

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 14/12/2023.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP – CAUNESP

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA

**DESENVOLVIMENTO OSTEOLÓGICO DE LAMBARI-ROSA *Astyanax lacustris*
(LUTKEN 1975) (CHARACIFORMES, CHARACIDAE)**

Marcelo Joho Hiromoto

Biólogo

JABOTICABAL, SÃO PAULO

2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP – CAUNESP

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA

**DESENVOLVIMENTO OSTEOLÓGICO DE LAMBARI-ROSA *Astyanax lacustris*
(LUTKEN 1975) (CHARACIFORMES, CHARACIDAE)**

Discente: Marcelo Joho Hiromoto

Orientadora: Profa. Dra. Maria Célia Portella

Co-orientadora: Profa. Dra. Rosangela Kiyoko Jomori Bonichelli

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura do Centro de Aquicultura da UNESP – CAUNESP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Aquicultura.

JABOTICABAL, SÃO PAULO

2021

H668 Hiromoto, Marcelo Joho
d Desenvolvimento osteológico de lambari-rosa *Astyanax lacustris*
(Lutken 1975) (Characiformes, Characidae) / Marcelo Joho Hiromoto. -- Jaboticabal, 2021
vi, 81 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura, 2021
Orientador: Maria Célia Portella
Banca examinadora: Fernando José Zara, Caroline Nebo
Bibliografia

1. *Astyanax lacustris*. 2. , Osteologia. 3. , Larvicultura. I. Título. II. Jaboticabal-Centro de Aquicultura.

CDU 639.31



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Centro de Aqüicultura da Unesp - CAUNESP



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Desenvolvimento osteológico de lambari-rosa *Astyanax lacustris* (Characiformes, Characidae)

AUTOR: MARCELO JOHO HIROMOTO

ORIENTADORA: MARIA CÉLIA PORTELLA

COORIENTADORA: ROSANGELA KIYOKO JOMORI BONICHELLI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AQUICULTURA, pela Comissão Examinadora:

Prof^a. Dr^a. MARIA CÉLIA PORTELLA (Participação Virtual)
Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária / FCAV/ UNESP, Jaboticabal-SP

Prof. Dr. FERNANDO JOSÉ ZARA (Participação Virtual)
Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária / FCAV/ UNESP, Jaboticabal-SP

Profa. Dra. CAROLINE NEBO (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia / Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, UNIFESSPA,
Xinguara-PA

Jaboticabal, 14 de dezembro de 2022

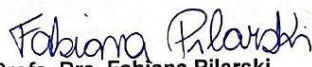
CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

DECLARAÇÃO

Declaramos que o trabalho de pesquisa intitulado "Ontogenia das brânquias de lambari rosa *Astyanax altiparanae* (Characiformes, Characidae) em diferentes salinidades", sob a responsabilidade da Profa. Dra. Maria Célia Portella e Certificado CEUA protocolo nº 1119/20, aprovado em reunião ordinária em 13 de fevereiro de 2020, teve o seu título alterado para "Desenvolvimento osteológico de lambari-rosa *Astyanax lacustris* (Characiformes, Characidae)".

Solicitação aprovada em reunião ordinária de 19 de agosto de 2021.

Jaboticabal, 19 de agosto de 2021.


Profa. Dra. Fabiana Pilarski
Coordenadora – CEUA

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	5
APOIO FINANCEIRO	6
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS	8
CAPÍTULO 1- CONSIDERAÇÕES GERAIS	9
Introdução geral	9
Aquicultura mundial	9
<i>Astyanax lacustris</i>	10
Larvicultura de peixes	12
Desenvolvimento esquelético em peixes	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
CAPÍTULO 2- DESENVOLVIMENTO ESQUELÉTICO DE LAMBARI-ROSA (<i>ASTYANAX LACUSTRIS</i>).	26
CHAPTER 2- ABSTRACT	27
INTRODUÇÃO	28
Desenvolvimento esquelético de larvas de lambari-rosa <i>Astyanax lacustris</i>	28
MATERIAL E MÉTODOS	29
Manejo alimentar	30
Condições experimentais	31
Análises esqueléticas	32
RESULTADOS	33
Desenvolvimento esquelético de lambari-rosa (<i>Astyanax lacustris</i>)	33
CONCLUSÃO	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer à “Universidade Estadual Paulista” por fornecer todo apoio e estrutura para minha formação.

A professora Dra. Maria Célia Portella e ao professor Dr. Dalton José Carneiro por toda orientação e aprendizagem, que com muita dedicação me auxiliaram neste trabalho.

