Horokhovatskyi *et al.*, 2016; Díaz *et al.*, 2018). Isto ocorre porque os PUFAs são componentes de fosfolipídios das biomembranas dos peixes incluindo a dos espermatozoides, e o teor de PUFAs da dieta pode alterar a composição lipídica da membrana dos espermatozoides, aumentando assim a sua

fluidiez devido ao aumento de PUFA's na membrana. Além disso, os PUFA's alteram a temperatura na transição entre os estágios líquido e cristalino, diminuindo a formação de cristais de gelo, e consequentemente aumentando a resistência ao processo de congelamento e descongelamento (Izquierdo *et al.*, 2001; Lahnsteiner *et al.*, 2009; Rodrigues *et al.*, 2017; Díaz *et al.*, 2021)

Como os peixes não são capazes de sintetizar esses PUFA's, é necessário a inclusão dos mesmos na dieta. Portanto torna-se evidente a importância de estudos para avaliar os efeitos dos PUFA's sobre o desempenho zootécnico de peixes e eficiência na criopreservação de sêmen.

## **CONCLUSÕES**

Assim podemos concluir a inclusão de PUFA $\omega$ 3 na dieta de machos reprodutores influenciou negativamente os parâmetros seminais. A crioresistência do sêmen foi influenciada pela composição de ácidos graxos, uma vez que melhoraram a integridade da membrana e capacidade de fertilização dos espermatozoides criopreservados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHN, J. Y.; PARK, J. Y.; LIM, H. K. Effects of different diluents, cryoprotective agents, and freezing rates on sperm cryopreservation in *Epinephelus akaara*. **Cryobiology**, v. 83, p. 60–64, 2018.
- BAI, C.; KANG, N.; ZHAO, J.; DAI, J.; GAO, H.; CHEN, Y.; DONG, H.; HUANG, C.; DONG, Q. Cryopreservation disrupts lipid rafts and heat Shock proteins in yellow catfish sperm. **Cryobiology**, v. 87, p. 32–39, 2019.
- BEIRÃO, J.; SOARES, F.; POUSÃO-FERREIRA, P.; DIOGO, P.; DIAS, J.; DINIS, M. T.; HERRÁEZ, M. P.; CABRITA, E. The effect of enriched diets on *Solea senegalensis* sperm quality. **Aquaculture**, v. 435, p. 187-194, 2015.
- BEST, B. P. Cryoprotectant Toxicity: Facts, Issues, and Questions. **Rejuvenation Research**, v. 18, p. 422-436, 2015.
- BHATTACHARYA, S.; PRAJAPATI, B. G. A Review on Cryoprotectant and its Modern Implication in Cryonics. **Asian Journal of Pharmaceutics**, v. 10(3), p. 154-158, 2016.
- BOZKURT, Y.; YAVAŞ, I. Effect of supplementations of docosahexaenoic acid (DHA) into a Tris-glucose based extender on the post-thaw sperm quality, fertility and hatching rates in brown trout (*Salmo trutta macrostigma*) following cryopreservation. **International Aquatic Research**, v. 13, p. 147-154, 2021.
- BRAMBILA-SOUZA, G.; MYLONAS, C. C.; DE MELLO, P. H.; KURADOMI, R. Y.; BATLOUNI, S. R.; TOLUSSI, C. E.; MOREIRA, R. G. GnRH $\alpha$  implants and temperature modulate Lambari-do-rabo-amarelo, *Astyanax altiparanae* (Characiformes: Characidae) induced reproduction out of the reproductive season. **Aquaculture Research**, v. 52 (11), p. 5595-5605, 2021.
- CABRITA, E.; MARTÍNEZ-PÁRAMO, S.; GAVAIA, P. J.; RIESCO, M. F.; VALCARCE, D. G.; SARASQUETE, C.; HERRÁEZ, M. P.; ROBLES, V. Factors enhancing fish sperm quality and emerging tools for sperm analysis. **Aquaculture**, p. 432, p. 389–401, 2014.
- CABRITA, E.; SARASQUETE, C.; MARTÍNEZ-PÁRAMO, S.; ROBLES, V.; BEIRÃO, J.; PÉREZ-CEREZALES, S.; HERRÁEZ, M. P. Review article cryopreservation of fish sperm: applications and perspectives. **Applied Ichthyology**, v. 26, n. 5, p. 623–635, 2010.
- CARNEIRO-LEITE, L.; BASHIYO-SILVA, C.; OLIVEIRA, Y. A. A.; BORGES, L. P.; SANCHEZ, M. P.; SILVA, L. G.; LOBATO, S. I. R.; RODRIGUES-LISONI, F. C.; VERÍSSIMO-SILVEIRA, R.; NINHAUS-SILVEIRA A. Seminal characteristics and sensitivity of *Astyanax lacustris* (Characiformes: Characidae) sperm to cryoprotective solutions based on dimethylsulfoxide and methylglycol. **Neotropical Ichthyology**, v. 18 (3), p. 1-20, 2020.
- CARVALHO, A. F. S. **Criopreservação de sêmen de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) e curimba (*Prochilodus lineatus*): predição do potencial de congelabilidade e uso da cafeína na solução ativadora**. Dissertação.