Em especial, a Dra. Rosangela Kiyoko minha amiga e co-orientadora.

Agradeço a banca de defesa, Dr. Fernando Zara e Dra. Caroline Nebo, pela participação e contribuição para a melhoria do trabalho.

Agradeço a banca de exame de qualificação Dr. Ivã Guidini Lopes e ao Professor Dr. João Batista Kochenborger, pela análise crítica e sugestões que contribuíram muito para o trabalho.

Agradeço a toda equipe LANOA, meus amigos e companheiros de laboratório: Andressa Tellechea, Brígida Sperchi, Caio Alexandre, Denis Johansen (Loirinha), Gabriel Aguilar, Grazi Cristina, Isabela Almeida, Jesaías Ismael, Jéssica Pacheco (Bracinho fofinho), Juliano Coutinho, Laura Silva (Mexicana), Lígia Neira, Magdiel (Morena tropicana), Michelle Santos, Naiara e Rossi, Ricardo Dutra e Sara Pinho.

Aos amigos do Caunesp, Rafael Sato e Thiago Delefrate.

Aos que colaboraram com a produção deste trabalho.

Gostaria de agradecer também meus amigos por terem estado comigo nesta longa caminhada que ainda segue. Essa foi só uma etapa e agradeço pelo apoio que cada um me deu da sua maneira. Com certeza fez a diferença.

Aos funcionários da FCAV- CAUNESP, por todo auxílio na implantação e manutenção do projeto, pela confiança e amizades formadas.

Agradeço também ao corpo docente, cada um me motivou de alguma forma e a toda a família UNESP- Jaboticabal que sempre esteve presente em algum momento.

Agradeço a minha família, pelo amor, incentivo e apoio sem eles eu não chegaria em lugar algum.

APOIO FINANCEIRO

Agradeço à CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

Processo nº 88882.433720/2019-01.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.



LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Classificação taxonômica do lambari-rosa *A. lacustris*.....11
- Figura 2.** Sequência de desenvolvimento dos elementos do esqueleto em relação ao comprimento total (CT) em *A. lacustris*. Elemento em estado cartilaginoso em cor azul; elemento em ossificação na cor rosa.....36
- Figura 3.** Desenvolvimento esquelético craniofacial e da nadadeira caudal do lambari-rosa (*A. lacustris*); A- Larva com 1 dpe, 2,33 mm CT; B- Larva com 3 dpe, 4,36 mm CT.....38
- Figura 4.** Desenvolvimento esquelético craniofacial e da nadadeira caudal do lambari-rosa (*A. lacustris*); A- Larva com 9 dpe, 6,63 mm de CT; B- Larva com 9 dpe, 7,88mm CT.....40
- Figura 5.** Desenvolvimento esquelético craniofacial, axial e apendicular do lambari-rosa (*A. lacustris*); A- Larva com 10 dpe, 8,49 mm CT.....41
- Figura 6.** Desenvolvimento esquelético craniofacial, axial e apendicular de lambari-rosa (*A. lacustris*); A- Peixe com 14 dpe, 10,87 mm CT.....43
- Figura 7.** Desenvolvimento esquelético craniofacial, axial e apendicular de lambari-rosa (*A. lacustris*); A- Peixe com 14 dpe, 13,46 mm CT.....45
- Figura 8.** Desenvolvimento esquelético craniofacial, axial e apendicular de lambari-rosa (*A. lacustris*); A- Peixe com 18 dpe, 14,25 mm CT.....47
- Figura 9.** Desenvolvimento esquelético craniofacial, axial e apendicular de lambari-rosa (*A. lacustris*); A- Peixe com 18 dpe, 15,80mm CT.....49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Quantidades diárias de náuplios fornecidas às larvas de lambari-rosa durante o experimento. As quantidades foram fracionadas em cinco refeições ao longo do dia (dpe, dias pós eclosão)33

Tabela 2. Valores médios, máximos e mínimos do comprimento total, comprimento padrão e altura das larvas de *A. lacustris*, desde a eclosão até o término do período de desenvolvimento inicial, segundo a classificação de Kendall et al., (1984)35

CAPÍTULO 1- CONSIDERAÇÕES GERAIS

INTRODUÇÃO GERAL

Aquicultura mundial

A população mundial vem crescendo continuamente nos últimos anos, resultando na necessidade de se produzir mais alimentos, especialmente maiores quantidades de proteínas, para suprir a demanda alimentar tanto dos seres humanos quanto dos animais. A aquicultura, sendo uma atividade multidisciplinar, abrange várias áreas de cultivos de organismos aquáticos como peixes, moluscos, crustáceos e plantas, de tal modo que se tornou uma importante fonte de produção de alimentos proteicos (FAO, 2020).

Assim, combinado com a estagnação da pesca extrativa desde os anos 80 (FAO, 2020), é consenso que a aquicultura é a única alternativa para aumentar a produção de pescados e atender a demanda crescente da população por esse tipo de proteína de alta qualidade. A aquicultura mundial vem crescendo rapidamente e contribuindo para o aumento do consumo de pescados. Em 1961 esse consumo era de 9 kg per capita e em 2018 houve aumento significativo dessa quantidade, atingindo uma média de 20,5 kg de pescados consumidos anualmente (FAO, 2020).

A Agenda 2030 proposta para os países membros das Nações Unidas estabelece 17 objetivos para o desenvolvimento sustentável (ODS). A aquicultura pode contribuir significativamente para atender a praticamente todos os objetivos, com especial relevância para os objetivos de números 2, 8, 12 e 14, que tratam da eliminação da fome, alcance da segurança alimentar e melhoria da nutrição (2); promoção do crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todos (8); garantia de padrões de consumo e produção sustentáveis (12), e conservação e uso de forma sustentável dos oceanos, mares e recursos marinhos (14) (FAO, 2017). A aquicultura desempenha um papel importante na redução da fome, no alcance da segurança alimentar, na melhoria da nutrição e na promoção do desenvolvimento sustentável. Em comparação com outros

setores, esta atividade de aquicultura atende uma produção muito maior em espaços menores (Schulter e Filho., 2017).

CONCLUSÃO

Conclui-se que as larvas de *A. lacustris* ao eclodir não apresentam estruturas esqueléticas mineralizadas e os moldes cartilagosos se formam no início de seu desenvolvimento. As primeiras estruturas a se mineralizar são o parassenóide e os ossos da boca e da cauda, estruturas ligadas à sustentação da natação e alimentação. As últimas estruturas que se ossificam são as nadadeiras peitorais e o supraoccipital. As larvas com 15,8 mm CT (próximo aos 18 dpe) já apresentam ossificação total das regiões apendicular e axial, mas ainda estão em processo final de ossificação da região crânio facial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bialetzki, A., Nakatani, K., Sanches, P.V., Baumgartner, G., Makrakis, M.C., Taguti, T.L., 2008. Early development of *Hoplias aff. malabaricus* (Bloch, 1794) (Osteichthyes, Erythrinidae) in the upper Paraná river floodplain, Brazil. *Acta Sci. - Biol. Sci.* 30, 141–149. <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v30i2.3608>

Bird, N.C., Mabee, P.M., 2003. Developmental Morphology of the Axial Skeleton of the Zebrafish, *Danio rerio* (Ostariophysi: Cyprinidae). *Dev. Dyn.* 228, 337–357.

Boglione, C., Gavaia, P., Koumoundouros, G., Gisbert, E., Moren, M., Fontagné, S., Witten, P.E., 2013. Skeletal anomalies in reared European fish larvae and juveniles. Part 1: Normal and anomalous skeletogenic processes. *Rev. Aquac.* 5, 99-120.

Boglione, C., Marino, G., Giganti, M., Longobardi, A., Marzi, Paolo De Cataudella, S., 2009. Skeletal anomalies in dusky grouper *Epinephelus marginatus* (Lowe 1834) juveniles reared with different methodologies and larval densities. *Aquaculture* 291, 48-60.

Cahu, C.; Infante, J.Z.; Takeuchi, T. 2003 Nutritional components affecting skeletal development in fish larvae. *Aquaculture, Amsterdam*, 227(1): 254-258.

Cubbage CC, Mabee PM. Development of the cranium and paired fins in the zebrafish *Danio rerio* (Ostariophysi, Cyprinidae). *J Morphol.* 1996 Aug;229(2):121-160. doi: 10.1002/(SICI)1097-4687(199608)229:2<121::AID-JMOR1>3.0.CO;2-4.

Dean MN, Shahar R. 2012. The structure mechanics relationship and the response to load of the acellular bone of neoteleost fish: a review. *Journal of Applied Ichthyology* 28: 320– 329 *Environmental Biology of Fishes* 90: 421– 427.

FAO. 2020. Situação Mundial da Pesca e Aquicultura 2020. Sustentabilidade em ação. Roma.

Faustino, M.; Power, D. M. (2001). Osteologic development of the viscerocranial skeleton in sea bream: alternative ossification strategies in teleost fish. *Journal of Fish Biology*, 58: 537-572.