Programa de Pós-graduação em Ciências Veterinárias, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

CHATIZA, F. P.; PIETERSE, G. M.; BARTELS, P.; NEDAMBALE, T. L. Characterization of epididymal spermatozoa motility rate, morphology and longevity of springbok (*Antidorcas marsupialis*), impala (*Aepyceros melampus*) and blesbok (*Damaliscus dorcus phillipsi*): Pre- and post-cryopreservation in South Africa. **Animal Reproduction Science**, v. 126, p. 234– 244, 2011.

CONTRERAS, P.; DUMORN, K.; ULLOA-RODRÍGUEZ, P.; MERINO, O.; FIGUEROA, E.; FARÍAS, J. G.; VALDEBENITO, I.; RISOPATRÓN, J. Effects of short-term storage on sperm function in fish semen: a review. **Reviews in Aquaculture**, p. 1–17, 2019.

COSTA, B. B.; MARQUES, L. S.; LASSEN, P. G. RODRIGUES, R. R.; STREIT-JR, S. P. Cryopreservation-induced morphological changes in the sperm of South American silver catfish (*Rhamdia quelen*). **Journal of Applied Ichthyology**, v. 35, p. 987-993, 2019.

COSTA, B. B.; OLIVEIRA, D. L.; RODRIGUES, R. B.; GOMES, I. C.; STREIT-JR, D. P. Morphological abnormalities in zebrafish cryopreserved sperm. **Cryobiology**, p. 97, p. 235–237, 2020.

DADRAS, H.; SAMPELS, S.; GOLPOUR, A.; DZYUBA, V.; COSSON, J.; DZYUBA, B. Analysis of common carp *Cyprinus carpio* sperm motility and lipid composition using different in vitro temperatures. **Animal Reproduction Science**, v. 180, p. 37-43, 2017.

DHANASEKAR, K.; SELVAKUMAR, N.; MUNUSWAMY, N. Cryopreservation of sperm in cobia, *Rachycentron canadum* (Linnaeus, 1766). **Aquaculture**, v. 557, p. 738313, 2022.

DÍAZ, R.; LEE-ESTEVEZ, M.; QUIÑONES, J.; DUMORNÉ, K.; SHORT, S.; ULLOA-RODRÍGUEZ, P.; VALDEBENITO, I.; SEPÚLVEDA, N.; FARÍAS, J. G. Changes in Atlantic salmon (*Salmo salar*) sperm morphology and membrane lipid composition related to cold storage and cryopreservation. **Animal Reproduction Science**, v. 204, p. 50–59, 2019.

DÍAZ, R.; QUIÑONES, J.; SHORT, S.; CONTRERAS, P.; ULLOA-RODRÍGUEZ, P.; CARCINO-BAIER, D.; SEPÚLVEDA, N.; VALDEBENITO, I.; FARÍAS, J. G. Effect of exogenous lipids on cryotolerance of Atlantic salmon (*Salmo salar*) spermatozoa. **Cryobiology**, v. 98, p. 25-32, 2021.

ELLIOT, G. D.; WANG, S.; FULLER, B. J. Cryoprotectants: A review of the actions and applications of cryoprotective solutes that modulate cell recovery from ultra-low temperatures. **Cryobiology**, v. 76, p. 74-91, 2017.