Fiaz AW, Léon-Kloosterziel KM, Gort G, Schulte-Merker S, van Leeuwen JL, Kranenborg S .2012. Swim-training changes the spatio-temporal dynamics of skeletogenesis in zebrafish larvae (*Danio rerio*). *PLoS ONE* 7: e34072.

Galuch, A.V., Suiberto, M.R., Nakatani, K., Bialecki, A., Baumgartner, G., 2003. Initial development and temporal distribution of larvae and juveniles of *Bryconamericus stramineus* Eigenmann, 1908 (Osteichthyes, Characidae) in the floodplain of Upper Paraná River. *Acta Sci. - Biol. Sci.* 25, 335–343.

Han KH, Cho JK, Lee SH, Hwang SY, Yoon SM, Seo WI, Kim CC. Osteological development of *Takifugu pardalis* larvae and juveniles (Teleostei: Tetraodontidae). *Korean J Ichthyol.* 2005; 17: 29-35

Han KH, Kim DY, Noh BY, Oh SH, Kim YM, Jin DS, Kim YU. Morphological and skeletal development of larvae and juveniles of the slender *Ilisha elongata* (Bennett) (Teleostei: Clupeidae). *Korean J Ichthyol.* 2000; 12: 230-235

Hwang, S., Park, J., Lee, S., Han, K., 2018. Osteological Development of the Larvae and Juvenile of *Trident Goby*, *Tridentiger obscurus* 22, 205–212.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020. Produção da Pecuária Municipal 2020. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3940>.

Jesus, L. W. O. Gonadotropinas e seus receptores em *Astyanax altiparanae* (teleostei, characiformes): caracterização molecular e expressão espaço-temporal durante o ciclo reprodutivo em cativeiro. 2016, 149 f. Tese (Doutorado em Biologia Celular e

Tecidual), Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2016

Jomori, R.K., Carneiro, D.J., Malheiro S, E.B., 2003. Growth and survival of pacu *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887) juveniles reared in ponds or at different initial larviculture periods indoors. *Aquaculture* 221, 277–287.

Jomori, R.K.; Carneiro, D.J.; Malheiros, E.B. & Portella, M.C., 2005. Economic evaluation of *Piaractus mesopotamicus* juvenile production in different rearing systems. *Aquaculture* 234, 175-183.

Kendall, A. W., Jr., E. H. Ahlstrom, and H. G. Moser. 1984. Early life history stages of fishes and their characters. Pages 11–22 in H. G. Moser, W. J. Richards, D. M. Cohen, M. P. Fahay, A. W. Kendall Jr., and S. L. Richardson, editors. *Ontogeny and systematics of fishes: based on International Symposium dedicated to the memory of Elbert Halvor Ahlstrom*. Special publication/American Society of Ichthyologists and Herpetologists, New York, New York, USA.

Kim YU, Han KH, Kang CB, Ryu JW. 1992; Childhood history and spawning behavior of the gobiid fish, *Luciogobius guttatus* Gill. *Korean J Ichthyol.* 4: 1-1

Kohno H, Taki Y, Ogasawara Y, Shirojo Y, Taketomi M, Inoue M. Development of swimming and feeding function in *Pagrus major* larvae. *Japan J Ichthyol.* 1983; 30: 47-60.

Koumoundouros G, Gagliardi F, Divanach P, Boglione C, Cataudella S, Kentouri M. Normal and abnormal osteological development of the tail fin in *Sparus aurata* L. fry. *aquaculture.* 1997a; 149: 215-226.

Koumoundouros, G., Gagliardi, F., Divanach, P., Boglione, C., Cataudella, S., Kentouri, M., 1997. Normal and abnormal osteological development of the tail fin in *Sparus aurata* L. fry. *Aquaculture* 149, 215-226.

Kužir, S., Drašner, K., Matanović, K., Bastiančić, L., Vlahek, I., Savoca, S., Gjurčević, E., 2020. Trade-off between fast growth and the ossification process in common carp (*Cyprinus carpio*). *Vet. Arh.* 90, 485–492. <https://doi.org/10.24099/vet.arhiv.1166>

Lopes, T., 2014. Osteogênese, vitamina A e anomalias esqueléticas em larva de Pacu, *Piaractus mesopotamicus*. *Aleph*.