FIGUEROA, E.; VALDEBENITO, I.; MERINO, O.; UBILLA, A.; RISOPATRÓN, J.; FARIAS, J. G. Cryopreservation of Atlantic salmon *Salmo salar* sperm: effects on sperm physiology. **Journal of Fish Biology**, v. 89 (3), p. 1537-1550, 2016.

FONSECA, T.; COSTA-PIERCE, B. A.; VALENTI, W.C. Lambari aquaculture as a means for the sustainable development of rural communities in Brazil. **Reviews in Fisheries Science & Aquaculture**, p. 2-16, 2017

FRANÇA, T. S.; GOMES, I. C.; SANCHES, E. A.; ATEHORTÚA, M. P.; TEIXEIRA, N. S.; RODRIGUES, R. B.; FREITAS, T. R.; GALUPPO, A. G.; QUIRINO, M.; BENATO, J. L.; MACHADO, T. L. F.; MARQUES, L. S.; BUSTAMANTE-FILHO, I. C.; BORTOLOZZO, F. P.; STREIT-JR, D. P. Post-thaw dilution of *Rhamdia quelen* sperm improves the reproductive success. **Animal Reproduction Science**, v. 243, p. 107018, 2022.

FUJIMOTO, T.; KANEYASU, T.; KOGAME, Y.; NYNCA, J.; CIERESZKO, A.; TAKAHASHI, E.; YAMAHA, E.; NARUSE, K.; ARAI, K. Cryopreservation of masu salmon sperm using glucose-methanol extender and seminal plasma biomarkers related to post-thaw sperm motility. **Aquaculture**, v. 557, p. 738305, 2022.

GALLEGO, V.; PÉREZ, L.; ASTURIANO, J. F.; YOSHIDA, M. Relationship between spermatozoamotility parameters, sperm/egg ratio, and fertilization and hatching rates in pufferfish (*Takifugu niphobles*). **Aquaculture**, v. 416-417, p. 238-243, 2013.

GONÇALVES, L. U.; FERROLI, F.; VIEGAS, E. M. M. Effect of the inclusion of fish residue oils in diets on the fatty acid profile of muscles of males and females lambari (*Astyanax altiparanae*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, p. 1967-1974, 2012.

HOLT, W. V. Fundamental aspects of sperm cryobiology: the importance of species and individual differences. **Theriogenology**, v. 53, p. 47-58, 2000.

HOROKHOVATSKYI, Y.; SAMPELS, S.; COSSON, J.; LINHART, O.; RODINA, M.; FEDOROV, P.; BLECHA, M.; DZYUBA, B. Lipid composition in common carp (*Cyprinus carpio*) sperm possessing different cryoresistance. **Cryobiology**, v. 73, p. 282-285, 2016.

IZQUIERDO, M. S.; FERNANDEZ-PALACIOS, H.; TACON, A. G. J. Effect of broodstock nutrition on reproductive performance of fish. **Aquaculture**, v. 197, p. 25-42, 2001.

JANG, T. H.; PARK, S. C.; YANG, J. H.; KIM, J. Y.; SEOK, J. H.; PARK, U. S.; CHOI, C. W.; LEE, S. R.; HAN, J. Cryopreservation and its clinical applications. **Integrative Medicine Research**, p. 6, 12-18, 2017.

KLAIWATTANA, P.; SRISOOK, K.; SRISOOK, E.; VUTHIPHANDCHAI, V.; NEAMVONK, J. Effect of cryopreservation on lipid composition and antioxidant enzyme activity of seabass (*Lates calcarifer*) sperm. **Iranian Journal of Fisheries Sciences**, v. 15(1), p. 157-169, 2016.

LAHNSTEINER, F.; MANSOUR, N.; MCNIVEN, M. A.; RICHARDSON, G. F. Fatty acids of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) semen: Composition and effects on sperm functionality. **Aquaculture**, v. 298, p. 118-124, 2009.

- LASSEN, P. G.; CANOZZI, M. E. A.; COSTA, B. B.; BARCELLOS, J. O. J.; STREIT-JR, D. Cryopreserved semen motility of south american neotropical fish: a meta-analysis. **Reviews in Fisheries Science & Aquaculture**, v. 30, p. 19-32, 2022.
- LASSEN, P. G.; CANOZZI, M. E. A.; COSTA, B. B.; BARCELLOS, J. O. J.; STREIT-JR, D. P. Morphological abnormalities in cryopreserved semen from South American neotropical fish: A meta-analysis. **Aquaculture Research**, v. 00, p. 1–10, 2021.
- LI, J.; LIU, Q.; ZHANG, S. Evaluation of the damage in fish spermatozoa cryopreservation. **Chinese Journal of Oceanology and Limnology**, v. 24, p. 370-377, 2006.
- LOPES, J. T.; OLIVEIRA-ARAÚJO, M. S.; NASCIMENTO, R. V.; FERREIRA, Y. M.; MONTENEGRO, A. T.; SALMITO-VANDERLEY, C. S. B. Efeito de vitaminas e aminoácidos como suplementação da solução crioprotetora para a criopreservação do sêmen de tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Acta Scientiae Veterinariae**, v. 46, p.1593–600, 2018.
- LÓPEZ, D. I.; LEAL, M. C.; VIVEIROS, A. T. M. Extender composition and osmolality affects post-thaw motility and velocities of piracanjuba *Brycon orbignyanus* (Valenciennes, 1850) (Characiformes) sperm. **Journal of Applied Ichthyology**, v. 31, p. 114–118, 2015.
- MANSOUR, N.; LAHNSTEINER, F.; McNIVEN, M. A.; RICHARDSON, G. F.; PELLETIER, C. S. Relationship between fertility and fatty acid profile of sperm and eggs in Arctic char, *Salvelinus alpinus*. **Aquaculture**, v. 318, p. 371–378, 2011.
- MARTÍNEZ-PÁRAMO, S.; DIOGO, P.; DINIS, M. T.; HERRÁEZ, M. P.; SARASQUETE, C.; CABRITA, E. Sea bass sperm freezability is influenced by motility variables and membrane lipid composition but not by membrane integrity and lipid peroxidation. **Animal Reproduction Science**, v. 131, p. 211– 218, 2012.
- MAULIDA, S.; ERIANI, K.; FADLI, N.; KOCABAS, F. K.; SITI-AZIZAH, M. N.; WILKES, M.; MUCHLISIN, Z. A. Effect of type and concentration of cryoprotectant on the motility, viability, and fertility of climbing perch *Anabas testudineus* Bloch, 1792 (Pisces: Anabantidae) sperm. **Theriogenology**, v. 201, P. 24-29, 2023.
- MEDINA-ROBLES, V. M.; GUAJE-RAMÍREZ, D. N.; MARIN-COSSIO, L. C.; SANDOVAL-VARGAS, L. Y.; CRUZ-CASALLAS, P. E. Criopreservación seminal de *Colossoma macropomum* como estrategia de producción y conservación en la Orinoquia Colombiana. **Meta. Colombia**, v. 23, p. 15-24, 2019.
- MEDINA-ROBLES, V. M.; SANDOVAL-VARGAS, L. Y.; SUÁREZ-MARTÍNEZ, R. O.; GÓMEZ-RAMÍREZ, E.; GUAJE-RAMÍREZ, D. N.; CRUZ-CASALLAS, P. E. Cryostorage of white cachama (*Piaractus orinoquensis*) sperm: Effects on

cellular, biochemical and ultrastructural parameters. **Aquaculture Reports**, v. 29, p. 101477, 2023.

MILIORINI, A. B.; MURGAS, L. D. S.; ROSA, P. V.; OBERLENDER, G.; PEREIRA, G. J. M.; COSTA, D. V. A morphological classification proposal for curimba (*Prochilodus lineatus*) sperm damages after cryopreservation. **Aquaculture Research**, v. 42, p. 177-187, 2011.

MOTTA, N. C.; EGGER, R. C.; MONTEIRO, K. S.; OLIVEIRA, A. V.; MURGAS, L. D. S. Effects of melatonin supplementation on the quality of cryopreserved sperm in the neotropical fish *Prochilodus lineatus*. **Theriogenology**, v. 179, p. 14-21, 2022.

MÜLLER, K.; MÜLLER, P.; PINCEMY, G.; KURZ, A.; LABBE, C. Characterization of sperm plasma membrane properties after cholesterol modification: consequences for cryopreservation of rainbow trout spermatozoa. **Biology Of Reproduction**, v. 78, p. 390–399, 2008.

NAVARRO, R. D.; NAVARRO, F. K. S. P.; FELIZARDO, V. O.; MURGAS, L. D. S.; PEREIRA, M. M. Cryopreservation of semen of Thailand tilapia (*Oreochromis* spp.) fed diet with different oil sources. **Acta Scientiarum**, v. 36, p. 399-404, 2014.

NINHAUS-SILVEIRA, A.; FORESTI, F.; TABATA, Y. A.; RIGOLINO, M. G.; VERÍSSIMO-SILVEIRA, R. Cryopreservation of rainbow trout semen: diluent, straw and column vapor. **Boletim do Instituto de Pesca (Impresso)**, v. 28, p. 135-139, 2002.

ORSI, M. L.; CARVALHO, E. D.; FORESTI, F. Biologia populacional de *Astyanax altiparanae* Garutti & Britski (Teleostei, Characidae) do médio Rio Parapanema, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 21, p. 207-218, 2004.

PARRISH, C. C.; NICHOLS, P. D.; PETHYBRIDGE, H.; YOUNG, J. W. Direct determination of fatty acids in fish tissues: quantifying top predator connections. **Oecologia**, v. 177, p. 85-95, 2015.

PERRY, C. T.; CORCINI, C. D.; ANCIUTI, A. N.; OTTE, M. V.; SOARES, S. L.; GARCIA, J. R. E.; MUELBET, J. R. E.; VARELA-JUNIOR, A. S. Amides as cryoprotectants for the freezing of Brycon orbignyanus sperm. **Aquaculture**, v. 508, p. 90–97, 2019.

PINHEIRO, J. P. S.; MELO-MACIEL, M. A. P.; LINHARES, F. R. A.; LOPRES, J. T.; ALMEIDA-MONTEIRO, P. S.; PINHEIRO, R. R. R.; TORRES, T. M.; SALMITO-VANDERLEY, C. S. B. Use of glucose or BTS™ combined with DMSO or methylglycol under two different freezing protocols for the cryopreservation of sperm from the common curimatã (*Prochilodus brevis*). **Animal Reproduction**, v.13, p.779-786, 2016.

PUSTOWKA, C.; MCNIVEN, M. A.; RICHARDSON, G. F.; LALL S. P. Source of dietary lipid affects sperm plasma membrane integrity and fertility in rainbow

trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) after cryopreservation. **Aquaculture Research**, V. 31(3), P. 297-305, 2000.

ROCHA, N. A.; SCHADE, G. M.; ALVES, Á. M.; SILVA, C. S.; NAKIRIMOTO, J. M.; LAURI, L. S.; CAMPOS, L. G.; SANTOS, M. G.; MESQUITA, N. N.; RELVAS, R. S.; CARNEVALE, R. F.; OH, S. Y.; GAIA, V. P. D.; KIDA, V. R.; CELEGHINI, E. C. C.; ASSUMPÇÃO, M. E. O.D.; SENHORINI, J. A.; SIQUEIRA, H. O.; NASCIMENTO, N. F.; SILVA, L. A.; LÁZARO, T. M.; VISINTIN, J. A.; MONZANI, P. S.; YASUI, G. S. Acute exposure to hyperosmotic conditions reduces sperm activation by urine in the yellowtail tetra *Astyanax altiparanae*, a freshwater teleost fish. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 57(3), p. 1-8, 2020.

SABBAG, O. J.; TAKAHASHI, L. S.; SILVEIRA, A. N.; ARANHA, A. S. Custos e viabilidade econômica da produção de lambari-do-rabo amarelo em Monte Castelo/ SP: um estudo de caso. **Boletim Instituto de Pesca**, v. 3, p.307-315, 2011.

SALMITO-VANDERLEY, C. S. B.; ALMEIDA-MONTEIRO, P. S.; NASCIMENTO, R. V. Tecnologia de conservação de sêmen de peixes: resfriamento, congelação e uso de antioxidantes. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v.40, p.194-199, 2016.

SALMITO-VANDERLEY, C. S. B.; PINHEIRO, J. P. S.; ALMEIDA, P. S.; LOPES, J. T.; LEITE, L. V. Metodologias para criopreservação e mecanismos de avaliação do sêmen de peixes Characiformes. **Acta Veterinaria Brasilica**, v.8, p. 343-350, 2014.

SAMAE, S. M.; MATEGHI, N.; ESTÉVEZ, A. Zebrafish as a Model to Screen the Potential of Fatty Acids in Reproduction. **Zebrafish**, v. 00, p. 1-18, 2018.

SANDOVAL-VARGAS, L.; JIMÉNEZ, M. S.; GONZÁLEZ, J. R.; VILLALOBOS, E. F.; CABRITA, E.; ISLER, I. V. Oxidative stress and use of antioxidants in fish sêmen cryopreservation. **Reviews in Aquaculture**, v. 13, p. 365-387, 2021.

STEVANATO, D. J.; OSTRENSKY, A. Ontogenetic development of tetra *Astyanax lacustris* (Characiformes: Characidae). **Neotropical ichthyology**, v. 16, p. 1-10, 2018.

STREIT-JUNIOR, D. P.; OLIVEIRA, A. C.; RIBEIRO, R. P.; SIROL, R. N.; MORAES, G. V.; GALO, J. M. DIGMAYER, M. Motilidade, vigor e patologias seminal in natura e pós criopreservação de *Piaractus mesopotamicus*. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 35(2), p. 159 - 167, 2009.

STREIT-JUNIOR, D. P.; SIROL, R. N.; RIBEIRO, R. P.; MORAES, G. V.; VARGAS, L. D. M.; WATANABE, A. L. Qualitative parameters of the piapara sêmen (*Leporinus elongatus* Valenciennes, 1850). **Brazilian Journal of Biology**, v. 68 (3), p. 373-377, 2008.

TORRES, T. M.; ALMEIDA-MONTEIRO, P. S.; NASCIMENTO, R. V.; PEREIRA, V. A.; FERREIRA, Y. M.; LOBATO, J. S.; PINHEIRO, R. R. R.;

SALES, Y. S.; MONTENEGRO, A. R.; SALMITO-VANDERLEY, C. S. B. Sperm cryopreservation of *Prochilodus brevis* using different concentrations of non-permeable cryoprotectants. **Animal Reproduction**, v. 19, p. 1-12, 2022.

VASSALLO-AGIUS, R.; WATANABE, T.; YOSHIZAKI, G.; SATOH, S.; TAKEUCHI, Y. Quality of eggs and spermatozoa of rainbow trout fed na n-3 essential fatty acid-deficient diet and its effects on the lipid and fatty acid components of eggs, semen and livers. **Fisheries Science**, v. 67, p. 818–827, 2001.

VIVEIROS, A. T. M.; MARIA, A. N.; ORFÃO, L. H.; NASCIMENTO, A. F.; CORRÊA, F. M.; CANEPPELE, D. Effects of extenders, cryoprotectants and freezing methods on sperm quality of the threatened Brazilian freshwater fish pirapitinga-do-sul *Brycon opalinus* (Characiformes). **Theriogenology**, v. 78, p. 361-368, 2012.

XIN, M.; CHENG, Y.; RODINA, M.; TUČKOVÁ, V.; SHELTON, W. L. Improving motility and fertilization capacity of low-quality sperm of sterlet *Acipenser ruthenus* during storage. **Theriogenology**, v. 156, p. 90-96, 2020.

XIN, M.; NIKSIRAT, H.; SHALIUTINA-KOLESOVÁ, A.; SIDDIQUE, M. A.; STERBA, J.; BORYSHPOLETS, S.; LINHART, O. Molecular and subcellular cryoinjury of fish spermatozoa and approaches to improve cryopreservation. **Reviews in Aquaculture**, p. 1-16, 2019.

YASUI, G. S.; SENHORINI, J. A.; SHIMODA, E.; PEREIRA-SANTOS, M.; NAKAGHI, L. S. O.; FUJIMOTO, T.; ARIAS-RODRIGUEZ, L.; SILVA, L. A. Improvement of gamete quality and its short-term storage: an approach for biotechnology in laboratory fish. **Animal**, v. 9(3), p. 464–70, 2015.