Mattox, George MT, Ralf Britz e Mônica Toledo-Piza: Skeletal development and ossification sequence of the characiform *Salminus brasiliensis* (Ostariophysi: Characidae) *Ichthyol. Explor. Freshwaters*, vol. 25, No. 2

Meunier F-J, Huysseune A. 1992. The concept of bone tissue in osteichthyes. *Netherland Journal of Zoology* 42: 445– 458.

Osse, J. W.; Van den Boogaart., J. G. M. Allometric growth in Fish Larvae: Timing and Function. In: J.J. Govoni (Ed.). *The Development of Form and Function in Fishes and the Question of Larval Adaptation*, American Fisheries Society, Symposium 40, Bethesda, Maryland, p. 167-194, 2004.

Ozawa T. Childhood history of the gonostiomatid fish, *Polichthys maui*, in the southern oceanic region of Japan. *Jap J Ichthyol.* 1976; 23: 43-54.

Park, J.Y., Han, K.H., Cho, J.K., Myeong, J.I. and Park, J.M., 2016. Early osteological development of larvae and juveniles in red spotted grouper, *Epinephelus akaara* (Pisces: Serranidae). *J. Korean Soc. Develop. Biol.*, 20: 87-101.o

Park, J.Y., Hong, C.G., Cho, J.K., Son, M.H., Han, K.H., Park J.M., 2015. Desenvolvimento osteológico inicial de larvas e juvenis em garoupa de sete bandas, *Epinephelus septemfasciatus* (Pisces: Serranidae). *Korean J Ichthyol* 27, 189-198.

Portella, M.C., Jomori, R.K., Leitão, N.J., Menossi, O.C.C., Freitas, T.M., Kojima, J.T., Lopes, T.S., Clavijo-Ayala, J.A., Carneiro, D.J., 2014. Larval development of indigenous South American freshwater fish species, with particular reference to pacu (*Piaractus mesopotamicus*): A review. *Aquaculture* 432, 402–417. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.04.032>

Potthoff, T. 1984. Clearing and staining techniques. Pages 35–37 in H. G. Moser, W. J. Richards, D. M. Cohen, M. P. Fahay, A. W. Kendall Jr., and S. L. Richardson, editors. *Ontogeny and systematics of fishes*. American Society of Ichthyologists and Herpetologists. Special publication. Allen Press, Lawrence, Kansas, USA.

Robinson, N., Karlsen, C., Ytteborg, E., Krasnov, A., Gerwins, J., Johnsen, H., Kolarevic, J., 2021. Skin and bone development in Atlantic salmon (*Salmo salar*) influenced by hatchery environment. *Aquaculture* 544, 737155. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737155>

Sanches, P.V., Baumgartner, G., Bialecki, A., Rodrigues, M., 2008. Caracterização do desenvolvimento inicial de *Leporinus friderici* (Osteichthyes, Anostomidae) da bacia do rio Paraná, Brasil. *Acta Sci. Biol. Sci.* 23, 383–389. <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v23i0.2693>

Seo, W., Park, J., Lee, S., Yoon, S.M., Hwang, S., Han, K., 2018. Osteological Development of the Larvae and Juvenile of Bullhead torrent catfish, *Liobagrus obesus* 22, 9–18.

Sfakianakis DG, Leris I, Laggis A, Kentouri M. 2011 The effect of rearing temperature on body shape and meristic characters in zebrafish (*Danio rerio*) juveniles.

Stevanato, D.J., Ostrensky, A., 2018. Ontogenetic Development of Tetra *Astyanax lacustris* (Characiformes: Characidae). *Neotropical Ichthyology* 16, 1-1.

Valenti, Wagner C. et al. Aquaculture in Brazil: past, present and future. Aquaculture Reports, v. 19. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/207202>>.

Valladão, G. M. R., Gallani, S. U., Pilarski, F., 2016. South American fish for continental aquaculture. Reviews in Aquaculture 10, 351-369.

Vandewalle, P., G. Germeau, P. Besancenet, E. Parmentier e E. Baras. 2005. Early Skeletal Head Development in *Brycon Moorei* (Pisces, Ostariophysi, Characidae). Journal of Fish Biology, 66: 996-1024. Vari, RP

Waagbo, R., 2006. Feeding and disease resistance in fish. In: Mosenthin R, Zenek J, Zebrowska T (eds) Biology of Nutrition in Growing Animals, 387-415.

Walter, BE 2013. Cranial Skeletogenesis and Osteology of the Red-Eyed *Tetra Moenkhausia sanctaefilomenae*. Journal of Fish Biology, 82: 69-95.

Zambonino Infante, J. L. and C. L. Cahu 2001. "Ontogeny of the gastrointestinal tract of marine fish larvae." Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology.