



# Aquicultura na Amazônia:

Estudos Técnico-Científicos e  
Difusão de Tecnologias

Bruno Olivetti de Mattos  
Jackson Pantoja-Lima  
Adriano Teixeira de Oliveira  
Paulo Henrique Rocha Aride  
(Organizadores)

 **Atena**  
Editora

Ano 2021



# Aquicultura na Amazônia:

Estudos Técnico-Científicos e  
Difusão de Tecnologias

Bruno Olivetti de Mattos  
Jackson Pantoja-Lima  
Adriano Teixeira de Oliveira  
Paulo Henrique Rocha Aride  
(Organizadores)

 **Atena**  
Editora

Ano 2021

### **Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

### **Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

### **Bibliotecária**

Janaina Ramos

### **Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

### **Imagens da Capa**

Shutterstock

### **Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

### **Revisão**

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Instituto Internazionele delle Figlie di Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília

Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas

Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados

Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobbon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais  
Prof. Me. Alessandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar

Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa  
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein  
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Me. Fabiano Eloy Atílio Batista – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza  
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Alborno – University of Miami and Miami Dade College  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social  
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe  
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFGA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis

Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR  
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz  
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo  
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior  
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo  
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa  
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba  
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

# Aquicultura na Amazônia: estudos técnico-científicos e difusão de tecnologias

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Natália Sandrini de Azevedo  
**Correção:** Giovanna Sandrini de Azevedo  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadores:** Bruno Olivetti de Mattos  
Jackson Pantoja-Lima  
Adriano Teixeira de Oliveira  
Paulo Henrique Rocha Aride

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A656 Aquicultura na Amazônia: estudos técnico-científicos e difusão de tecnologias / Organizadores Bruno Olivetti de Mattos, Jackson Pantoja-Lima, Adriano Teixeira de Oliveira, et al. - Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Outro organizador  
Paulo Henrique Rocha Aride

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-65-5706-904-2  
DOI 10.22533/at.ed.042211503

1. Aquicultura. 2. Região Amazônica. 3. Tecnologia. 4. Sustentabilidade ambiental. I. Mattos, Bruno Olivetti de (Organizador). II. Pantoja-Lima, Jackson (Organizador). III. Oliveira, Adriano Teixeira de (Organizador). IV. Título.

CDD 639.309811

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

## PREFÁCIO

O presente trabalho teve como desafio trazernos uma síntese e ao mesmo tempo procurar abranger uma ampla e importante gama de assuntos voltados ao desenvolvimento da aquicultura na região Amazônica, assim o mesmo nos apresenta, mais uma vez, o quanto esse assunto é importante como atividade ao desenvolvimento da produção animal na região Amazônica, na qual a diversidade de espécies e possibilidades de manejos, já é um grande desafio por si só. Sendo esse desafio em termos de oportunidades pelo lado da natureza investigatória daqueles que se dedicam a pesquisa, daqueles que buscam mais oportunidades de educação e entendimento do mundo que os cerca, como também oportunidades de fazer mais e melhor pelo desenvolvimento e bem estar dos seus pares através da produção de mais alimentos e melhor oportunidades nutricionais que podem ser oferecidas através desse conhecimento.

Conhecimento esse essencial e tão desejado nesses tempos em que a busca por uma produção de alimentos é crítica e necessária para ser avaliada e trazer tecnologias novas e mais eficientes que possibilitem, não só o aumento dessa produção, mais também um aumento de sua sustentabilidade ambiental, social e econômica. Sendo esse o papel fundamental de qualquer sociedade e por consequencia da sua estrutura de estado e organização social, que deve prover o correto direcionamento e meios financeiros necessários para atingir esses objetivos.

Por conseguinte nessa publicação observamos mais um degrau em direção a um objetivo maior, não só na divulgação do conhecimento acumulado até o momento, mas também possui em seu significado por ser mais uma etapa cumprida daqueles que se dedicam a produzir ciência e conhecimento, em uma região na qual, ainda busca mostrar o quanto ainda é necessário a continuidade de investimento em recursos humanos e financeiros ao seu pleno desenvolvimento.

Essa obra assim possui uma abrangência de tópicos e atualidades do manejo em aquicultura, não só para algumas das mais importantes espécies de peixes amazônicos, mas como também de toda uma gama de outros animais aquáticos com potencial de criação, seja voltada ao abate ou fins ornamentais.

Portanto assim é com imenso prazer que apresento essa nova publicação em formato de E-book com o tema de Aquicultura na Amazônia: Estudos Técnico-científicos e Difusão de Tecnologias.

Rodrigo Roubach

Senior Aquaculture Officer Food and Agriculture Organization of the United Nations  
(FAO/UN)

## A AQUICULTURA NA REGIÃO AMAZÔNICA

A aquicultura brasileira vem se desenvolvendo bastante num período recente. No ano de 2003 foi criada a Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca – SEAP/PR, depois transformada em Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA), em 2009. Ainda em 2009 também foi criada a EMBRAPA Aquicultura e Pesca e publicada a Nova Lei da Pesca e Aquicultura de No 11.959.

Em 2003, o IBAMA era o órgão responsável por catalogar os dados oficiais da produção aquícola no Brasil e relatou uma produção de 278 mil toneladas de pescado cultivado naquele ano (IBAMA, 2004). Atualmente, o IBGE é quem publica a estatística oficial referente à aquicultura brasileira, tendo relatado uma produção de 574 mil toneladas no ano de 2015. Estes números nos dão a dimensão de um crescimento de 106% em 12 anos; ou seja, quase 9% ao ano.

A partir de 2015, com a extinção do MPA, este crescimento diminuiu sua intensidade. Em 2019, de acordo com o IBGE (2020), a produção aquícola brasileira foi de 599 mil toneladas, um crescimento de pouco mais de 4,3% quando comparado com 2005; ou seja, pouco mais de 1% ao ano.

Estes números refletem como a falta de governança e a ausência de uma estrutura organizacional voltada para o setor pesqueiro e aquícola afeta as políticas públicas e o desenvolvimento destas atividades no Brasil.

Porém, desde 2019, foi criada a Secretaria de Aquicultura e Pesca do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – SAP/MAPA, que mesmo não trazendo de volta o nosso MPA, já nos dá um alento em relação às políticas públicas direcionadas ao desenvolvimento da aquicultura em nosso país.

De acordo com o IBGE (2020), a Região Amazônica produziu 97.341 toneladas em 2019, o que a coloca como a 2ª maior região produtora de peixe cultivado do país. A tabela 1 apresenta os dados de produção de peixe cultivado dos estados da Região Norte:

Estado	Produção em 2019 (toneladas)	Posição no Ranking Nacional
Rondônia	48.766	3º
Pará	14.084	13º
Roraima	11.056	15º
Tocantins	10.963	16º
Amazonas	7.982	18º
Acre	3.629	21º
Amapá	861	27º
TOTAL		-

Tabela 1: Produção de Peixe Cultivado por Estado da Região Norte

Fonte: IBGE (2020)

De posse destes dados, vemos que a aquicultura na Região Amazônica tem uma enorme importância, não somente para a região, mas também para todo o Brasil.

Porém, com exceção do estado de Rondônia, os demais estados da região ainda não aproveitam seu enorme potencial para desenvolver a piscicultura.

Para isto, é necessário que estes estados invistam em Planos Estaduais de Desenvolvimento da Aquicultura, que possibilitem a adoção de políticas públicas que possam promover o desenvolvimento desta atividade.

Portanto, é necessário divulgar e apoiar iniciativas que promovam o desenvolvimento da aquicultura na Região Amazônica. Este livro vem exatamente colaborar com esta missão. A participação de diversos autores e de renomadas instituições, com suas valiosas contribuições nos mais diversos temas, mostram a pujança econômica e acadêmica desta atividade na Região e tornaram possível esta publicação.

Este livro foi didaticamente dividido em seções e capítulos. A Seção A foi dividida em 4 capítulos e diz respeito aos sistemas de produção, citando diferentes tecnologias sustentáveis para a aquicultura na Amazônia. A Seção B, em seus 5 capítulos, faz um amplo relato sobre a Economia Aquícola e sua relação com as bases para o desenvolvimento técnico e econômico. Já a Seção C versa sobre Nutrição e Manejo Alimentar de Peixes Amazônicos e também possui 5 capítulos; enquanto a Seção D traz considerações sobre o importante tema da Reprodução e Preservação da Biodiversidade das Espécies de Importância Comercial, sendo dividida em 3 capítulos. Por fim, a Seção E, que trata sobre a Fisiologia e Sanidade Aquícola Aplicada à Piscicultura em seus 4 capítulos.

A aquicultura pode vir a ser o motor de um novo ciclo de desenvolvimento sustentável na Região Amazônica, além de ser uma das melhores ferramentas na luta contra a fome e a pobreza rural, na diminuição do desmatamento e na emissão de gases de efeito estufa. Desta forma, depois de 26 anos de experiência profissional e com trabalhos realizados em todos os estados brasileiros e em mais de 35 países, é com muita satisfação que escrevo o prefácio deste livro, que acredito poderá ser um belo instrumento de popularização do conhecimento técnico-científico e que poderá gerar uma enorme contribuição ao desenvolvimento territorial da Região Amazônica por meio da aquicultura.

Joao Felipe Nogueira Matias

Cientista Chefe da Aquicultura da FUNCAP/ CE

Professor do Curso de Piscicultura Comercial da EAJ/ UFRN

Diretor-Executivo da Empresa RAQUA/ Felipe Matias Consultores Associados  
LTDA.

## SUMÁRIO

### SEÇÃO A - SISTEMAS DE PRODUÇÃO: TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS PARA AQUICULTURA NA AMAZÔNIA

#### **CAPÍTULO 1..... 1**

##### **O ESTADO DA PISCICULTURA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

Jackson Pantoja-Lima  
Maria Juliete Souza Rocha  
Liliane de Araújo Castro  
Aldessandro da Costa Amaral  
Celso Scherer Filho  
Romulo Veiga Paixão  
Julmar da Costa Feijó  
Hilacy de Souza Araújo  
Paulo Henrique Rocha Aride  
Adriano Teixeira de Oliveira  
Bruno Olivetti de Mattos

**DOI 10.22533/at.ed.0422115031**

#### **CAPÍTULO 2..... 13**

##### **CRIAÇÃO COMERCIAL E COMUNITÁRIA DE QUELÔNIOS NO ESTADO DO AMAZONAS**

Jânderson Rocha Garcez  
Anndson Brelaz de Oliveira  
Paulo César Machado Andrade  
João Alfredo da Mota Duarte

**DOI 10.22533/at.ed.0422115032**

#### **CAPÍTULO 3..... 31**

##### **AQUAPONIA NA AMAZÔNIA**

Rondon Tatsuta Yamane Baptista de Souza  
Sarah Ragonha de Oliveira  
Danniel Rocha Bevilaqua

**DOI 10.22533/at.ed.0422115033**

#### **CAPÍTULO 4..... 45**

##### **PRODUÇÃO DE OSTRAS NATIVAS NA AMAZÔNIA: SOLUÇÕES EM BUSCA DA SUSTENTABILIDADE**

Thiago Dias Trombeta  
Dioniso de Souza Sampaio

**DOI 10.22533/at.ed.0422115034**

## **SEÇÃO B - ECONOMIA AQUÍCOLA: BASES PARA O DESENVOLVIMENTO TÉCNICO E ECONÔMICO**

### **CAPÍTULO 5.....59**

#### **AQUICULTURA NO ESTADO DO PARÁ: FATORES LIMITANTES E ESTRATÉGIAS PARA O DESENVOLVIMENTO**

Marcos Ferreira Brabo  
Renato Pinheiro Rodrigues  
Marcos Antônio Souza dos Santos  
Antônia do Socorro Pena da Gama  
Antônio José Mota Bentes  
David Gibbs McGrath

**DOI 10.22533/at.ed.0422115035**

### **CAPÍTULO 6.....73**

#### **A OSTREICULTURA ENQUANTO ALTERNATIVA DE RENDA PARA POPULAÇÕES TRADICIONAIS DO LITORAL AMAZÔNICO: O CASO DA AGROMAR**

Rogério dos Santos Cruz Reis  
Renato Pinheiro Rodrigues  
Antonio Tarcio da Silva Costa  
Jadson Miranda de Sousa  
Denys Roberto Corrêa Castro  
Carlos Jorge Reis Cruz  
Daniel Abreu Vasconcelos Campelo  
Galileu Crovatto Veras  
Marcos Antônio Souza dos Santos  
Marcos Ferreira Brabo

**DOI 10.22533/at.ed.0422115036**

### **CAPÍTULO 7.....86**

#### **ANÁLISE SOCIOECONÔMICA E LUCRATIVIDADE DA PISCICULTURA DO TAMBAQUI (*Colossoma macropomum*) NO ESTADO DO AMAZONAS, BRASIL**

Carlos André Silva Lima  
Márcia Regina Fragoso Machado Bussons  
Adriano Teixeira de Oliveira  
Paulo Henrique Rocha Aride  
Fernanda Loureiro de Almeida O'Sullivan  
Jackson Pantoja-lima

**DOI 10.22533/at.ed.0422115037**

### **CAPÍTULO 8.....103**

#### **ASPECTOS ECONÔMICO DA PISCICULTURA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

Jesaias Ismael da Costa

**DOI 10.22533/at.ed.0422115038**

**CAPÍTULO 9..... 114**

**ABATE *IN SITU* E RENDIMENTO DE CARÇA DE JACARÉS AMAZÔNICOS**

Guilherme Martinez Freire  
Augusto Kluczkovski Junior  
Adriana Kulaif Terra  
Fabio Markendorf  
Washington Carlos da Silva Mendonça  
Ronis da Silveira

**DOI 10.22533/at.ed.0422115039**

**SEÇÃO C - NUTRIÇÃO E MANEJO ALIMENTAR DE PEIXES AMAZÔNICOS**

**CAPÍTULO 10..... 126**

**UTILIZAÇÃO DE ALIMENTADORES DE AUTO-DEMANDA: UMA REVISÃO E POTENCIAL USO PARA PEIXES AMAZÔNICOS**

Bruno Olivetti de Mattos  
William Alemão Saboia  
Eduardo César Teixeira Nascimento Filho  
Aline dos Anjos Santos  
Kayck Amaral Barreto  
Guilherme Wolff Bueno  
Rodrigo Fortes-Silva

**DOI 10.22533/at.ed.04221150310**

**CAPÍTULO 11 ..... 146**

**EXIGÊNCIA DE AMINOÁCIDOS NAS DIETAS: UMA NECESSIDADE PARA PEIXES AMAZÔNICOS**

Ariany Rabello da Silva Liebl  
Márcia Regina Fragoso Machado Bussons  
Elson Antônio Sadalla Pinto  
Paulo Henrique Rocha Aride  
Adriano Teixeira de Oliveira

**DOI 10.22533/at.ed.04221150311**

**CAPÍTULO 12..... 159**

**MANEJO NUTRICIONAL NA LARVICULTURA E ALEVINAGEM DE PEIXES ORNAMENTAIS AMAZÔNICOS**

Daniel Abreu Vasconcelos Campelo  
Lorena Batista de Moura  
Leonnán Carlos Carvalho de Oliveira  
Pamella Talita da Silva Melo  
Bruno José Corecha Fernandes Eiras  
Ana Lucia Salaro  
Jener Alexandre Sampaio Zuanon  
Marcos Ferreira Brabo  
Galileu Crovatto Veras

**DOI 10.22533/at.ed.04221150312**

**CAPÍTULO 13..... 177**

**NUTRIÇÃO E MANEJO ALIMENTAR DE PEIXES AMAZÔNICOS**

Elson Antônio Sadalla Pinto  
Ariany Rabello da Silva Liebl  
Marcelo Santos do Nascimento  
Nathália Siqueira Flor  
Paulo Henrique Rocha Aride  
Adriano Teixeira de Oliveira

**DOI 10.22533/at.ed.04221150313**

**CAPÍTULO 14..... 198**

**TECNOLOGIAS NUTRICIONAIS NA FASE INICIAL DE CRIAÇÃO DO PIRARUCU, *Arapaima gigas*.**

Flávio Augusto Leão da Fonseca  
Jeffson Nobre Pereira

**DOI 10.22533/at.ed.04221150314**

**SEÇÃO D - REPRODUÇÃO E PRESERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE DAS ESPÉCIES DE IMPORTÂNCIA COMERCIAL**

**CAPÍTULO 15..... 222**

**TECNOLOGIAS APLICADAS À REPRODUÇÃO DE PEIXES AMAZÔNICOS**

Eduardo Antônio Sanches  
Diógenes Henrique de Siqueira-Silva  
Gabriela Brambila de Souza  
Ana Carina Nogueira Vasconcelos  
Jayme Aparecido Povh  
Danilo Pedro Streit Jr.

**DOI 10.22533/at.ed.04221150315**

**CAPÍTULO 16..... 240**

**GRANDES PEIXES DA AMAZÔNIA: UM ESTUDO SOBRE A REPRODUÇÃO DAS ESPÉCIES DE GRANDE PORTE COM POTENCIAL PARA AQUICULTURA**

Lucas Simon Torati  
Júlia Trugilio Lopes  
Jhon Edison Jimenez-Rojas  
Luciana Nakaghi Ganeco-Kirschnik

**DOI 10.22533/at.ed.04221150316**

**CAPÍTULO 17..... 258**

**PRÁTICAS REPRODUTIVAS DE ESPÉCIES AMAZÔNICAS EM CATIVEIRO: TAMBAQUI E MATRINXÃ**

Alzira Miranda de Oliveira  
Alexandre Honczaryk  
Aline Telles Lima  
Alana Cristina Vinhote da Silva

Carlos Henrique dos Anjos dos Santos  
Rafael Yutaka Kuradomi  
Vivianne da Silva Fonseca

**DOI 10.22533/at.ed.04221150317**

## **SEÇÃO E - FISIOLÓGIA E SANIDADE AQUÍCOLA APLICADA NA PISCICULTURA**

### **CAPÍTULO 18.....269**

**FISIOLÓGIA SANGUÍNEA DO PACU *Mylossoma duriventre* E DA PESCADA *Plagioscion squamosissimus*.**

Adriano Teixeira de Oliveira  
Elson Antônio Sadalla Pinto  
Ariany Rabello da Silva Liebl  
Jackson Pantoja-Lima  
Antônia Jaqueline Vitor de Paiva  
Paulo Henrique Rocha Aride

**DOI 10.22533/at.ed.04221150318**

### **CAPÍTULO 19.....277**

**IMUNOLOGIA DOS PEIXES AMAZÔNICOS: O QUANTO CONHECEMOS?**

Damy Caroline de Melo Souza  
Rafael Luckwu de Sousa  
Edsandra Campos Chagas  
Maria Cristina dos Santos

**DOI 10.22533/at.ed.04221150319**

### **CAPÍTULO 20.....294**

**ANESTESIA E SEDAÇÃO EM PEIXES: AVALIAÇÃO, PRODUTOS UTILIZADOS E IMPLICAÇÕES ÉTICAS**

Luis André Luz Barbas  
Moisés Hamoy

**DOI 10.22533/at.ed.04221150320**

### **CAPÍTULO 21.....311**

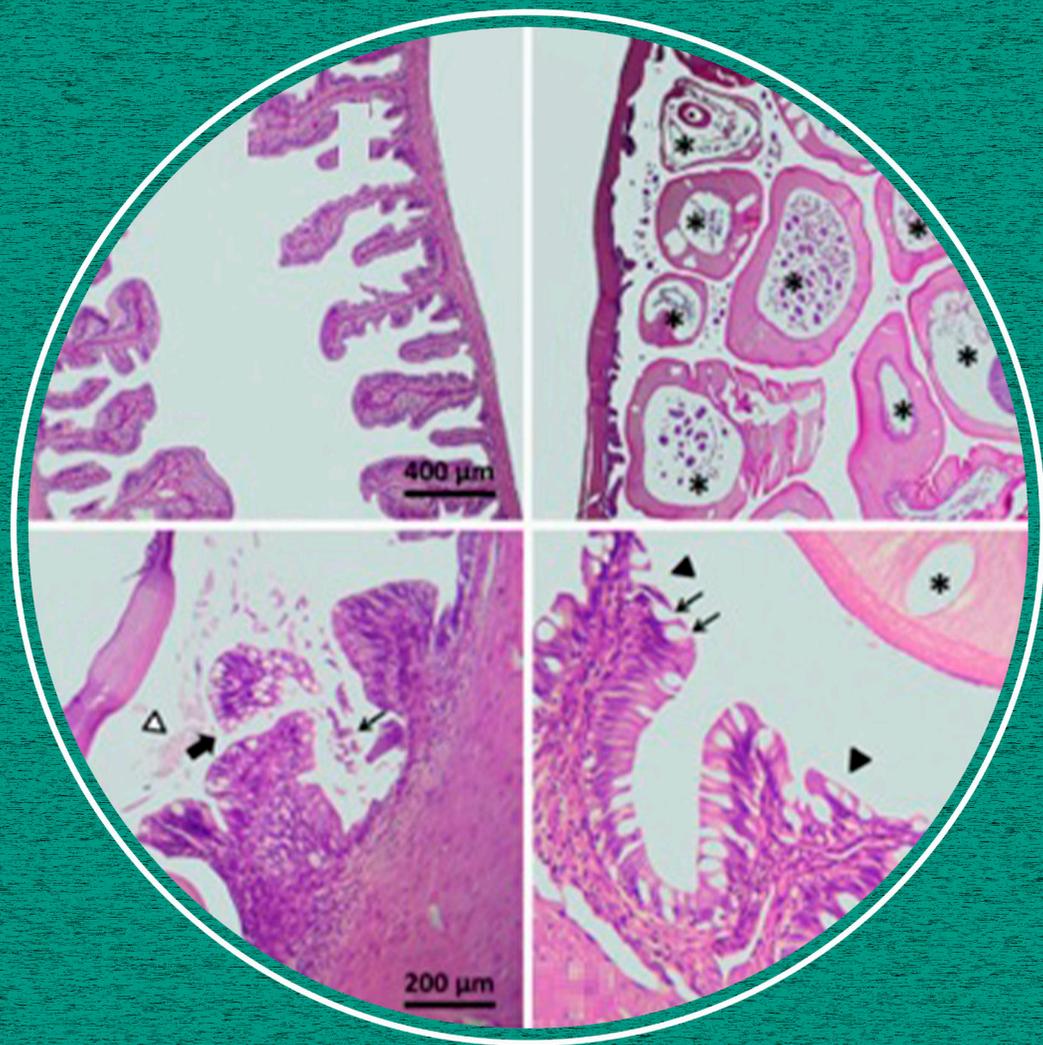
**PARASITISMO E SEUS EFEITOS SANGUÍNEOS E HISTOPATOLÓGICOS EM PEIXES**

Marcos Tavares-Dias  
Edsandra Campos Chagas  
Patricia Oliveira Maciel

**DOI 10.22533/at.ed.04221150321**

### **SOBRE OS ORGANIZADORES .....354**

# FISIOLOGIA E SANIDADE AQUÍCOLA APLICADA NA PISCICULTURA



SEÇÃO E

## FISIOLOGIA SANGUÍNEA DO PACU *Mylossoma duriventre* E DA PESCADA *Plagioscion squamosissimus*.

Data de aceite: 01/02/2021

Data de Submissão: 27/11/2020

### **Adriano Teixeira de Oliveira**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Amazonas  
Manaus – Amazonas  
<https://orcid.org/0000-0003-4988-9878>

### **Elson Antônio Sadalla Pinto**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Amazonas  
Manaus – Amazonas  
<http://lattes.cnpq.br/9786797594989755>

### **Ariany Rabello da Silva Liebl**

Universidade Federal do Amazonas-UFAM  
Manaus - Amazonas  
<https://orcid.org/0000-0002-5010-1294>

### **Jackson Pantoja-Lima**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Amazonas  
Presidente Figueiredo – Amazonas  
<https://orcid.org/0000-0002-6449-4981>

### **Antônia Jaqueline Vitor de Paiva**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Amazonas  
Manaus – Amazonas  
<https://orcid.org/0000-0003-4793-4903>

### **Paulo Henrique Rocha Aride**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Amazonas  
Manaus – Amazonas  
<https://orcid.org/0000-0001-9752-5003>

**RESUMO:** *Mylossoma duriventre* pacu e *Plagioscion squamosissimus* pescada são peixes bastante consumido pela população e com potencial para a exploração em sistemas de criação na Amazônia. O presente trabalho tem por objetivo determinar o eritrograma e a bioquímica plasmática do pacu *M. duriventre* e da pescada *P. squamosissimus*, que pode ser empregado como parâmetro para futuros sistemas de produção aquícola. Os animais foram capturados em lagos localizados no município de Juruá, Amazonas. Um total de 40 pacu e 40 pescada foram capturadas, medidos e tiveram o sangue colhido por punção do vaso caudal, os parâmetros fisiológicos foram determinados de acordo com metodologia previamente descrita na literatura. Os resultados demonstram que os espécimes de pacu são menores e mais leves, quando comparadas a pescada. De maneira geral o pacu apresentou valores da série vermelha superiores aos encontrados na pescada, indicando metabolismo mais acentuado o que reflete no hábito de vida da espécie, que é de natureza migradora. As variáveis referentes à bioquímica plasmática apresentaram enorme variação intraespecífica, principalmente para a glicose. As informações geradas no presente estudo são fundamentais para o monitoramento fisiológico e de saúde, para futuras estratégias de produção em cativeiro de *M. duriventre* e *P. squamosissimus*.

**PALAVRAS-CHAVE:** hematologia, piscicultura, intervalos, Amazônia.

### **BLOOD PHYSIOLOGY OF THE PACU *Mylossoma duriventre* AND HAKE *Plagioscion squamosissimus*.**

**ABSTRACT:** *Mylossoma duriventre* pacu and *Plagioscion squamosissimus* hake are fish widely consumed by the population and with potential for

exploitation in farming systems in the Amazon. This work aims to determine the erythrogram and plasma biochemistry of pacu *M. duriventre* and hake *P. squamosissimus*, which can be used as a parameter for future aquaculture production systems. The animals were captured in lakes located in the municipality of Juruá, Amazonas. A total of 40 pacu and 40 hake were captured, measured and the blood was collected by puncturing the caudal vessel, the physiological parameters were determined according to the methodology previously described in the literature. The results show that pacu specimens are smaller and lighter when compared to hake. In general, pacu showed values of the red series higher than those found in hake, indicating a more marked metabolism which reflects in the species' life habit, which is of a migratory nature. The variables related to plasma biochemistry showed enormous intraspecific variation, mainly for glucose. The information generated in this study is essential for physiological and health monitoring, for future captive production strategies of *M. duriventre* and *P. squamosissimus*.

**KEYWORDS:** hematology, fish farming, intervals, Amazon.

## 1 | INTRODUÇÃO

A diversidade de peixes Amazônicos fascina acadêmicos e entusiastas da ictiologia no mundo todo e neste contexto os peixes que atingem um tamanho considerável ocupam uma posição destacada. Estes peixes, também despertam o interesse da aquicultura, devido a características de interesse zootécnico e apreço pela sua carne em mercados locais e grandes centros consumidores. Na Amazônia, existem quatro espécies de grande porte que merecem atenção como potenciais novas espécies para a piscicultura dos países que compartilham a bacia do rio Amazonas.

Na Amazônia, tradicionalmente a pesca sempre foi feita em regime extrativista, para consumo local, por conta dessa característica algumas das principais espécies de peixes tiveram suas populações reduzidas e em muitas localidades suas populações até desapareceram (Alcântara et al., 2015). Assim, uma alternativa para minimizar os efeitos da pressão pesqueira e da sazonalidade é a criação de organismos aquáticos em cativeiro, que além de propiciar melhor equilíbrio entre oferta e demanda no mercado regional, estabilizando os preços ao longo do ano, também poderá contribuir para incrementar a exportação (Pantoja-Lima et al., 2015).

Nesse sentido, a aquicultura vem crescendo na região e graças a técnicas modernas de produção em cativeiro, várias espécies de peixes locais passaram a ser introduzidas e comercializadas em outras áreas do país (Lima et al., 2020). No estado do Amazonas, Pantoja-Lima (2015) retrataram o cultivo de outras espécies nativas na piscicultura local, adicionais às espécies rotineiras nas pisciculturas, tais como o tambaqui *Colossoma macropomum*, pirarucu *Arapaima gigas* e matrinxã *Brycon amazonicus*.

Entre as várias espécies de peixes utilizadas na alimentação na Amazônia, que ainda não existe criação em cativeiro, destaca-se o pacu e a pescada. Pacu é o nome dado há pelo menos oito gêneros ao qual estão inseridas aproximadamente 30 espécies, sendo as mais comuns as pertencentes ao gênero *Mylossoma*, *Myleus* e *Metynniss* (Santos et al., 2009). As espécies de pacu pertencentes a estes gêneros possuem grande aceitabilidade como fonte de proteína animal, entre eles o *Mylossoma duriventre* que é um peixe bastante

consumido, alto sabor e rendimento de carne propício para a produção em cativeiro (Chamy et al., 2015). Outra espécie com potencial para a produção aquícola na Amazônia é a pescada *Plagioscion squamosissimus*, essa possui dimensões de médio até grande porte e um rendimento de filé cárneo bastante acentuado (Santos et al., 2009).

Nos peixes teleósteos as variáveis relativas à série vermelha dos peixes vêm sendo utilizadas no diagnóstico de processos anemiantes (Mahoney e McNulty, 1992; Tavares-Dias e Moraes, 2004), como indicadores da resposta sistêmica a estímulos externos (Mikryakov et al., 1993), enquanto os distúrbios osmoregulatórios (Davis, 1995) e o leucograma são empregados como auxílio no diagnóstico de processos infecciosos (Stoskopf, 1993; Tavares-Dias e Moraes, 2004) e outros estados de desequilíbrio homeostáticos. Assim a produção do sangue em peixes teleósteos ocorre nos tecidos mielóide e linfóides, pois, os teleósteos são desprovidos de medula óssea e de linfonodos (Tavares-Dias e Moraes, 2004).

Estudos prévios descreveram o eritrograma e o percentual de leucócitos em *Piaractus mesopotamicus* pacu oriundos de policultivo (Tavares-Dias et al., 1999) e de cultivo semi-intensivo (Ranzani-Paiva et al., 1998). Tavares-Dias e Mataqueiro (2004) descreveram em *P. mesopotamicus*, mantidos em cultivo intensivo, valores das características hematológicas e bioquímicas, nas quais se se distanciam daquelas descritas na literatura, os mesmos autores argumentaram que as variações interespecíficas podem ser ocasionadas por fatores como sazonalidade, reprodução, hábito alimentar, necessidades metabólicas de cada espécie e condições ecofisiológicas. No mesmo pacu *P. mesopotamicus* foram descritos altos valores do coeficiente de variação (CV%) das características hematológicas, bioquímicas e biométricas, tais variações individuais podem ser consideradas normais, pois os parâmetros biológicos em peixes não apresentam uma distribuição normal (Tavares-Dias e Mataqueiro, 2004).

Em um estudo conduzido na bacia do rio Solimões, Amazonas, com o *M. duriventre*, na qual variações intraespecíficas foram observadas para os parâmetros investigados, mas o hematócrito foi o parâmetro com menor variação (Chamy et al., 2015). O número de eritrócitos mostrou correlação altamente positiva com o hematócrito, também nas extensões sanguíneas foram quantificados e caracterizados linfócitos, monócitos, neutrófilos, eosinófilos e leucócitos granular PAS-positivo, mas houve predominância de linfócitos e neutrófilos, tais leucócitos apresentaram características similares a de outras espécies de serrasalmídeos (Chamy et al., 2015).

Apesar da grande importância da hematologia ainda são escassas as informações literária sobre teleósteos, especialmente aqueles referentes a populações naturais tais com o pacu *M. duriventri* e a pescada *P. squamosissimus*. As informações geradas pelo presente estudo serão essenciais para o estabelecimento de futuras estratégias de produção do pacu e da pescada em cativeiro, visto que, o entendimento dos aspectos hematológicos em peixes de vida livre é essencial para o monitoramento dessas espécies em futuras criações em cativeiro. O presente trabalho tem por objetivo determinar o eritrograma e a bioquímica plasmática do pacu *M. duriventre* e da pescada *P. squamosissimus*.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

Um total de 40 animais, sendo 20 espécimes de pacu *M. duriventre* e 20 de pescada *P. squamosissimus*, foram capturados no baixo Rio Juruá, Amazonas, nas proximidades da cidade de Juruá, Amazonas. Os espécimes foram capturados com rede de malhadeira e o sangue foi coletado por punção do vaso caudal com seringas descartáveis contendo EDTA 10%. Em seguida, o sangue foi transferido para tubos Eppendorf devidamente identificados, que foram mantidos em refrigeração constante até o momento da determinação do eritrograma e da bioquímica plasmática. A determinação dos dados biométricos comprimento total (CT) e peso corpóreo foram determinados com o uso de fita métrica e balança portátil tipo pesola.

A série vermelha do sangue (eritrograma) se deu por meio da contagem de eritrócitos totais (RBC) que foi realizada em leitura ótica em câmara de Neubauer, após diluição de 200 vezes em solução de formol-citrato. A determinação da concentração da hemoglobina foi realizada pelo método da cianometahemoglobina com posterior leitura em espectrofotômetro. O hematócrito foi determinado pelo método do microhematócrito que corresponde à centrifugação (10.000 rpm por cinco minutos) de um dado volume de sangue em um capilar de vidro, seguido de leitura dos resultados em cartão padronizado.

A partir da determinação dos parâmetros hematológicos, foram calculados os índices hematimétricos: VCM, HCM e CHCM, que seguiram as recomendações de Wintrobe (1934). O VCM é a média do volume das células vermelhas do sangue, onde se relaciona através de uma razão entre hematócrito e o número total de eritrócitos. O HCM representa uma estimativa da concentração de hemoglobina presente em um único eritrócito, sendo dada pela razão entre a concentração de hemoglobina sanguínea e o número de eritrócitos. O CHCM é a proporção de hemoglobina solúvel em um volume equivalente a 100 mL de sangue total, sendo calculada pela razão entre a concentração da hemoglobina e o hematócrito.

Após a separação do plasma por meio de centrifugação os níveis plasmáticos de glicose, colesterol, proteínas totais e cloretos foram determinados com o uso de kits Doles, com leitura em aparelho de espectrofotômetro. Os resultados foram apresentados sob a forma de média, desvio padrão (DP), mínimo, máximo e intervalo de confiança inferior e superior 95%.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores dos parâmetros hematológicos normalmente apresentam variações interespecíficas e intra-específicas (Vuren e hatting, 1978; Ranzani-Paiva et al., 1998), essas são atribuídas a diferentes fatores, tais com fatores externos, variação genética e estresse causados pela captura e o manuseio (Kori-Siakpere, 1985; Tavares-Dias et al., 2001), entre eles os ocasionados pela retomada de amostras sanguíneas (Lusková, 1998; Tavares-Dias e Sandrin, 1998) que muitas vezes dificultam a determinação de intervalos hematológicos de referência.

No presente estudo os animais apresentaram as medidas (média  $\pm$  DP; mínimo-máximo; limite inferior-limite superior 95%) conforme demonstrado na Tabela 1, na (Santos

et al., 2009). No presente estudo o pacu apresentou biometria similar a mesma espécie encontrada no médio Solimões, Coari, Amazonas. Para a pescada as variáveis biométricas estiveram dentro dos resultados encontrados por Carvalho et al., (2017), quando estudaram a mesma espécie (*P. squamosissimus*) oriundos de uma área de proteção ambiental do nordeste brasileiro.

Para as variáveis eritrocíticas foram demonstrados variações intraespecíficos (Tabela 2) a exemplo das informações também descritas por Tavares-Dias e Moraes (2004) que relataram variações intraespecíficas em varias espécies de peixes teleosteos dulciaquícolas. De maneira geral o pacu apresentou valores da série vermelha superiores aos encontrados na pescada, indicando metabolismo mais acentuado o que reflete no hábito de vida da espécie, que é de natureza migradora (Santos et al., 2009).

Peixe	Variáveis	Média ± DP	Mínimo - Máximo	Inferior 95% - Superior 95%
Pacu	CT (cm)	21,5 ± 1,5	19,0 – 23,5	20,4 – 22,6
	Peso (g)	228,0 ± 58,8	140,0 – 300,0	272,3 – 183,7
Pescada	CT (cm)	41,0 ± 6,5	30,0 – 48,0	36,4 – 45,7
	Peso (g)	794,0 ± 345,0	280,0 – 1.260,0	547,2 – 1.040,8

Tabela 1. Dados biométricos do pacu *M. duriventre* e pescada *P. squamosissimus* oriundos do baixo Rio Juruá, Amazonas.

Ao confrontar os resultados do eritrograma do pacu no presente estudo, com a mesma espécie oriunda do médio Solimões, foi observado similaridade entre todos os parâmetros propostos. Ademais, os valores do hematócrito foram superiores ao de outra espécie de pacu *Piaractus mesopotamicus* oriundas de pisciculturas, fato justificado pelos valores superior do VCM (Tavares-Dias e Mataqueiro, 2004).

Para a pescada os valores de hematócrito e VCM foram inferiores a outras espécies da ordem perciforme, tais com as espécies de tucunaré *Cichla monoculis*, *Cichla temensis* e *Cichla vazzoleri* (Castro et al., 2020).

Peixe	Variáveis	Média ± DP	Mínimo - Máximo	Inferior 95% - Superior 95%
Pacu	Ht (%)	45,2 ± 5,6	36,0 – 56,0	41,0 – 49,4
	Hb (g/dL)	8,9 ± 1,1	6,7 – 10,5	8,0 – 9,7
	RBC (milhões/uL)	2,4 ± 0,4	2,0 – 3,1	2,1 – 2,7
	VCM (fL)	191,0 ± 32,7	148,4 – 253,8	166,3 – 215,7
	HCM (pg)	37,8 ± 8,1	26,0 – 51,9	31,8 – 43,9
	CHCM (%)	19,7 ± 1,9	17,5 – 23,3	18,3 – 21,2

<b>Pescada</b>	<b>Ht (%)</b>	34,4 ± 4,6	28,0 – 42,0	31,1 – 37,7
	<b>Hb (g/dL)</b>	5,5 ± 1,1	4,0 – 7,1	4,7 – 6,2
	<b>RBC (milhões/uL)</b>	1,8 ± 0,2	1,4 – 2,2	1,6 – 1,9
	<b>VCM (fL)</b>	197,4 ± 45,1	127,3 – 279,7	165,1 – 229,6
	<b>HCM (pg)</b>	31,5 ± 8,6	19,4 – 45,8	25,3 – 37,7
	<b>CHCM (%)</b>	16,1 ± 3,9	11,2 – 25,3	13,3 – 19,0

Tabela 2. Eritrograma do pacu *M. duriventre* e pescada *P. squamosissimus* oriundos do baixo Rio Juruá, Amazonas.

As variáveis referentes à bioquímica plasmática apresentaram enorme variação intraespecífica, principalmente para a glicose (Tabela 3). Para o pacu do presente estudo os níveis de glicose e cloretos são inferiores e os níveis de proteínas totais são superiores aos retratados para o pirarucu *Arapaima gigas* (Tavares-Dias et al., 2007). Os níveis de triglicerídeos e colesterol no pacu são inferiores aos retratados no tambaqui *Colossoma macropomum* (Tavares-Dias et al., 2003). Também foram retratados níveis inferiores de cloretos e de proteínas totais, quando comparado ao matrinxã *Brycon amazonicus* oriundo de sistema de piscicultura, indicando uma possível aumento das variáveis bioquímica quando o animal é oriundo de piscicultura, diferentemente do que se observa quando a espécie é oriunda de ambiente natural.

Para a pescada os valores de glicose e triglicerídeos foram superiores ao retratado para *C. monoculos*, *C. temensis* e *C. vazzoleri*, entretanto as demais análises mensuradas apresentaram valores similares (Castro et al., 2020), essas diferenças podem ser reflexões das diferentes localidades em que os animais foram capturados, vale ressaltar que em ambas as situações os animais foram oriundos de ambiente natural.

Peixe	Variáveis	Média ± DP	Mínimo - Máximo	Inferior 95% - superior 95%
<b>Pacu</b>	<b>Glicose (mg/dL)</b>	196,68 ± 59,66	111,08 – 261,27	154,0 – 239,36
	<b>Proteínas totais (g/dL)</b>	3,99 ± 0,19	3,66 – 4,26	3,83 – 4,15
	<b>Triglicerídeos (mmol/L)</b>	3,65 ± 1,34	1,32 – 5,57	2,70 – 4,61
	<b>Colesterol (mmol/L)</b>	3,12 ± 0,62	1,74 – 3,72	2,67 – 3,56
	<b>Cloretos (mmol/L)</b>	2,09 ± 0,21	1,70 – 2,43	1,93 – 2,25
<b>Pescada</b>	<b>Glicose (mg/dL)</b>	82,95 ± 16,88	52,98 – 103,59	68,84 – 97,05
	<b>Proteínas totais (g/dL)</b>	4,07 ± 0,82	3,35 – 5,76	3,48 – 4,62
	<b>Triglicerídeos (mmol/L)</b>	6,90 ± 2,72	3,51 – 10,78	4,96 – 8,85
	<b>Colesterol (mmol/L)</b>	0,49 ± 0,17	0,24 – 0,77	0,36 – 0,61
	<b>Cloretos (mmol/L)</b>	0,40 ± 0,14	0,13 – 0,62	0,30 – 0,50

Tabela 3. Bioquímica plasmática do pacu *M. duriventre* e pescada *P. squamosissimus* oriundos do baixo Rio Juruá, Amazonas.

## 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

As informações geradas no presente estudo são fundamentais para o monitoramento

fisiológico e de saúde, para que quando ocorra a produção em cativeiro do pacu *M. duriventre* e da pescada *P. squamosissimus* se tenha um parâmetro comparativo com espécies oriundas de ambiente natural, sendo assim contribuindo para o desenvolvimento do setor piscícola na região.

## REFERÊNCIAS

- ALCANTARA, N.C.; GONCALVES, G.S.; BRAGA, T.M.P.; SANTOS, S.M.; ARAUJO, R.L.; PANTOJA-LIMA, J.; ARIDE, P.H.R.; OLIVEIRA, A.T. 2015. Avaliação do Desembarque Pesqueiro (2009-2010) no Município de Juruá, Amazonas, Brasil. *Biota Amazônia*, 5: 37-42. <http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v5n1p37-42>
- CARVALHO, I.F.S.; CANTANHÊDE, L.G.; SANTOS, N.B.; CARVALHO NETA, R.N.F.; ALMEIDA, Z.S. 2017. Biologia reprodutiva de *Plagioscion squamosissimus* (Pisces, Sciaenidae) em uma área de proteção ambiental do nordeste do Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca*, 43(2): 243 – 256. DOI: 10.20950/1678-2305.2017v43n2p243
- CASTRO, P.D.S.; LADISLAU, D.; RIBEIRO, M.W.S.; LOPES, A.C.C.; LAVANDER, H.D.; BASSUL, L.A.; MATTOS, D.C.; LIEBL, A.R.S.; ARIDE, P.H.R.; OLIVEIRA, A.T. 2020. Hematological parameters of three species of tucunarés (*Cichla* spp.) from Lake Balbina, Presidente Figueiredo, Amazonas. *Brazilian Journal of Biology*, 80: 1-7. <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.219409>
- CHAMY, M.N.C.; PINTO-SOUZA, R.; COSTA, A.G.; TAVARES-DIAS, M. 2015. Hematologia do *Mylossoma duriventre* (serrasalmidae) da bacia do Rio Solimões, Amazônia central (Brasil). *Veterinária e Zootecnia*, 22: 597-606.
- DAVIS, S.W. 1995. Values for selected serum analyses during-experimental *Ichthyophthirius multifiliis* infection of channel catfish. *J. Aquat. Anim. Health*, 7: 262-264.
- KORI-SIAKPERE, O. 1985. Haematological characteristics of *Clarias isheriensis* Sydenham. *J. Fish Biol.*, 27: 259-63, 1985.
- LIMA, C.A.S.; BUSSONS, M.R.F.M.; OLIVEIRA, A.T.; ARIDE, P.H.R.; O’SULLIVAN, F.L.A.; PANTOJA-LIMA, J. 2020. Socioeconomic and Profitability Analysis of Tambaqui *Colossoma macropomum* Fish Farming in the State of Amazonas, Brazil. *Aquaculture Economics & Management*, 1: 1-16. <https://doi.org/10.1080/13657305.2020.1765895>
- LUSKOVÁ, V. 1998. Factors affecting haematological indices in free-living fish populations. *Acta Vet. Brno*, 67:249-255.
- MAHONEY, J.B.; McNULTY, J.K. 1992 Disease-associated blood changes and normal seasonal hematological variation in winter flounder in the Hudson-Raritan estuary. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, v. 121, p. 261-268.
- MIKRYAKOV, V.R.; PONYAKINA, I.D.; LEBEDEV, K.A.; BALABANOVA, L.V.; LAPIROVA, T.B.; SILKINA, N.I. 1993. Analysis of blood leukocytes for populations screening in ecological studies using crucian carp, *Carassius carassius*. *J. Ichthyol.*, 33(2): 151-158.
- PANTOJA-LIMA, J.; SANTOS, S.M.; OLIVEIRA, A.T.; ARAUJO, R.L.; SILVA JUNIOR, J.A.L.; ROCHA, P.H.A. 2015. Pró-rural aquicultura: relatos das principais ações de extensão tecnológica e um panorama do setor aquícola do estado do Amazonas, Brasil. *Nexus*, 1: 35-45.
- RANZANI-PAIVA, M.J.T.; SALLES, F.A.; EIRAS, J.C.; EIRAS, A.C.; ISHIKAWA, C.M.; ALEXANDRINO, A.C., 1998. Análises Hematológicas de Curimatá (*Prochilodus scrofa*), Pacu (*Piaractus*

*mesopotamicus*) e Tambaqui (*Colossoma macropomum*) das estações de piscicultura do Instituto de Pesca, Estado de São Paulo. Boletim do Instituto de Pesca, 25: 77-83.

SANTOS, G.; FERREIRA, E.; ZUANON, J. 2006. Peixes comerciais de Manaus. Manaus: IBAMA/AM, ProVárzea, 144 p.

STOSKOPF, M.K. 1993 Fish medicine. Philadelphia: W.B. Saunders Company, p. 88.

TAVARES-DIAS, M.; MORAES, F.R. 2004. Hematologia de Peixes Teleósteos. Ribeirão Preto, São Paulo, M. Tavares-Dias, 144 p.

TAVARES-DIAS, M.; MATAQUEIRO, M.I. 2004. Características hematológicas, bioquímicas e biométricas de *Piaractus mesopotamicus*. Acta Scientiarum. 26: 157 – 162.

TAVARES-DIAS, M.; BARCELLOS, J.F.M.; MARCON, J.L.; MENEZES, G.C.; ONO, E.A.; AFFONSO, E.G. 2007. Hematological and Biochemical Parameters for the Pirarucu (*Arapaima gigas*) Schinz, 1822 (Osteoglossiformes, Arapaimatidae) in net Cage Culture. Eletronic Journal of Ichthyology, 2: 61-68.

TAVARES-DIAS, M.; SANDRIM, E.F.S. 1998. Características hematológicas de teleósteos brasileiros. I. Série vermelha e dosagens de cortisol e glicose do plasma sanguíneo de espécimes de *Colossoma macropomum* em condições de cultivo. Acta Scientiarum, 20:157-160.

TAVARES-DIAS, M.; TENANI, R.A.; GIOLI, L.D.; FAUSTINO, C.D. 1999. Características hematológicas de teleósteos brasileiros. II. Parâmetros sanguíneos do *Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887 (Osteichthyes: Characidae) em policultivo intensivo. Revta bras. Zool., 16:423-431.

TAVARES-DIAS, M.; SANDRIM, E.F.S.; MORAES, F.R.; CARNEIRO, P.C.F. 2001. Physiological responses of "tambaqui" *Colossoma macropomum* (Characidae) to acute stress. Boletim do Instituto de Pesca, 27:43-48.

TAVARES-DIAS M.; SCHALCH, S.H.C.; MORAES, F.R. 2003. Hematological characteristics of Brazilian teleosts. VII. Parameters of seven species collected in Guariba, São Paulo state, Brazil. B. Inst. Pesca, São Paulo, 29(2): 109-115.

VUREN, J.H., HATTINGH, J. 1978. A seasonal study of the haematology of wild fish. J. Fish. Biol., 13:305-313.

WINTROBE, M.M. 1934. Variations on the size and hemoglobin content of erythrocytes in the blood of various vertebrates. Folia Haemat., 51: 32-49.

## IMUNOLOGIA DOS PEIXES AMAZÔNICOS: O QUANTO CONHECEMOS?

*Data de aceite:* 01/02/2021

*Data de Submissão:* 27/11/2020

### **Damy Caroline de Melo Souza**

Universidade Federal do Amazonas  
Manaus – Amazonas  
<http://lattes.cnpq.br/9631298512269122>

### **Rafael Luckwu de Sousa**

Universidade Federal do Amazonas  
Manaus – Amazonas  
<http://lattes.cnpq.br/1959959850368416>

### **Edsandra Campos Chagas**

Embrapa Amazônia Ocidental  
Manaus – Amazonas  
<http://lattes.cnpq.br/5384445167700495>

### **Maria Cristina dos Santos**

Universidade Federal do Amazonas  
Manaus – Amazonas  
<http://lattes.cnpq.br/4923902785529755>

**RESUMO:** A Imunologia é a ciência que estuda os elementos celulares, moleculares e os mecanismos acionados, nas respostas imunes, frente ao contato com patógenos, ou às substâncias estranhas, ou na manutenção da homeostase do organismo. O estudo da Imunologia dos peixes começou a ser priorizado, principalmente, com o desenvolvimento da aquicultura e a crescente necessidade de se combater as doenças infecciosas que surgiam no ambiente de cultivo. Enquanto os estudos com espécies europeias e asiáticas têm se desenvolvido e mostrado que o sistema imune dos peixes teleósteos apresenta sua

complexidade, os estudos sobre os componentes imunes presentes nas espécies amazônicas são muito escassos. Isto se reflete na falta de parâmetros disponíveis para uma avaliação mais refinada sobre a resposta inflamatória, o efeito do uso de imunostimulantes e outros estudos que se apliquem sobre a imunidade dos peixes. Assim, conhecer os componentes e mecanismos imunes utilizados para debelar os agentes patogênicos, que acometem os peixes nativos criados em cativeiro, auxiliará tanto no diagnóstico como no tratamento dessas infecções e é um amplo campo de pesquisa a ser explorado.

**PALAVRAS-CHAVE:** sistema imune; componentes; teleósteos.

### **IMMUNOLOGY OF AMAZONIAN FISHES: HOW MUCH DO WE KNOW?**

**ABSTRACT:** Immunology studies cellular, molecular elements and activated mechanisms, in immune responses, in face of contact with pathogens, or foreign substances, or in the maintenance of the organism's homeostasis. The study of fish immunology received more attention, mainly, with the development of aquaculture and the growing need to combat such infectious diseases that arose in the farming environment. While studies with European and Asian species have increased and showed that immune system of teleost fish is complex, studies on the immune components present in Amazonian species are very scarce. This is evident in the lack of parameters available for a more refined assessment of the inflammatory response, the effect of immunostimulants and other studies that involves fish immunity. Thus, knowing the immune components and mechanisms used to quell pathogenic agents, which affect cultured native fishes, will help both in the diagnosis and in

treatment of these diseases and is a wide field of research to be explored.

**KEYWORDS:** immune system; components; teleost.

## 1 | INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da aquicultura e, conseqüente, aumento da ocorrência de doenças nos sistemas de cultivo, principalmente nos mais intensivos, evidenciaram a importância de se conhecer os componentes e mecanismos imunes das espécies cultivadas, a interação do hospedeiro com diferentes patógenos e fatores que podem modular positivamente ou negativamente o sistema imunológico dos peixes (VAN MUISWINKEL; NAKAO, 2014). As condições ambientais desfavoráveis e estressoras podem afetar o bem-estar dos peixes e conseqüentemente suprimir a resposta imune, tornando-os mais susceptíveis aos agentes patogênicos presentes no ambiente de cultivo.

As estimativas das perdas econômicas na produção global de peixes, devido aos agentes patogênicos, estão entre um a nove bilhões de dólares/ano, e no Brasil, a perda estimada chega a 84 milhões de dólares/ano (SHINN et al., 2015; TAVARES-DIAS; MARTINS, 2017). Assim, as doenças têm efeitos significativos no cultivo dos peixes e na sustentabilidade da produção, uma vez que, a morbidade e a mortalidade afetam a sua viabilidade econômica (TAVARES-DIAS; MARTINS, 2017).

No Brasil, os estudos envolvendo a imunidade de espécies nativas têm se tornado cada vez mais importante no cenário nacional pelo crescimento do cultivo de peixes, como, o tambaqui (*Colossoma macropomum*), pacu (*Piaractus mesopotamicus*) e seus híbridos, além do potencial crescimento do cultivo de matrinxã (*Brycon amazonicus*) e pirarucu (*Arapaima gigas*) na Amazônia (VALLADÃO; GALLANI; PILARSKI, 2018). Apesar desse crescimento da piscicultura, são poucos os estudos acerca dos componentes imunes e dos mecanismos envolvidos nas respostas aos patógenos, nesses peixes nativos.

Portanto, no presente capítulo, para o entendimento do Sistema Imune serão usados exemplos, já descritos em outros peixes teleosteos, com objetivo de caracterizar, de forma sucinta, os mecanismos clássicos de resposta frente às infecções por micro-organismos e parasitas. No entanto, como não foram, ainda, elucidados todos os elementos e suas funções imunes, para os peixes, neste capítulo usaremos como base de conhecimento, sobre o Sistema Imune, os componentes e mecanismos descritos para mamíferos.

## 2 | SISTEMA IMUNE DOS PEIXES

O sistema imune, nos vertebrados, incluindo os peixes, é composto por órgãos primários e secundários, inúmeras células e moléculas que desempenham funções importantes como vigilância, para impedir o crescimento de células tumorais e infecções intracelulares; proteção do organismo contra agentes patogênicos e substâncias tóxicas; e na manutenção da homeostase. Para facilitar a didática, o Sistema Imune foi separado em Inato e Adaptativo, mas seus componentes atuam sempre em conjunto para cumprir suas funções fisiológicas.

## 2.1 Órgãos e tecidos linfóides

Os órgãos linfóides primários em mamíferos são a medula óssea e o timo. A medula óssea é responsável pela produção de todas as células imunes e pela maturação dos linfócitos B. Já, no timo, ocorre a maturação dos linfócitos T.

Os órgãos linfóides secundários, em mamíferos, são o baço, linfonodos, Tecidos Linfóides Associados à Mucosa (MALT) e nesses locais ocorre a apresentação de antígenos e a ativação da resposta imune adaptativa.

Ao contrário dos mamíferos, os peixes não possuem medula óssea e linfonodos. Os principais órgãos linfóides dos peixes são rim, baço e timo. Além destes, o fígado, a pele e o intestino também são considerados componentes importantes do sistema de defesa (Figura 1) (ZAPATA, 2006). O rim corresponde a medula óssea dos vertebrados superiores, é o principal local onde ocorre a hematopoiese, sendo dividido em porção anterior ou rim cefálico e posterior. O rim cefálico é o principal órgão linfóide responsável por alojar células fagocíticas, linfócitos de memória, além de ser o principal local de produção de anticorpos pelos linfócitos B (WHYTE, 2007; ZAPATA, 1996). O timo é um órgão linfóide primário localizado próximo à cavidade opercular cuja função é a produção e maturação de linfócitos T (BOWDEN; COOK; ROMBOUT, 2005).

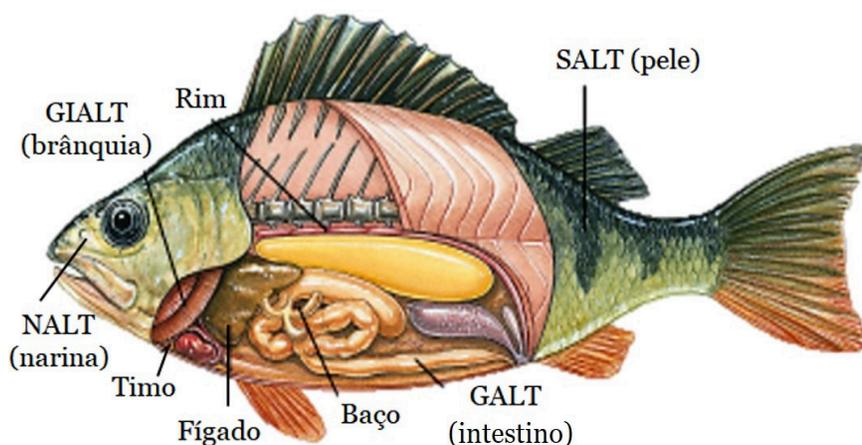


Figura 1. Órgãos e tecidos linfóides descritos em peixes teleosteos.

Fonte: Adaptado de Kum e Sekkin (2011).

O baço, nos peixes, desempenha as funções de órgãos linfóides primário, por produzir células imunes (hematopoiese) e de secundário, pois neste órgão ocorre a apresentação de antígenos, iniciando a resposta imune adaptativa e a produção de anticorpos, além de abrigar linfócitos B maduros (MANNING; NAKANISHI, 1997; BROMAGE et al., 2004; WHYTE, 2007). O fígado, nos peixes teleosteos, também é um órgão imune secundário, além de exercer a função de produtor de proteínas do Sistema Complemento e de fase aguda, envolvidas na inflamação, sendo essa última função observada também em

mamíferos (BILLER-TAKAHASHI; URBINATI, 2014).

Nos teleósteos, o MALT (Tabela 1) constitui uma importante barreira inicial à invasão de patógenos e pode ser subdividido conforme sua localização anatômica em: NALT, tecido linfóide associado à nasofaringe, SALT, tecido linfóide associado à pele; GIALT, tecido linfóide associado às brânquias e GALT, tecido linfóide associado ao intestino (SALINAS, 2015).

MALT	Teleósteo (truta arco-íris)	Mamífero
Nomenclatura	NALT (narina), SALT (pele), GIALT (brânquias), GALT (intestino)	NALT (narina), BALT (brônquios), GALT (intestino), VALT (urogenital)
Estruturas associadas	Lâmina própria, tecido linfóide interbranquial	Folículos na lâmina própria, Tonsilas, Placas de Peyer
Células imunes residentes	Linfócitos B, linfócitos T, plasmócitos, macrófagos, neutrófilos, células <i>rodlets</i>	Células linfóides Inatas, linfócitos B, linfócitos T, plasmócitos, células dendríticas, macrófagos, neutrófilos
Células captadoras de antígenos	Células dendríticas	Células M, Células dendríticas

Tabela 1. Comparação entre o tecido linfóide associado a mucosa (MALT) de peixes teleósteos e mamíferos.

Fonte: Adaptado de Salinas (2015)

## 2.2 Sistema Imune Inato

O Sistema Imune Inato (SII) é descrito como a primeira linha de defesa do organismo, apresentando barreiras: físicas, químicas e microbiológicas. Nos peixes ósseos as barreiras físicas são: pele e escamas, e as químicas, muco e os seus componentes antimicrobianos, por exemplo, lisozimas, peptídeos antimicrobianos, lectinas, imunoglobulinas, proteínas do Sistema Complemento, sendo estes responsáveis por impedir o livre acesso dos agentes patogênicos ao hospedeiro (URIBE et al., 2011). Dentre os componentes solúveis, a lisozima é uma enzima presente nos peixes com a capacidade de lisar bactérias Gram-positivas e Gram-negativas. A lisozima pode se originar de várias fontes, como monócitos ou macrófagos, eosinófilos presentes no intestino e neutrófilos (GRINDE et al., 1988; LIE et al., 1989). Estes componentes solúveis presentes no muco também são importantes para a manutenção da homeostase com a microbiota comensal (barreira microbiológica), presente nas mucosas dos peixes (SAURABH; SAHOO, 2008; MAGNADÓTTIR, 2010; GÓMEZ et al., 2013).

Após a ultrapassagem dessas barreiras os micro-organismos que invadem o organismo, pela primeira vez, encontram as células residentes do SII, por exemplo, macrófagos, mastócitos e células dendríticas. Estas células imunes reconhecem os *Padrões Moleculares Associados aos Patógenos* (PAMP) desses invasores por meio de *Receptores de Reconhecimento de Padrões* (PRR). Os PAMP são estruturas conservadas,

vitais, que não sofrem mutações e que estão presentes em grupos de micro-organismos, como, LPS em bactérias Gram-negativas, Flagelina, RNA fita simples em vírus, RNA fita dupla em vírus, DNA com motivos cpg em vírus e bactérias.

Portanto, os PRR, reconhecem uma ampla variedade de patógenos, que apresentam esses padrões moleculares. Após este reconhecimento, vias de sinalização intracelulares são ativadas e induzem a liberação de citocinas - proteínas que atuam designando funções às próprias células que as secretam (ação autócrina) e/ou às células vizinhas (ação parácrina) e/ou às células adjacentes (ação justácrina) e/ou às células, tecidos ou órgãos distantes (ação endócrina)- e quimiocinas recrutam células, que possuem receptores para essas proteínas, por exemplo, monócitos, neutrófilos, basófilos, natural killers, dentre outras, para o local da infecção, para combater os agentes patogênicos (KAUR; SECORD, 2019).

Nas diferentes espécies de peixes, os receptores de reconhecimento de padrões (PRR) são um aspecto importante da imunidade inata, pois, como já mencionado, reconhecem estruturas vitais de uma variedade de micro-organismos como vírus, bactérias e parasitas, que existem no ambiente aquático (SECOMBES; WANG, 2012). Os PRR solúveis nos fluidos corpóreos ou presentes nas membranas, citosol ou endossomas de células de defesa são essenciais para o reconhecimento de PAMP, para o desencadeamento e direcionamento da resposta imune efetiva (SMITH; RISE; CHRISTIAN, 2019). Por exemplo, quando há a infecção por bactérias, os lipopolissacarídeos presentes em suas membranas podem estimular a ativação da via Alternativa do Sistema Complemento. O C3 em peixes teleósteos, assim como nos vertebrados, participa da ativação das três vias do Sistema Complemento (Alternativa, Clássica e da Lectinas) e é capaz de estimular a fagocitose, pela opsonização de bactérias por meio de C3b, e atrair neutrófilos e monócitos, pela produção das anafilatoxinas C3a, C5a e C4a, para o sítio da inflamação (JENKINS; OURTH, 1993; HOLLAND; LAMBRIS, 2002).

Similar aos mamíferos, nos peixes teleósteos, as células do SII podem ser residentes nos tecidos periféricos ou serem recrutadas da circulação sanguínea ou produzidas pelo rim cefálico, mediante um processo inflamatório. As células de defesa como células dendríticas, monócitos/macrófagos, leucócitos polimorfonucleares, linfócitos, também foram descritas para os peixes teleósteos e participam da resposta imune inata frente a patógenos ou substâncias estranhas ao organismo (MAGNADÓTTIR, 2006). Nos peixes teleósteos também foram descritos diferentes tipos de leucócitos, como células granulocíticas especiais eosinofílicas (CGE), que apresentam algumas similaridades com mastócitos (TAVARES-DIAS; SANDRIM; CAMPOS-FILHO, 1999; MARTINS et al., 2009) e células *rodlets*, um tipo celular descrito apenas em teleósteos, que parecem estar associadas às infecções por parasitas multicelulares (REITE; EVENSEN, 2006; MENDONÇA et al., 2017).

### 2.3 Sistema imune adaptativo

As principais células da imunidade adaptativa são os linfócitos T auxiliares, T citotóxicos e os linfócitos B2. Os seus receptores de antígenos são montados na linhagem somática pela escolha individual de seus blocos gênicos - V (variabilidade), D (diversidade) e J (junção) -, que compõem a região de reconhecimento do epítipo antigênico. Portanto, cada linfócito apresenta uma especificidade própria a um determinado epítipo e, por isso,

ao encontrar o seu antígeno, deverá expandir o seu clone e gerar células efetoras e de memória. Assim, como em mamíferos, os peixes ósseos possuem genes de ativação de recombinação, que codificam as enzimas, RAG1 e RAG2, responsáveis pelo rearranjo somático dos segmentos de gene V, D e J, produzindo uma grande diversidade de receptores de antígenos expressos nas membranas dos linfócitos T (TCR) e B (BCR), ou secretados pelos linfócitos B, as imunoglobulinas (WILLETT et al., 1997).

As células dendríticas (DC), em mamíferos, logo após a captura de antígenos, migram, através dos vasos linfáticos, para o órgão linfóide secundário mais próximo, para apresentar os epítomos (peptídeos oriundos do processamento do antígeno) no contexto do MHC (Complexo Principal de Histocompatibilidade) aos linfócitos T, que apresentam receptores com afinidade para esses epítomos. Portanto, as DC são as principais APC (células apresentadoras de antígenos), que fazem o elo entre o SII e SIA (DESCOTES, 2014; GEISSMANN et al., 2010) e direcionam a resposta imune eficaz, para debelar o patógeno invasor, por meio das citocinas liberadas aos linfócitos  $T_H0$  antígenos-específicos (Figura 2). Essas proteínas secretadas, induzem a diferenciação dos  $T_H0$  nas linhagens:  $T_H1$ ,  $T_H2$ ,  $T_H17$ ,  $T_H9$ ,  $T_H22$ , Tfh ou  $T_{reg}$ , descritas para mamíferos. Além das citocinas ocorre, ainda, um segundo sinal, para a diferenciação dos linfócitos  $T_H0$ , que é emitido pelas moléculas co-estimuladoras, B7 e B7-1, presentes nas membranas das DC, que se ligam a molécula CD28, da membrana plasmática dos linfócitos TCD4 (WALSH; MILLS, 2013; RAPHAEL et al., 2015).

Estudos genéticos demonstraram que a maioria das famílias de citocinas, descritas para mamíferos, também está presente nos peixes, associadas à resposta imune inata, como IL-1, IL-6, TNF- $\alpha$ , e à resposta imune adaptativa, por exemplo, IL-2, IL-4, IL-5, IL-13, IFN- $\gamma$ , TGF- $\beta$  (ZOU; SECOMBES, 2016).

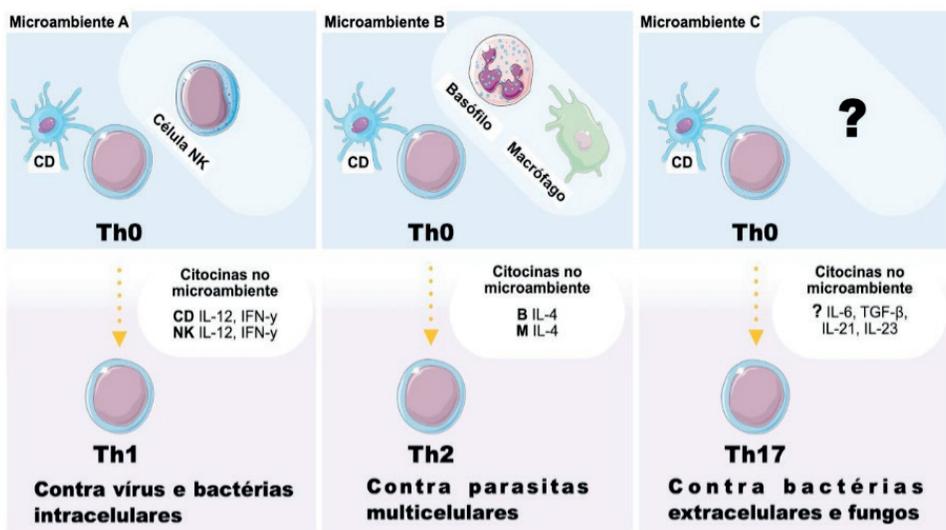


Figura 2. Microambientes necessários para diferenciação dos linfócitos Th0 nas subpopulações Th1, Th2 e Th17.

Fonte: Bruce e Brown (2017); Secombes et al. (2009); Yamaguchi et al. (2013).

Após reconhecer o antígeno apresentado pelas APC, os linfócitos T ativados entram em mitose, expandem o seu clone, formando as células efetoras e de memória. Concomitantemente a drenagem das DC, antígenos opsonizados também são transportados e chegam na região de linfócitos B, na qual são apreendidos por Células Dendríticas Foliculares, que os mantêm íntegros para o reconhecimento dos linfócitos B. As células B que apresentam receptores de membranas com afinidade, reconhecem, endocitam, processam e apresentam, no contexto MHC-II, os epítopos oriundos desses antígenos para os linfócitos TCD4 (auxiliares) efetores, que liberam sinais estimuladores e citocinas, que auxiliam os linfócitos B a expandirem os seus clones e transformá-los em plasmócitos secretores de anticorpos e células de memória. As células de memória dos linfócitos T e B, permanecem circulando os órgãos linfoides secundários e atuam mais rápida e eficazmente em uma segunda infecção, com o mesmo patógeno ou antígeno (NICHOLSON, 2016; JAIN; PASARE, 2017). Vale ressaltar, que todas as respostas aos patógenos intracelulares e extracelulares, em mamíferos, desencadeiam a produção de anticorpos (NUTT et al., 2015; ZHANG; GARCIA-IBANEZ; TOELLNER, 2016).

Como mencionado para os linfócitos B antígenos-específicos, os linfócitos TCD8 (citotóxicos) também são ativados, nos órgãos linfoides secundários, pelas DC, de acordo com a natureza do invasor intracelular. As citocinas interleucina 12 (IL-12) e o interferon gama (INF- $\gamma$ ) produzidas por células do sistema imune inato como DC e NK, respectivamente, induzem a diferenciação de  $T_H0$  para linfócitos  $T_H1$ , quando os patógenos são intracelulares como vírus e algumas bactérias. Os  $T_H1$  efetores liberam INF- $\gamma$  que ativa os linfócitos TCD8 citotóxicos específicos para o patógeno intracelular a eliminar as células infectadas, além de ativar macrófagos para aumentar o seu poder fagocítico (MURPHY; REINER, 2002; YAMANE; PAUL, 2013).

Já, na presença da citocina IL-4, liberada por mastócitos e basófilos, o  $T_H0$  se diferencia em  $T_H2$  e atua predominantemente, no direcionamento da resposta imune para o combate de parasitas multicelulares. Quando as citocinas IL-6, do fator de crescimento beta (TGF- $\beta$ ), IL-21 e IL-23 são secretadas, os linfócitos  $T_H0$  se diferenciam em  $T_H17$ , induzem uma potente resposta inflamatória, a qual recruta neutrófilos para combater bactérias extracelulares e fungos.

A linhagem Tfh (auxiliares foliculares), descrita para mamíferos, é produzida em todas as respostas efetoras de  $T_H1$ ,  $T_H2$ ,  $T_H17$ ,  $T_H9$  ou  $T_H22$  e as células Tfh permanecem na região dos linfócitos B, nos órgãos linfoides secundários, para auxiliar a produção de classes de imunoglobulinas eficazes para cada resposta, e, ainda, ajudam na melhoria da afinidade dos sítios de ligação com o antígeno. Além dessas linhagens, os linfócitos T CD4 virgens, na presença de TGF- $\beta$ , também pode tornar-se células Treg, que liberam citocinas como IL-10, IL-35 e TGF- $\beta$  com funções imunossupressoras e anti-inflamatórias (BLUESTONE et al., 2009; SCHMITT; UENO, 2015).

Semelhantes aos de mamíferos, os linfócitos T ativados pelas APC emitem sinais e liberam citocinas, que induzem a expansão clonal dos linfócitos B, que se ligam ao antígeno, e a produção de imunoglobulinas classe específica para o invasor, nos fluidos corporais do peixe, caracterizando a resposta imune humoral (YE et al., 2013). Além da produção de anticorpos (ou imunoglobulinas) e formação de células B de memória (WU et al., 2019), os linfócitos B, presentes no rim cefálico e nos tecidos periféricos dos peixes teleosteos,

apresentam capacidade fagocítica parecendo ser equivalente aos neutrófilos em algumas espécies, como salmão (*Salmo salar*) e bacalhau (*Gadus morhua*) (ØVERLAND et al., 2010).

As imunoglobulinas são as principais mediadoras da resposta imune específica, pois são responsáveis pelo reconhecimento e a neutralização do antígeno. Algumas classes de imunoglobulinas atuam como opsoninas facilitando a fagocitose, e/ou no processo de citotoxicidade mediada por anticorpos (ADCC), e/ou ativando a via Clássica do Sistema Complemento e, dessa forma, auxiliando na eliminação de patógenos ou de toxinas circulantes. (MASHOOF; CRISCITIELLO, 2016). As imunoglobulinas descritas para os peixes teleósteos são as das classes IgM, IgD e IgT/IgZ. Em diferentes proporções, elas são encontradas nos diferentes órgãos como pele, brânquias, intestino, bile, rim, e no plasma dos peixes (YE et al., 2013).

A classe IgM é mais abundante no plasma, mas também está presente no muco, sendo encontrada em todas as espécies de peixes já estudadas (ACTON et al., 1971; MAGNADÓTTIR, 1998; BILAL et al., 2019). A IgT/IgZ está presente em menor concentração no plasma e mais abundante no MALT, sendo associada a imunidade das mucosas nos peixes teleósteos, similar à classe IgA dos mamíferos (ZHANG et al., 2010; VELÁZQUEZ et al., 2018). A IgD foi primeiramente descrita no bagre de canal (*Ictalurus punctatus*), e depois em outras espécies como bacalhau do Atlântico (*Gadus morhua*) e salmão do Atlântico (*Salmo salar*) (WILSON et al., 1997; HORDVIK et al., 1999; STENVIK; JORGENSEN, 2000). Esta imunoglobulina pode ser encontrada no plasma, rim anterior e posterior, baço e brânquias, porém sua participação na resposta imune ainda não foi elucidada (EDHOLM et al., 2010; BENGTÉN; WILSON, 2015).

Em algumas espécies de peixes teleósteos como truta arco-íris (*Onchorhynchus mykiss*), alabote-japonês (*Paralichthys olivaceus*), zebrafish (*Danio rerio*) e carpa-capim (*Ctenopharyngodon idellus*) já foram descritos a presença de um receptor polimérico de imunoglobulinas (pIgR) (KONG et al., 2018). Estes receptores são expressos pelas células epiteliais da pele, intestino e hepatócitos, cuja função é transportar as imunoglobulinas, produzidas por plasmócitos e secretados na lâmina própria do tecido epitelial, para o muco intestinal ou das brânquias ou para a bile (ROMBOUT et al., 2011).

### 3 | A IMUNOLOGIA DOS PEIXES AMAZÔNICOS

O estudo da Imunologia nos peixes partiu do referencial sobre o que já se conhecia nos vertebrados superiores, principalmente, nos mamíferos. Ao longo do tempo, percebeu-se que diversos componentes, como: células, moléculas e processos imunológicos tanto da resposta imune inata quanto adaptativa foram conservados ao longo da evolução, com certas particularidades espécie-específicas, o que despertou um crescente interesse pelo estudo da Imunologia comparada utilizando algumas espécies de peixes como modelos evolutivos (RAUTA; NAYAK; DAS, 2012).

Além disso, nas últimas décadas, com a expansão da aquicultura, o número de espécies sendo incluídas em diferentes sistemas de cultivo também cresceu, impactando diretamente no aumento dos estudos sobre a imunidade dos peixes. Estes estudos foram,

e ainda são, desenvolvidos principalmente com espécies europeias e asiáticas de alto valor econômico (VAN MUISWINKEL; NAKAO, 2014). Cada vez mais demonstra-se que o sistema imune das diferentes espécies de peixes apresenta certos padrões de componentes e de respostas imunes, ao mesmo tempo que há adaptações espécie-específicas, por exemplo, de acordo com o hábitat, hábito alimentar, patógenos que as infectam e aspectos reprodutivos.

A realidade para os estudos da Imunologia dos peixes amazônicos é bem diferente. Por exemplo, na espécie *Colossoma macropomum*, a espécie mais estudada, existem poucos trabalhos que abordam os componentes do Sistema Imune. A maior parte dos trabalhos enfatiza os tratamentos (92%) e diagnósticos (2%) contra possíveis agentes patogênicos que possam causar danos aos peixes na fase de cultivo (SOUSA et al., 2020). Porém, a falta de artigos relacionados à imunidade do tambaqui limita o desenvolvimento de inovações biotecnológicas para a melhoria da criação dessa espécie. Os estudos com o pirarucu (*Arapaima gigas*) e matrinxã (*Brycon amazonicus*) mostram-se ainda mais escassos.

Um levantamento dos componentes imunes básicos para a caracterização da resposta imune, que já foram descritos para outras espécies de peixes teleósteos cultivados, são apresentados na Tabela 2, resumindo as principais informações discutidas ao longo deste capítulo. A partir desse levantamento, ficou evidente o quanto se desconhece dos componentes imunes das espécies de peixes nativas da Amazônia. De fato, vários estudos abordando alterações histopatológicas e hematológicas (DIAS et al., 2011; AGUIAR et al., 2018; ROCHA et al., 2018) buscam descrever os processos inflamatórios desencadeados pelas infecções nessas espécies. Porém, não foram observados, nestes estudos, os componentes celulares e moleculares que participam destas respostas inflamatórias e imune, sendo estas informações complementares e necessárias para o diagnóstico seguro e a prescrição de tratamentos eficazes, para debelar os agentes patogênicos que acometem os peixes nativos criados em cativeiro.

Componente imune	Estudos com peixes teleósteos	<i>Colossoma macropomum</i>	<i>Brycon amazonicus</i>	<i>Arapaima gigas</i>	Referências
Órgãos imunes primários e secundários	Pronefro (cabeça do rim), timo, baço, fígado, Tecido Linfóide Associado a Mucosa	Rim, Fígado, Baço, Timo	Rim, Fígado, Baço	Rim, Baço	Benacon et al. (2015); Bruce e Brown (2017); Maciel et al. (2012); Rauta, Nayak e Das (2012); Rocha (2001)
Células da imunidade inata	APCs (macrófagos, células dendríticas) monócitos granulócitos (neutrófilos, basófilos, eosinófilos), células <i>natural killer</i>	Neutrófilos, Monócitos, Células granulocíticas especiais	Monócitos, neutrófilos/heterófilos, Células granulocíticas especiais	Monócitos, neutrófilos, eosinófilos	Dias et al., (2020); Rauta, Nayak e Das (2012); Tavares-Dias et al. (2008); Tavares-Dias, Sandrim e Campos-Filho (1999).

Células da imunidade adaptativa	Linfócitos B e linfócitos Th1 e Th2	Linfócitos (sem diferenciação de populações)	Linfócitos (sem diferenciação de populações)	Linfócitos (sem diferenciação de populações)	Bruce e Brown (2017); Tavares-Dias et al. (2007); Tavares-Dias et al. (2008); Tavares-Dias, Sandrim e Campos-Filho (1999)
Citocinas	IFN-gama, IL-2, TNF-alfa, IL-1 beta, IL-6, IL-18, IL-4, TGF-beta, IL-22, IL-17 A/F, IL 21	-	IL-1, IL-6	-	Bruce e Brown (2017); Freitas-Souza et al. (2020);
Quimioatraentes	C3a, C5a	-	-	-	Bruce e Brown (2017)
PRR	TLR1, TLR2, TLR3, TLR4, TLR5M, TLR5S, TLR7, TLR8, TLR9, TL13, TLR14, TLR18, TLR19, TLR20, TL21, TLR22, TLR23, TLR24, TLR25, TLR26, NOD1, NOD2.	-	-	-	Zhang et al. (2014); Sahoo (2020)
Cluster de diferenciação	CD3, CD8, CD4	-	-	-	Bruce e Brown (2017)
Sistema Complemento	Via Clássica, Via Alternativa e Via das Lectinas, Pentraxina (proteína C reativa, proteína amiloide sérica)	Via alternativa	Via alternativa	-	Bruce e Brown (2017); Lochmann et al. (2009); Montoya et al. (2017)
Classes de Imunoglobulina	IgM, IgD e IgZ/IgT	Imunoglobulinas no muco e plasma (sem diferenciação de classes)	-	-	Bruce e Brown (2017); Vasconcelos-Dias et al., (2015); Sousa (2019); Sousa et al. (2019)
MHC	MHC tipo I e MHC tipo II	-	-	-	Bruce e Brown (2017)
Proteínas de fase aguda	Lisozima, ceruloplasmina, complemento C3, macroglobulinas, transferrina, apolipoproteína A1	Lisozima, albumina	Lisozima, albumina	Albumina	Bruce e Brown (2017); Charlie-Silva et al. (2019); Chagas et al. (2013); Dias et al., (2020); Montoya et al. (2017)

Enzimas antimicrobianas	Cathelicidina 1 e 2, hepcidina LEAP-2, Oncohyacin III, Lisozima	Lectina "Comasel", Lisozima	Lisozima	-	Bruce e Brown (2017); Carvalho et al. (2012); Chagas et al. (2013)
Genes relacionados à imunidade	RAG1, RAG2, SOCS, COX, genes codificadores de PRRs, peptídeos antimicrobianos, citocinas, proteínas do Sistema Complemento, lectinas e MHC (exemplos)	RAG2, MALT1	-	-	Zhu et al., (2013); Cunha et al. (2020)

Tabela 2. Elementos do sistema imune descritos para diferentes espécies de peixes teleosteos cultivados e nas espécies nativas de maior relevância para piscicultura na Amazônia brasileira.

## 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, realizou-se a abordagem geral da Imunologia em mamíferos e em peixes, a fim de mostrar o quanto ainda é necessário conhecer os mecanismos imunológicos das espécies de peixes nativas amazônicas. Como foi descrito, o sistema imune é composto por órgãos, tecidos, inúmeras células e moléculas que interagem entre si, proporcionando um controle da resposta direcionada aos diferentes tipos de patógenos que podem causar infecções. Para os peixes nativos amazônicos, considera-se que há um ponto de partida para o aprofundamento desse conhecimento. Ontogenia e funcionamento fisiológico dos órgãos imunes primários e secundários, caracterização e diferenciação de células imunes, componentes do Sistema Complemento e proteínas da fase aguda de inflamação, mediadores químicos inflamatórios, citocinas produzidas mediante diferentes agentes patogênicos, células apresentadoras de antígenos e desenvolvimento de memória imunológica, são apenas algumas das diversas linhas de pesquisa que podem ser desenvolvidas.

Considera-se, portanto, que os estudos sobre a Imunologia de peixes nativos irão colaborar para o entendimento dos mecanismos de defesa dos peixes amazônicos contra vários organismos patogênicos, contribuindo assim para o avanço do conhecimento científico e tecnológico. Destaca-se ainda o fato de que as informações produzidas sobre a imunidade dos peixes amazônicos possam auxiliar de forma complementar tanto no diagnóstico como no tratamento dessas doenças, e até mesmo contribuir para futuras pesquisas que enfoquem o desenvolvimento de vacinas, o que representa um processo inovador para a resolução dos entraves relacionados às doenças que temos hoje na criação de espécies nativas.

## REFERÊNCIAS

ACTON, R. T. et al. **Isolation and characterization of the immune macroglobulin from the paddlefish, *Polyodon spathula***. Journal of Biological Chemistry, v. 246, n. 22, p. 6760–6769, 1971.

- AGUIAR, L. S. et al. **Distribution of the acanthocephalan *Neoechinorhynchus buttnerae* and semiquantitative analysis of histopathological damage in the intestine of tambaqui (*Colossoma macropomum*)**. Parasitology Research, v. 117, n. 6, p. 1689–1698, 2018.
- BENACON, M. S. et al. Índices de condição corporal de Matrinxã Brycon Amazonicus del Río Juruá, Amazonas. Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA, p. 44-49, 2015.
- BENGTÉN, E.; WILSON, M. Antibody repertoires in fish. In: **Pathogen-Host Interactions: Antigenic Variation v. Somatic Adaptations**. Springer, 2015. p. 193–234.
- BILAL, S. et al. **Analysis of immunoglobulin and T cell receptor gene expression in ballan wrasse (*Labrus bergylta*) revealed an extraordinarily high IgM expression in the gut**. Fish & shellfish immunology, v. 87, p. 650-658, 2019.
- BILLER-TAKAHASHI, J. D.; URBINATI, E. C. Fish Immunology. **The modification and manipulation of the innate immune system: Brazilian studies**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 86, n. 3, p. 1484–1506, set. 2014.
- BLUESTONE, J. A.; MACKAY, C. R.; O'SHEA, J. J.; STOCKINGER, B. **The functional plasticity of T cell subsets**. Nature Reviews Immunology, v.9, n.11, p. 811-6, 2009
- BOWDEN, T. J.; COOK, P.; ROMBOUT, J. **Development and function of the thymus in teleosts**. Fish & shellfish immunology, v. 19, n. 5, p. 413–427, 2005.
- BROMAGE, E. S. et al. **Plasmablast and plasma cell production and distribution in trout immune tissues**. The Journal of Immunology, v. 173, n. 12, p. 7317–7323, 2004.
- BRUCE, T. J.; BROWN, M. L. **A Review of Immune System Components, Cytokines, and Immunostimulants in Cultured Finfish Species**. Open Journal of Animal Sciences, v. 7, p. 267–288, 2017.
- CARVALHO, E. V. M. M. et al. **Detection of the first lectin with antimicrobial activity present in serum of the Amazonian fish tambaqui *Colossoma macropomum***. Fisheries Science, v. 78, n. 4, p. 879-887, 2012.
- CHAGAS, E. C.; PILARSKI, F.; SAKABE, R.; MORAES, F.R. **Desempenho produtivo e respostas fisiopatológicas de tambaquis alimentados com ração suplementada com  $\beta$ -glucano**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 48, p. 899-905, 2013.
- CHARLIE-SILVA, I. et al. **Acute-phase proteins during inflammatory reaction by bacterial infection: fish-model**. Scientific reports, v. 9, n. 1, p. 1-13, 2019.
- CUNHA, F. P. et al. **Non-lethal molecular diagnostic for acanthocephalosis in *Colossoma macropomum***. Aquaculture, v. 519, p. 734860, 2020.
- DESCOTES, J. **Immune System**. Encyclopedia of Toxicology: Third Edition, 2014. p. 1004-1023.
- DIAS, D.C. et al. **Tempo de migração dos macrófagos em matrinxã, *Brycon amazonicus*, por meio da técnica de inoculação de leveduras *Saccharomyces cerevisiae***. Acta Amazonica, v. 41, n. 3, p. 421-424, 2011.
- DIAS, M. K. R. et al. **Growth and hematological and immunological responses of *Arapaima gigas* fed diets supplemented with immunostimulant based on *Saccharomyces cerevisiae* and subjected to handling stress**. Aquaculture Reports, v. 17, p. 100335, 2020.

EDHOLM, E. S. et al. **Identification of two IgD+ B cell populations in channel catfish, *Ictalurus punctatus***. The Journal of Immunology, p. 1000631, 2010.

FREITAS SOUZA, C. et al. **Purine levels and purinergic signaling in plasma and spleen of *Brycon amazonicus* exposed to acute heat thermal stress: An attempt to regulate the immune response**. Journal of Thermal Biology, p. 102569, 2020.

GEISSMANN, F.; MANZ, M.G.; JUNG, S.; SIEWEKE, M.H.; MERAD, M.; LEY, K. **Development of monocytes, macrophages, and dendritic cells**. Science, v. 327, n. 5966, p. 656–661, 2010.

GOMEZ, D.; SUNYER, J. O.; SALINAS, I. **The mucosal immune system of fish: the evolution of tolerating commensals while fighting pathogens**. Fish & shellfish immunology, v. 35, n. 6, p. 1729–1739, 2013.

GRINDE, B.; LIE, O.; POPPE, T.; SALTE, R. **Species and individual variation in lysozyme activity in fish of interest in aquaculture**. Aquaculture, v. 68, p. 299–304, 1988.

HOLLAND, M. C.; LAMBRIS, J. D. **The complement system of teleosts**. Fish and Shellfish Immunology, v. 12, p. 399–420, 2002.

HORDVIK, I. et al. **Molecular cloning and phylogenetic analysis of the Atlantic salmon immunoglobulin D gene**. Scandinavian journal of immunology, v. 50, n. 2, p. 202–210, 1999.

JAIN, A.; PASARE, C. **Innate Control of Adaptive Immunity: Beyond the Three-Signal Paradigm**. The Journal of Immunology, v. 198, n. 10, p. 3791–3800, 2017.

JENKINS, J., A.; OURTH, D. **Opsonic effect of the alternative complement pathway on channel catfish peripheral blood phagocytes**. Veterinary Immunology Immunopathology, v. 39, p. 447–459, 1993.

KAUR, B.P.; SECORD, E. **Innate Immunity**. Pediatric Clinics of North America, v. 66, n. 5, p. 905–911, 2019.

KONG, X. et al. **Comparison of polymeric immunoglobulin receptor between fish and mammals**. Veterinary immunology and Immunopathology, v. 202, p. 63–69, 2018.

KUM, C.; SEKKIN, S. **The immune system drugs in fish: immune function, immunoassay, drugs**. Recent Advances in Fish Farms, p. 169–210, 2011.

LIE, O.; EVENSEN, O.; SORENSEN, A.; FROYSADAL, E. **Study on lysozyme activity in some fish species**. Disease of Aquatic Organism, v. 6, p. 1–5, 1989.

LOCHMANN, R. et al. **Effects of Carbohydrate-Rich Alternative Feedstuffs on Growth, Survival, Body Composition, Hematology, and Nonspecific Immune Response of Black Pacu, *Colossoma macropomum*, and Red Pacu, *Piaractus brachypomus***. Journal of the World Aquaculture Society, v. 40, n. 1, p. 33–44, 2009.

MACIEL, P. O. et al. **Anatomia e histologia funcional do rim e baço de alevinos de pirarucu (*Arapaima gigas*)**. In: Embrapa Pesca e Aquicultura-Resumo em anais de congresso (ALICE). In: Congresso Da Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2012, Palmas.

MAGNADÓTTIR, B. **Comparison of immunoglobulin (IgM) from four fish species**. Icelandic Agricultural Sciences, v. 12, p. 47–59, 1998.

MAGNADÓTTIR, B. **Immunological control of fish diseases**. Marine biotechnology, v. 12, n. 4, p. 361–379, 2010.

MAGNADÓTTIR, B. **Innate immunity of fish (overview)**. Fish & Shellfish Immunology, v. 20, n. 2, p. 137–151, 2006.

MANNING, M. J.; NAKANISHI, T. The specific immune system: cellular defenses. In: IWAMA, G.; NAKANISHI, T. (Eds.). **The Fish Immune System: Organism, Pathogen, and Environment**. [s.l.] Academic Press, 1997. v. 15, p. 159.

MARTINS, M. L. et al. **Characterization of the acute inflammatory response in the hybrid tambacu (*Piaractus mesopotamicus* male x *Colossoma macropomum* female)(Osteichthyes)**. Brazilian Journal of Biology, v. 69, n. 3, p. 957-962, 2009.

MENDONÇA, I. et al. **Rodlet cells from the gills and kidneys of two brazilian freshwater fishes: an ultrastructural study**. Journal of Morphological Sciences, v. 22, n. 4, 2017.

MONTOYA, L. N. F. et al.  **$\beta$ -Glucan-induced cortisol levels improve the early immune response in matrinxã (*Brycon amazonicus*)**. Fish & shellfish immunology, v. 60, p. 197-204, 2017.

MURPHY, K. M.; REINER, S. L. **The lineage decisions of helper T cells**. Nature Reviews Immunology, v. 2, n. 12, p. 933-944, 2002.

NICHOLSON, L.B. **The immune system**. Essays in Biochemistry, v. 60, n. 3, p. 275–301, 2016.

NUTT, S.L.; HODGKIN, P. D.; TARLINTON, D.M.; CORCORAN, L.M.; **The generation of antibody-secreting plasma cells**. Nature Reviews Immunology, v. 15, n. 3, p; 160-171, 2015.

ØVERLAND, H. S. et al. **Phagocytosis by B-cells and neutrophils in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and Atlantic cod (*Gadus morhua* L.)**. Fish & Shellfish Immunology, v. 28, n. 1, p. 193–204, jan. 2010.

RAPHAEL, I.; NALAWADE, S.; EAGAR, T.N.; FORSTHUBER, T.G. **T cell subsets and their signature cytokines in autoimmune and inflammatory diseases**. Cytokine, v. 74, n. 1, p. 5–17, 2015.

RAUTA, P. R.; NAYAK, B.; DAS, S. **Immune system and immune responses in fish and their role in comparative immunity study: a model for higher organisms**. Immunology letters, v. 148, n. 1, p. 23-33, 2012.

REITE, O. B.; EVENSEN, Ø. **Inflammatory cells of teleostean fish: a review focusing on mast cells/eosinophilic granule cells and rodlet cells**. Fish & shellfish immunology, v. 20, n. 2, p. 192-208, 2006.

ROCHA, M. J. S. et al. **Changes in hematological and biochemical parameters of tambaqui (*Colossoma macropomum*) parasitized by metazoan species**. Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária, v. 27, n. 4, p. 488–494, 8 nov. 2018.

ROCHA, R. M.; FLORES, C. Q. **The ultrastructure of the hematopoietic tissue in the head kidney of matrinxã, *Brycon cephalus* Gunther, 1896 (Teleostei–Characidae)**. Acta Microscopica, Caracas, v. 2, n. supl B, p. 207-208, 2001.

ROMBOUT, J. H. W. M. et al. **Teleost intestinal immunology**. Fish & shellfish immunology, v. 31, n. 5, p. 616-626, 2011.

- SAHOO, B. R. **Structure of fish Toll-like receptors (TLR) and NOD-like receptors (NLR)**. *International Journal of Biological Macromolecules*, v.161, p. 1602-1617, 2020.
- SALINAS, I. **The Mucosal Immune System of Teleost Fish**. *Biology*, v. 4, n. 3, p. 525–539, 12 ago. 2015.
- SAURABH, S.; SAHOO, P. K. **Lysozyme: an important defence molecule of fish innate immune system**. *Aquaculture research*, v. 39, n. 3, p. 223-239, 2008.
- SCHMITT, N. UENO, H. **Regulation of human helper T cell subset differentiation by cytokines**. *Current Opinion Immunology*, v. 34, p. 130-136, 2015.
- SECOMBES, C. J.; WANG, T. The innate and adaptive immune system of fish. In: AUSTIN, B. (Ed.). **Infectious Disease in Aquaculture: Prevention and Control**. 1. ed. UK: Woodhead Publishing Limited, p. 3-68, 2012.
- SECOMBES, C. J., ZOU, J.; BIRD, S. Fish Cytokines: Discovery, Activities and Potential Applications. In: Zaccone, G., Meseguer, J., Garcia-Ayala, A. and Kapoor, B.G., Eds., **Fish Defenses: Immunology**, Science Publishers, New Hampshire, USA, 1-36, 2009.
- SHINN, A. J. et al. **Economic impacts of aquatic parasites on global finfish production**. *Global Aquaculture Advocate*, v. 2015, p. 58-61, 2015.
- SMITH, N. C.; RISE, M. L.; CHRISTIAN, S. L. **A comparison of the innate and adaptive immune systems in cartilaginous fish, ray-finned fish and lobe-finned fish**. *Frontiers in immunology*, v. 10, p. 2292, 2019.
- SOUSA, L., R.; SANTOS, C., I.; SILVA, R., E., K.; BARCELLOS, M., F., J.; COSTA, F., T., O.; SANTOS, C., M. **Infectious agents and parasites that affect tambaqui (*Colossoma macropomum*) and treatments used to control these pathogens: a systematic review**. *Scientia Amazonia*, v. 9, n. 3, p. 1–25, 2020.
- SOUZA, D. C. M. et al. **Avaliação da resposta humoral de Tambaqui, *Colossoma macropomum* infectado pelo acantocéfalo *Neoechinorhynchus buttnerae***. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Amazonas, 2019.
- SOUZA, R. L. et al. **Desenvolvimento de uma startup e de ferramentas para diagnósticos de doenças endêmicas de tambaqui (*Colossoma macropomum*)**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Amazonas, 2019.
- STENVIK, J.; JØRGENSEN, T. Ø. **Immunoglobulin D (IgD) of Atlantic cod has a unique structure**. *Immunogenetics*, v. 51, n. 6, p. 452-461, 2000.
- TAVARES-DIAS, M. et al. **Hematological and biochemical parameters for the pirarucu *Arapaima gigas* Schinz, 1822 (Osteoglossiformes, Arapaimatidae) in net cage culture**. *Electronic Journal of Ichthyology*, v. 2, p. 61-68, 2007.
- TAVARES-DIAS, M et al. **Comparative study on hematological parameters of farmed matrinxã, *Brycon amazonicus* Spix and Agassiz, 1829 (Characidae: Bryconinae) with others Bryconinae species**. *Acta Amazonica*, v. 38, n. 4, p. 799-805, 2008.
- TAVARES-DIAS, M.; MARTINS, M. L. **An overall estimation of losses caused by diseases in the Brazilian fish farms**. *Journal of Parasitic Diseases*, v. 41, n. 4, p. 913–918, 7 dez. 2017.
- TAVARES-DIAS, M; SANDRIM, E. F. S.; CAMPOS-FILHO, E. **Características hematológicas**

do tambaqui *Colossoma macropomum* Cuvier (Osteichthyes, Characidae) em sistema de monocultivo intensivo: II. Leucócitos. Revista Brasileira de Zoologia, p. 175-184, 1999.

URIBE, C. et al. **Innate and adaptive immunity in teleost fish: a review.** Veterinarian Medicina, v. 56, n. 10, p. 486–503, 2011.

VALLADÃO, G. M. R.; GALLANI, S. U.; PILARSKI, F. **South American fish for continental aquaculture.** Reviews in Aquaculture, v. 10, n. 2, p. 351–369, 2018.

VAN MUISWINKEL, W. B.; NAKAO, M. **A short history of research on immunity to infectious diseases in fish.** Developmental & Comparative Immunology, v. 43, n. 2, p. 130-150, 2014.

VASCONCELOS-DIAS, C. A. C. et al. **Caracterização parcial das imunoglobulinas de *Plesiotrygon iwamae* (Chondrichthyes-Potamotrygonidae) e de *Colossoma macropomum* (Osteichthyes-Characidae) isoladas com ácido caprílico.** Scientia Amazonia, v. 4, p. 1-9, 2015.

VELÁZQUEZ, J. et al. **Discovery of immunoglobulin T in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): A potential molecular marker to understand mucosal immunity in this species.** Developmental & Comparative Immunology, v. 88, p. 124-136, 2018.

WALSH, K. P.; MILLS, K. H. G. **Dendritic cells and other innate determinants of T helper cell polarisation.** Trends in Immunology, v. 34, n. 11, p. 521–530, 2013.

WHYTE, S. K. **The innate immune response of finfish—a review of current knowledge.** Fish & Shellfish Immunology, v. 23, n. 6, p. 1127–1151, 2007.

WILLETT, C. E. et al. **Expression of Zebrafish rag Genes during early development identifies the thymus.** Developmental biology, v. 182, n. 2, p. 331-341, 1997.

WILSON, M. et al. **A novel chimeric Ig heavy chain from a teleost fish shares similarities to IgD.** Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 94, n. 9, p. 4593-4597, 1997.

WU, L. et al. **Long-Lived Plasma Cells Secrete High-Affinity Antibodies Responding to a T-Dependent Immunization in a Teleost Fish.** Frontiers in Immunology, v. 10, n. October, p. 1–12, 2019.

YAMAGUCHI, T., KATAKURA, F., SOMEYA, K., DIJKSTRA, J.M., MORITOMO, T.; NAKANISHI, T. **Clonal Growth of Carp (*Cyprinus carpio*) T Cells in Vitro: Long Term Proliferation of Th2-Like Cells.** Fish and Shellfish Immunology, 34, 433-442, 2013.

YAMANE, H.; PAUL, W. E. **Early signaling events that underlie fate decisions of naive CD4+ T cells toward distinct T-helper cell subsets.** Immunological Reviews, v. 252, n. 1, p. 12-23, 2013.

YE, J. et al. **The teleost humoral immune response.** Fish & Shellfish Immunology, v. 35, n. 6, p. 1719–1728, dez. 2013.

ZAPATA, A. et al. **Ontogeny of the immune system of fish.** Fish & shellfish immunology, v. 20, n. 2, p. 126–136, 2006.

ZAPATA, A. G. **Cells and tissues of the immune system of fish.** The Fish Immune System. Organism, Pathogen, and Environment, 1996.

ZHANG Y, GARCIA-IBANEZ L, TOELLNER KM. **Regulation of germinal center B-cell differentiation.** Immunological Reviews, v.1, p. 8-19, 2016.

ZHANG, J. et al. **Toll-like receptor recognition of bacteria in fish: ligand specificity and signal pathways.** Fish & shellfish immunology, v. 41, n. 2, p. 380-388, 2014.

ZHANG, Y.-A. et al. **IgT, a primitive immunoglobulin class specialized in mucosal immunity.** Nature immunology, v. 11, n. 9, p. 827, 2010

ZHU, L. et al. **Advances in research of fish immune-relevant genes: a comparative overview of innate and adaptive immunity in teleosts.** Developmental & Comparative Immunology, v. 39, n. 1-2, p. 39-62, 2013.

ZOU, J.; SECOMBES, C. J. **The function of fish cytokines.** Biology, v. 5, n. 2, p. 23, 2016.

## ANESTESIA E SEDAÇÃO EM PEIXES: AVALIAÇÃO, PRODUTOS UTILIZADOS E IMPLICAÇÕES ÉTICAS

*Data de aceite: 01/02/2021*

*Data de Submissão: 27/11/2020*

**Luis André Luz Barbas**

Instituto Federal de Educação Ciência e  
Tecnologia do Pará  
Castanhal – Pará  
<https://orcid.org/0000-0002-2708-8909>

**Moisés Hamoy**

Universidade Federal do Pará  
Belém – Pará  
<https://orcid.org/0000-0002-2931-4324>

**RESUMO:** O uso de anestésicos na piscicultura vem se tornando mais frequente à medida que a atividade cresce em todo o mundo impulsionada por uma demanda crescente de pescado. A utilização da anestesia em peixes facilita o manejo, frequentemente diminui o estresse fisiológico e tem sido cada vez mais discutida dentro de um contexto de ética e bem-estar de animais aquáticos. Avaliações comportamentais, hematológicas, hidrominerais e metabólicas são realizadas com frequência para a caracterização do quadro anestésico em peixes. De outro lado, a utilização de marcadores eletrofisiológicos tem ganhado espaço, no intuito de se verificar também a anestesia geral sob o ponto de vista neuronal, incluindo a avaliação das atividades muscular e cardiorrespiratória. Diversos anestésicos sintéticos têm sido utilizados em peixes, também havendo uma grande quantidade de produtos naturais, como extrativos de plantas, na forma de óleos essenciais ou compostos isolados sendo

prospectados e outros vários já recomendados como produtos alternativos para imobilização e anestesia de peixes. As perspectivas de pesquisa na área de extrativos vegetais e seus efeitos anestésicos para peixes são promissoras no Brasil. Não menos importante, a caracterização da resposta anestésica de peixes submetidos a drogas sintéticas tradicionalmente utilizadas como anestésicos precisa ser feita, para que a eficácia do ponto de vista neurofisiológico seja também atestada. A depressão do sistema nervoso central com perda da sensibilidade, sendo essa uma condição essencial para que a anestesia geral seja assim denominada, aliada a uma resposta cardiorrespiratória segura e compatível com a vida, serão fatores determinantes para a designação de produtos elegíveis para uso como anestésicos em peixes. Desta forma, não incorreremos no risco de submeter peixes a sofrimento, dor e à eutanásia sob condições inadequadas e com implicações éticas importantes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Bem-estar animal, eletrocardiograma, eletromiograma, extrativo vegetal, estresse em peixes.

### ANAESTHESIA AND SEDATION IN FISH: EVALUATION, PRODUCTS USED AND ETHICAL IMPLICATIONS

**ABSTRACT:** The use of anaesthetics in fish farming has become more frequent as the activity flourishes worldwide driven by a growing demand for fish. The use of anaesthesia facilitates handling, can reduce the physiological stress, and has been increasingly discussed in a context of ethics and aquatic animal welfare. Behavioural, haematological, hydromineral and metabolic assessments are frequently performed to characterize anaesthesia in fish. Moreover, the use of electrophysiological markers has gained

ground for the verification of general anaesthesia also from a neuronal perspective, including the evaluation of muscle and cardiorespiratory activities. Several synthetic anaesthetics have been used in fish; there are also several natural products, such as plant extracts, in the form of essential oils or isolated compounds being prospected, and several others have already been recommended as alternative products for immobilizing and anesthetizing fish. The prospects for research in the area of plant extracts and their anaesthetic effects on fish are promising in Brazil. Further, the characterization of the anaesthetic response in fish exposed to synthetic traditional drugs used as anaesthetics has to be evaluated, so that their neurophysiological effects can be confirmed or elucidated. Depression of the central nervous system with loss of sensation, which are essential conditions in general anaesthesia, combined with a safe and life-compatible cardiorespiratory response, will be determining factors for the designation of eligible general anaesthetics for fish. In this way, we will secure not taking the risk of subjecting fish to suffering, pain and euthanasia under inadequate conditions and with important ethical implications.

**KEYWORDS:** Animal welfare, electrocardiogram, electromyogram, plant extract, fish stress.

## 1 | INTRODUÇÃO

Os anestésicos gerais são substâncias que promovem, de forma reversível, depressão do sistema nervoso central resultando em perda da sensibilidade e da resposta aos estímulos ambientais (Summerfelt e Smith 1990). O uso de anestésicos na piscicultura vem se tornando mais frequente na medida em que a atividade cresce em todo o mundo, impulsionada por uma demanda crescente de pescado (FAO, 2020). A utilização da anestesia em peixes facilita o manejo, frequentemente diminui o estresse fisiológico e tem sido cada vez mais discutida dentro de um contexto de ética e bem-estar de animais aquáticos (Ross e Ross, 2008; Readman et al., 2013).

O estresse em peixes é uma condição inerente aos sistemas de produção intensificados e o manejo dos animais em várias situações que requeiram manipulação direta, transporte em sistemas fechados com altas densidades, abate humanizado, além de métodos de contenção de peixes para fins de pesquisa científica e eutanásia humanizada, são algumas das práticas que demandam o uso de anestésicos.

Além da supressão dos sentidos e da dor, que são condições essenciais para a designação de um produto como anestésico geral, vários anestésicos ou produtos alternativos capazes de determinar sinais clínicos semelhantes ao estado de anestesia, têm sido indicados também para uso em peixes por seus potenciais efeitos antiestressantes e antioxidantes.

## 2 | UTILIZAÇÃO DE ANESTÉSICOS NA PISCICULTURA

No intuito de refrear os efeitos deletérios ocasionados pelo estresse de manejo, a utilização de produtos anestésicos vem se intensificando na piscicultura moderna, facilitando o manuseio em diversas situações onde houver necessidade de manipulação dos animais, como ocorre nas amostragens periódicas do plantel, durante a marcação, no

transporte, na reprodução artificial e ainda nos procedimentos cirúrgicos (Coyle et al., 2004; Roubach et al., 2005; Weber et al., 2009).

A anestesia pode ser induzida através de banho, por via oral, ou através de injeção com uma variedade de substâncias. A escolha de um anestésico apropriado depende principalmente da sua eficácia de indução e imobilização com rápida recuperação (Gilderhus e Marking, 1987; Burka et al., 1997; Ross e Ross, 2008). Um anestésico ideal deve possuir vários atributos, tais como: ser atóxico, de baixo custo, de fácil administração e resultar em rápida indução e recuperação calma (Treves-Brown, 2000). A atividade de natação, o equilíbrio, o comportamento, a taxa de ventilação, o movimento dos olhos, as respostas de reflexo e da frequência cardíaca, eletromiograma, dentre outros, são parâmetros monitoráveis em peixes. O grau de atividade desejado será dependente do aprofundamento do nível de anestesia para um procedimento particular (Sneddon, 2012).

## 2.1 Mecanismo de ação

A anestesia deverá proporcionar ação depressora sobre o sistema nervoso central (SNC) e ausência de intercorrências durante a recuperação. A despeito de que o mecanismo preciso de ação dos diferentes anestésicos em invertebrados e peixes ainda precisa ser mais amplamente elucidado, é atualmente aceito que o anestésico atua promovendo uma depressão generalizada do SNC por ação sobre os axônios através da liberação de neurotransmissores ou por modulações na permeabilidade de membrana ou ainda, uma combinação de ambos os eventos (Ross e Ross 2008). Com alguns fármacos, parece haver uma relação inversa entre a concentração necessária para induzir ao estágio de anestesia e a posição filogenética dos animais, o que faz com que um peixe necessite de uma quantidade maior de anestesia do que um mamífero, por exemplo, para produzir o efeito desejado de modo similar. Isso pode ser explicado por fatores relacionados à evolução de mecanismos moleculares, como o aumento de sítios ativos para determinadas moléculas em vertebrados superiores.

## 2.2 A avaliação da anestesia e sedação em peixes

### 2.2.1 Marcadores comportamentais

A série de fases comportamentais é relativamente fácil de caracterizar desde que a indução à anestesia seja suficientemente lenta para permitir a visualização da transição entre os estágios. Em primeiro lugar, observa-se a sedação, condição também designada no contexto aquícola como “anestesia superficial” e, em seguida, a anestesia profunda ocorre na maioria dos animais, com perda de reflexos a estímulos externos, presumível inconsciência e analgesia.

Os estágios progressivos de sedação e anestesia em peixes foram pela primeira vez adaptados e descritos por McFarland (1959). O seu esquema descritivo está resumido na Tabela 1, onde se verifica que uma substância anestésica pode produzir sedação, anestesia cirúrgica, ou morte, dependendo da combinação entre concentração anestésica e duração da exposição. Muitas vezes pode ocorrer discrepância entre espécies na resposta à anestesia e os estágios de indução poderão não estar em conformidade clara com todos os sinais fisiológicos e comportamentais descritos por McFarland, muito embora exista um consenso de que essa descrição possa servir como base preliminar para a avaliação da

indução de peixes à anestesia.

Para fins práticos, a anestesia se resume a três fases óbvias: indução, manutenção e recuperação. Estas fases principais têm sido citadas ao longo do tempo na literatura, mas, por vezes, sem consistência. Cada uma dessas fases pode variar em duração de acordo com a droga ou método utilizado, espécie e condições do ambiente, ou ainda, a depender da qualidade da água.

Estágio	Plano	Descrição	Sinais Fisiológicos e Comportamentais
I	1	sedação leve	responsivo a estímulos com movimentos reduzidos, ventilação diminuída
	2	sedação profunda	como descrito no estágio I plano 1, apresentando leve analgesia e responsivo somente a estímulos grosseiros
II	1	anestesia leve	perda parcial do equilíbrio com boa analgesia
	2	anestesia profunda	perda total do equilíbrio, tônus muscular, ventilação significativamente reduzida
III		anestesia cirúrgica	como descrito no estágio II plano 2, com total perda de reação mesmo a estímulos grosseiros
IV		colapso medular	ventilação cessa, parada cardíaca, overdose e morte

Tabela 1. Estágios de anestesia em peixes.

Adaptado de Macfarland (1959)

A avaliação da indução à anestesia, utilizando-se banhos anestésicos, bem como da recuperação pós-anestesia em peixes, pode ser feita em aquários com água adicionada da concentração-teste de anestesia e aquário de recuperação com água livre de anestésico. Os volumes úteis nos aquários deverão ser adequados para permitir a observação das mudanças dos padrões de natação durante os diferentes estágios da indução e recuperação. O fluxograma apresentado na Fig. 1 demonstra de forma simplificada as etapas de anestesia e recuperação em peixes durante e após os banhos anestésicos.

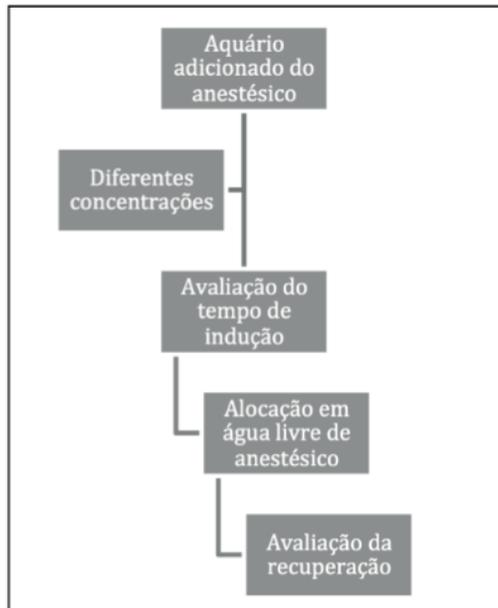


Figura 1. Fluxograma para a avaliação da anestesia durante a indução e recuperação após banhos anestésicos (Adaptado de Ross e Ross 2008).

### 2.2.2 Marcadores eletrofisiológicos

Uma característica importante de um anestésico está na sua capacidade de eliminar ou aliviar a dor. Uma vez que há evidências que sugerem que peixes são capazes de nocicepção ou percepção da dor (Ashley et al., 2007; Roques et al., 2010), bem-estar e dor são aspectos importantes a serem considerados, muito embora, sejam essas ainda questões pouco discutidas no contexto da produção de peixes de corte ou com finalidade ornamental.

O nível de depressão neuronal, as extensões das alterações cardíacas ou do relaxamento muscular que um dado anestésico pode determinar, são parâmetros difíceis de serem avaliados em peixes e, por isso, raramente investigados. Muitos dos anestésicos atuais já testados e também novos produtos apresentados como alternativos para uso em peixes são considerados anestésicos gerais baseando-se na equivocada premissa de que se ocorrer a perda de reação a estímulos externos, visuais ou mecânicos, isso será acompanhado por analgesia (Ross e Ross, 2008). Ainda, o uso de marcadores comportamentais unicamente, como a observação de latência para o estágio de imobilização completa, não comprova anestesia geral com perda de sensibilidade, analgesia ou mesmo perda de tônus muscular. Peixes podem atingir um estágio de sedação, estarem completamente imobilizados, mas ainda sensíveis à dor.

Estudos de monitoramento eletroencefalográfico (EEG) em peixes são escassos. Um estudo caracterizou os padrões normais no traçado de EEG em *zebrafish* (*Danio rerio*) e também de espécimes induzidos à convulsão com pentilenotetrazol (Pineda et al., 2011). Também há relatos mais recentes de registro de padrões eletroencefalográficos em

espécies de linguado (*Scophthalmus maximus* e *Solea solea*) submetidas à técnicas de pré-abate com imersão em gelo ou após choque elétrico (Lambooij et al., 2015; Daskalova et al., 2016).

O monitoramento de EEG em peixes submetidos à anestesia é raro, tendo sido realizado em carpa (*Cyprinus carpio*) submetida à concentrações anestésicas de CO<sub>2</sub> (Yoshikawa et al., 1991; 1994). Apesar dos relatos supracitados, muito pouco se conhece ainda quanto aos padrões de traçados eletrofisiológicos de peixes submetidos aos diferentes anestésicos. No Brasil, há poucos relatos da utilização de marcadores eletrofisiológicos em estudos que avaliam a anestesia geral em peixes (Barbas et al., 2017a; Fujimoto et al., 2017; de Souza et al., 2019; Vilhena et al., 2019).

Os diversos anestésicos apresentados no mercado, recomendados e disponíveis para uso em peixes, precisam ser avaliados quanto a sua capacidade de determinar depressão do sistema nervoso central e impactos sobre o relaxamento muscular e, mais ainda, sobre os riscos que impõem ao funcionamento cardiorrespiratório.

Apesar de amplamente utilizado para a avaliação da atividade cerebral em mamíferos, o monitoramento por EEG é uma metodologia relativamente nova na avaliação da anestesia em peixes. O EEG permitirá a comprovação inequívoca da ação anestésica a partir da diminuição da atividade neuronal de potencial de campo. A avaliação comportamental necessita ser corroborada por metodologias que esclareçam o que ocorre do ponto de vista neurológico com o órgão ou região efetora, neste caso, o sistema nervoso central. Dessa forma, erros de interpretação serão evitados, como a designação de anestésicos gerais para drogas que determinem apenas ação na placa motora (miorrelaxantes de ação periférica), mas sem ação anestésica central.

O propofol é um anestésico derivado do alquil-fenol, muito utilizado na medicina e seu efeito no sistema nervoso central é determinado pela sua interação com o receptor do ácido Gama-amino-butírico (GABA), um neurotransmissor inibitório de mais ampla atividade no sistema nervoso central. Durante o contato com a droga, diluída na concentração de 2 ppm em água de aquário, observa-se mudanças na atividade cerebral do tambaqui, *Colossoma macropomum* com alterações do traçado de EEG (Fig. 2 A, B, D e E), demonstrando redução da intensidade de força, como pode ser visualizado no espectrograma de frequência de animais anestesiados em comparação ao espectrograma de animais em estado basal (Fig. 2 C e F). A coloração vermelha na escala colorimétrica do espectrograma corresponde a maior intensidade de energia, que está distribuída de forma mais evidente em frequências abaixo de 10 Hz no espectrograma de animais não anestesiados (Fig. 2 C). A implantação desta metodologia, em se tratando de anestesia de peixes, gera novas perspectivas para a avaliação da anestesia geral em termos de comprovação de eficácia e potência, permitindo a proposição de concentrações anestésicas efetivas de forma mais inequívoca.

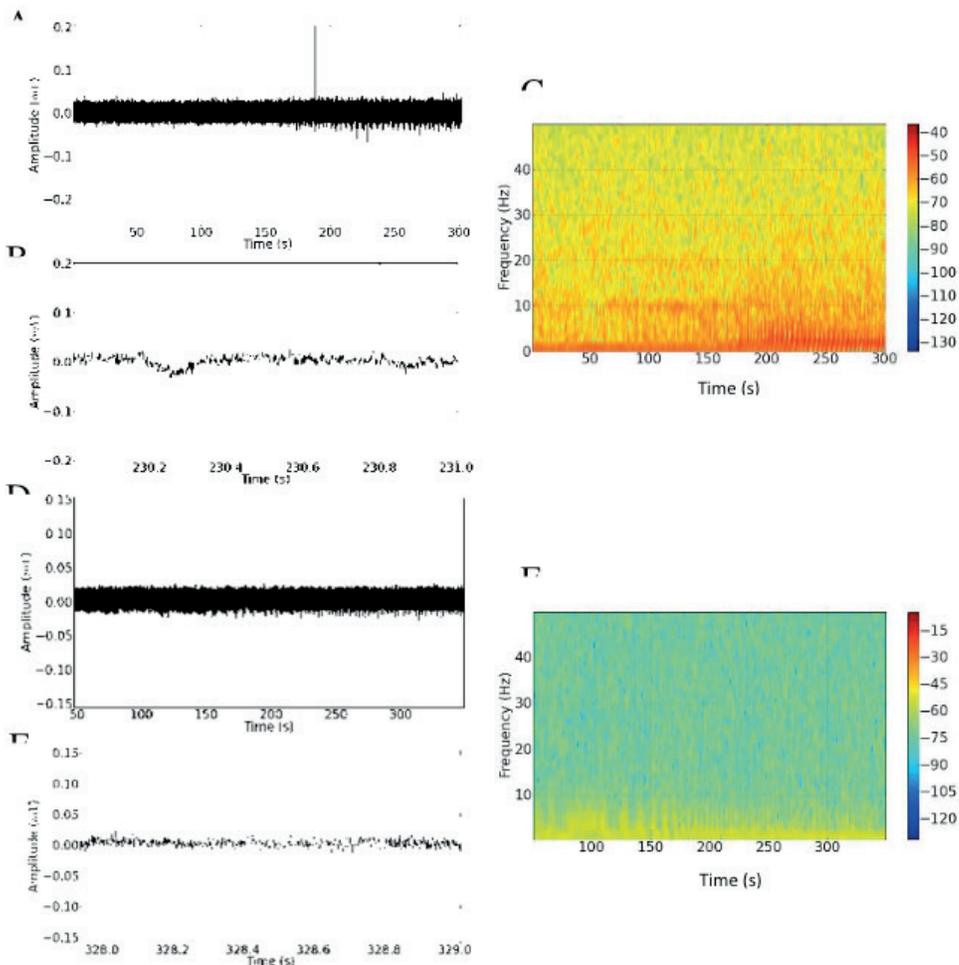


Figura 2. Demonstrativo do eletroencefalograma (EEG) na região mesencefálica de tambaqui, *C. macropomum* (~ 5,0g) no estado basal (A), registro basal amplificado de 1 s (B) e perfil do espectrograma do EEG no estado basal (C). Traçado de EEG da região mesencefálica do tambaqui anestesiado com propofol na concentração de 2 ppm (D), registro amplificado de 1 s demonstrando o efeito do propofol sobre o traçado (E) e espectrograma apresentando a mudança na distribuição de energia no registro de potencial de campo no mesencefalo sob efeito do propofol (F). (Arquivo pessoal Professores Luis Barbas e Moisés Hamoy).

O registro eletromiográfico (EMG) também é uma ferramenta para medida da intensidade do miorelaxamento provocado pelas substâncias anestésicas ou sedativas. Esta característica dos anestésicos é importante, pois facilita intervenções mais invasivas como no caso de cirurgias e também evita gastos exagerados de energia o que levaria o organismo a um quadro de desequilíbrio da homeostase e desencadeando alterações relacionadas ao estresse. O EMG pode ser utilizado como ferramenta para testar efeitos relacionados à potência miorelaxante dos anestésicos em peixes.

Tambaquis anestesiados com propofol demonstraram traçados de EMG característicos de miorelaxamento (Fig. 3). Durante momentos iniciais da indução, a droga

reduz o tônus muscular e, apesar de haver ainda contração da musculatura, esta ocorre em intensidade menor do que o normal, o que é visualizável através da amplitude dos traçados (Fig. 3 D e E). Posteriormente, é demonstrada uma fase de miorelaxamento completo sem captação de atividade muscular no músculo dorsal (Fig 3 F). Essa característica do propofol evidencia o seu poder miorelaxante. O EMG é complementar ao registro eletroencefalográfico, pelo qual se dá a comprovação da atividade anestésica propriamente dita.

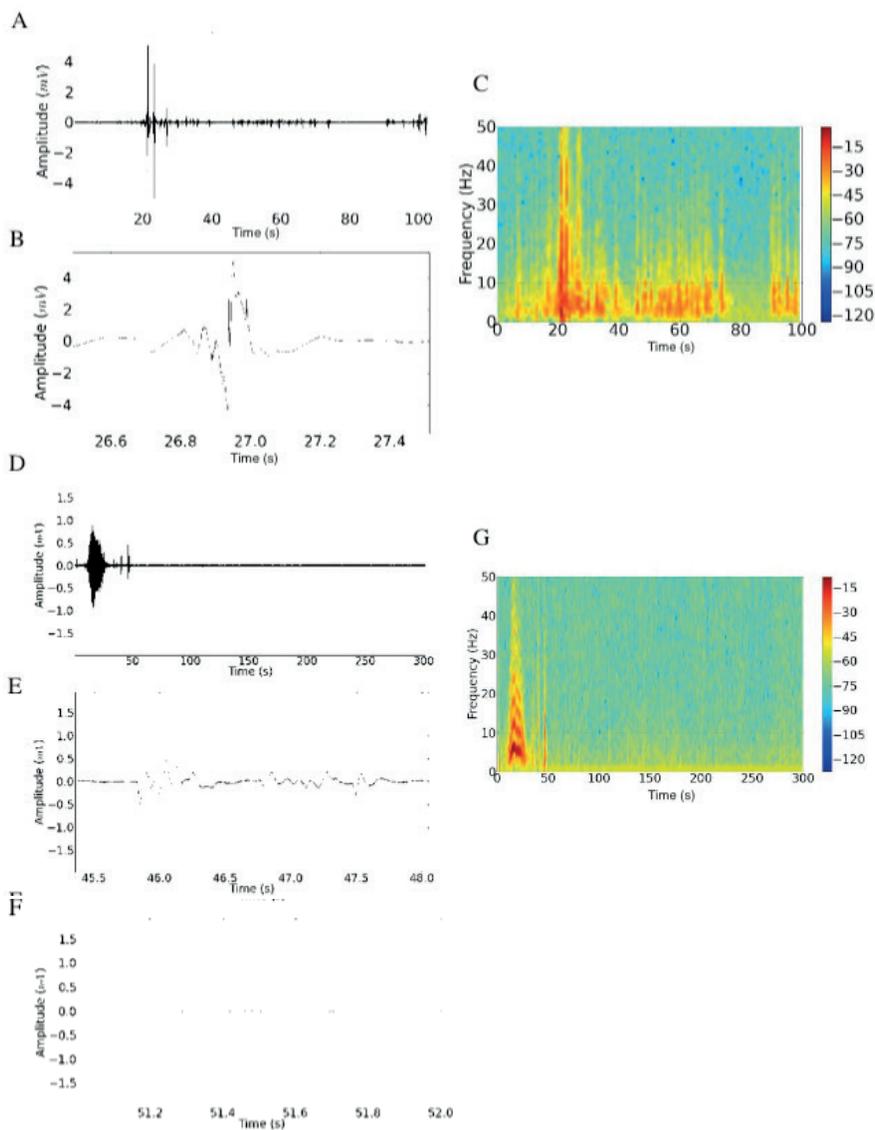


Figura 3. Demonstrativo do eletromiograma (EMG) no músculo dorsal de tambaqui, *C. macropomum* (5g) (A), amplificação do registro de contração muscular (1 s) (B), espectrograma de distribuição de energia durante a contração muscular normal do tambaqui (C). EMG do músculo dorsal do tambaqui juvenil (~ 5,0g) em contato com o propofol na concentração de 2 ppm (D); amplificação (aprox. 2,5 s) do registro na última contração muscular antes

do miorelaxamento (E), EMG durante a anestesia com propofol (miorelaxamento) (F) e espectrograma de distribuição de energia durante a contração muscular do tambaqui (G). Observar no espectrograma a fase de atividade muscular (cor vermelha) e miorelaxamento (Arquivo pessoal professor Luis Barbas e Moisés Hamoy).

Ao avaliarem juvenis de tambaqui submetidos a banho anestésico com óleo essencial de citronela (*Cymbopogon nardus*), Barbas et al. (2017a) procederam para além da descrição do padrão comportamental, o monitoramento da contração muscular com o EMG. Além de determinar imobilização corporal completa em todas as concentrações testadas, ficou demonstrado que o óleo essencial da citronela a  $600 \mu\text{L L}^{-1}$  atuou como um agente miorelaxante eficaz como demonstrado pelas amplitudes dos traçados registrados no músculo dorsal (Fig. 4). Outros produtos naturais como os óleos essenciais de *Nepeta cataria* e *Piper divaricatum* também promoveram diminuição significativa da atividade muscular do tambaqui, conforme demonstrados nos traçados de EMG do músculo dorsal (de Souza et al., 2019; Vilhena et al., 2019).

Em outro estudo também ficou demonstrada, através da avaliação do EMG, depressão significativa do poder de contração muscular em três espécies de peixes ornamentais amazônicos submetidos a banho anestésico com óleo essencial de cravo (Fujimoto et al., 2017). Essa técnica permite, portanto, mensurar a intensidade da contração muscular durante a ação de drogas, detectando contrações mínimas, que em avaliações visuais podem passar despercebidas.

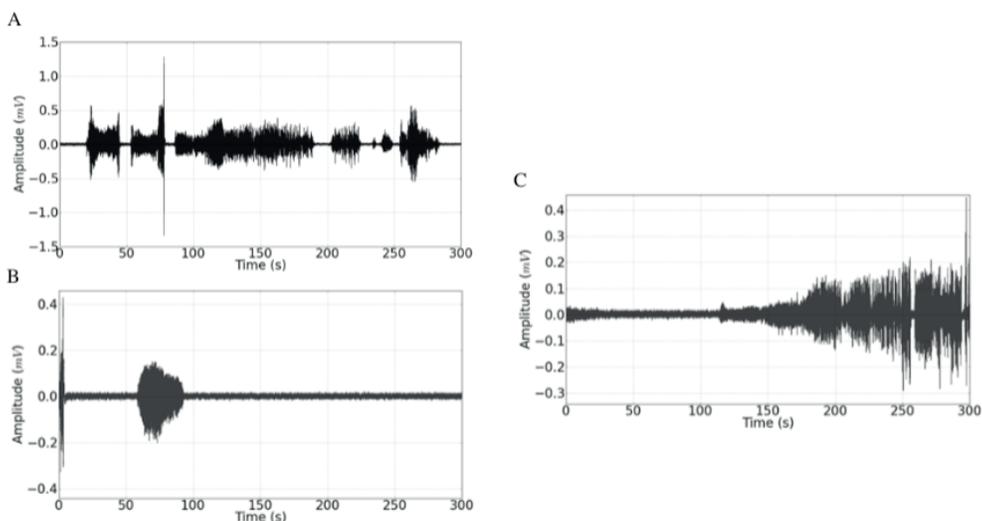


Figura 4. Traçado de eletromiograma (EMG) normal (A) em juvenis de tambaqui, *Colossoma macropomum* (~ 2,0g), durante a indução anestésica com óleo essencial de citronela (*Cymbopogon nardus*) a  $600 \mu\text{L L}^{-1}$  (B) e durante a recuperação em água livre de anestésico (C). Barbas et al. (2017a)

Outros efeitos das drogas anestésicas estão ligados às alterações hemodinâmicas. Isso ocorre pela ação direta nos vasos ou no coração, seja por modulação da neurotransmissão ou diretamente no tecido. O eletrocardiograma (ECG) permite avaliar a ação das drogas

anestésicas sobre a atividade elétrica cardíaca, possibilitando o acompanhamento das alterações funcionais durante a indução, manutenção e o retorno anestésico. Um exemplo de monitoramento cardíaco em peixe é apresentado na Fig. 5.

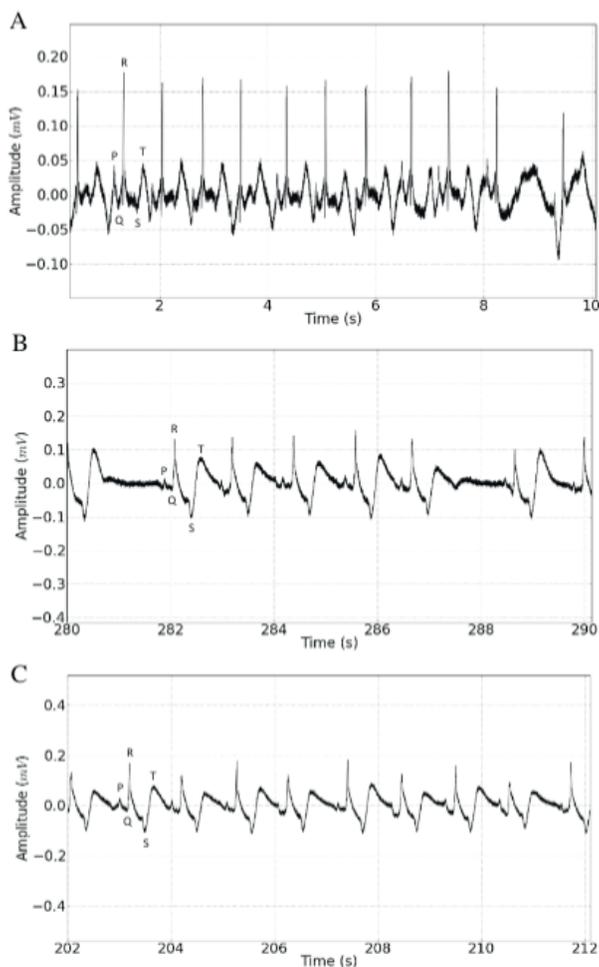


Fig. 5. Registro eletrocardiográfico (ECG) demonstrando a frequência cardíaca de tambaqui, *Colossoma macropomum* (~ 2,0g) no estado normal (A), durante a indução anestésica com óleo essencial de citronela (*Cymbopogon nardus*) a  $600 \mu\text{L L}^{-1}$  (B) e durante a recuperação em água livre de anestésico (C). A identificação das ondas P, complexo QRS e onda T está demonstrada nos traçados. Barbas et al. (2017a).

O óleo essencial de citronela determina diminuição da pressão arterial e da frequência cardíaca durante o processo de indução anestésica, com pouca variação da atividade cardíaca. Durante a manutenção da anestesia profunda os animais podem desenvolver bradicardia com leve arritmia, porém o coração se mantém com atividade regular e compatível com um procedimento anestésico seguro (Fig. 5).

Esta metodologia também é complementar ao EEG, sendo que o efeito da atividade anestésica na função cardíaca deve ser sempre levado em consideração, pois quanto maiores

as alterações cardiovasculares observadas nos animais sob anestesia, mais imprópria se torna a droga para uso.

### *2.2.3 Fatores que podem influenciar na eficácia anestésica*

A eficácia anestésica pode ser condicionada pelo ambiente (temperatura, pH e salinidade) e fatores biológicos (tamanho, peso, teor de lípidos e espécies de peixes) (Burka et al., 1997; Ross e Ross, 2008). É bastante aconselhável identificar as mais baixas concentrações eficazes em proporcionar o plano anestésico almejado, sendo que as respostas a um mesmo anestésico podem variar consideravelmente entre as diferentes espécies (King et al., 2005).

### **2.3 Anestésicos Sintéticos**

A tricaina metanossulfonato,  $C_9H_{11}O_2N + CH_3SO_3H$ , também conhecida por MS-222 é atualmente o anestésico mais utilizado no mundo. É um isômero da benzocaína com um radical sulfonato adicional, que a torna mais solúvel em água, entretanto, mais ácida quando em solução (Congleton, 2006), desta forma, requerendo o uso em associação com um produto tamponante para a obtenção de um pH compatível com a espécie a ser submetida à anestesia, evitando-se assim acidemia metabólica (Sneddon, 2012). A tricaina é a única droga anestésica aprovada pelo Departamento Americano de Controle de Drogas e Alimentos (US Food and Drug Administration) para uso em peixes destinados ao consumo humano. Também é registrada para uso veterinário no Reino Unido, Canadá, Itália, Espanha e Noruega (Sneddon, 2012; Popovic et al., 2012), sendo rotineiramente utilizada para procedimentos não invasivos e cirúrgicos em peixes, além de recomendada como o primeiro passo para realização de eutanásia para a maioria dos peixes de laboratório (Readman et al., 2013).

Outros anestésicos frequentemente utilizados na aquicultura são: 2 - fenoxietanol (PE), etanol, éter dietílico, benzodiazepinas, halotano, lidocaína, cetamina, medetomidina, propofol, dióxido de carbono (Svoboda e Kolarova, 1999; Neiffer e Stamper, 2009; Weber III, 2011), além da benzocaína (etil aminobenzoato), que também tem sido utilizada com frequência em diferentes espécies de teleósteos (Heo e Shin, 2010; Pramod et al., 2010).

### **2.4 Extrativos vegetais como anestésicos e/ou sedativos para peixes**

Anestésicos provenientes de fontes naturais como extrativos vegetais podem ser uma importante área de pesquisa em razão da grande diversidade de compostos presentes nesses produtos (Keene et al., 1998; Gonçalves et al., 2008; Cunha et al., 2010; 2011), além de que o uso de produtos naturais é potencialmente menos oneroso e menos problemático quanto a questão residual que comprometa a qualidade da água ou da carne.

Diversos produtos naturais apresentam potencial para utilização como anestésicos na aquicultura. O óleo de cravo, que tem por principal componente ativo (70% a 90%) o eugenol [2-metoxi-4-(2-propenil) fenol] tem sido investigado em diversos estudos e indicado como um produto natural eficiente para indução anestésica a um bom custo-benefício (Walsh e Pease, 2002; Iversen et al., 2003; King et al., 2005; Mylonas et al., 2005; Roubach et al., 2005; Cunha e Rosa, 2006; Hajek et al., 2006; Barbosa et al., 2007).

Gonçalves et al. (2008) avaliaram o mentol para anestésiar juvenis de pacu, *Piaractus mesopotamicus* que se mostrou eficiente para promover a indução anestésica nessa espécie. Extrativos como óleos essenciais das plantas erva cidreira, *Lippia alba* e a alfavaca ou manjeriço, *Ocimum gratissimum* também foram testados em jundiá, *Rhamdia quelen*, mostrando-se efetivos e seguros para essa espécie. O óleo essencial de *L. alba* amenizou inclusive o estresse oxidativo em experimentos de transporte simulado (Cunha et al., 2010; Azambuja et al., 2011; Silva et al., 2012).

Além da *L. alba*, outro óleo essencial, o da planta *Aloysia triphylla*, foi testado no crustáceo *Litopenaeus vannamei*, sendo que ambos foram eficazes na indução anestésica em plano mais profundo e em concentrações mais baixas para obtenção de planos mais superficiais de anestesia nos experimentos de transporte simulado (Parodi et al., 2012).

O jambu, *Spilanthes acmella* var *oleracea* L. também conhecido como agrião-do-Pará, cresson do Pará, dentre outros nomes populares, é uma hortaliça de clima tropical, nativa do Brasil, cultivada ao longo do ano como planta ornamental ou medicinal (Prachayasittikul et al., 2013). Estudos demonstraram que o extrato etanólico das folhas de *S. acmella* apresentaram atividade anti-inflamatória significativa em processos inflamatórios agudos, subagudos e crônicos, bem como atividade analgésica central e periférica em modelos experimentais animais (Barman et al., 2009). Efeitos antinociceptivos prevalentes e sem efeitos adversos também foram reportados para o extrato etanólico de *S. acmella*. A presença de N-alquilamidas, incluindo o espilantol, sugere que o efeito terapêutico está relacionado com a sua maior atividade anestésica (Nomura et al., 2013). Mais recentemente, ficou demonstrada a eficácia anestésica de *S. acmella* para juvenis de tambaqui, *Colossoma macropomum* quando expostos a banho anestésico com extrato ceroso das flores (extração por fluido supercrítico com uso de CO<sub>2</sub>) a 20 mg L<sup>-1</sup> (Barbas et al., 2016).

A sedação (anestesia superficial) pode ser suficiente para diminuir o estresse no transporte de peixes. O transporte de juvenis de peixes é algo rotineiro dentro da cadeia produtiva e considerado como procedimento não invasivo (Sneddon, 2012). Com a utilização de anestésicos em concentrações sedativas, ocorre perda parcial de equilíbrio e supressão da reação a estímulos externos. É considerada uma condição ideal para o transporte de peixes que apresentam, nessas condições, atividade reduzida, mas são capazes de manter o equilíbrio parcial, a capacidade de nadar e evitar danos físicos resultantes da colisão entre indivíduos durante o transporte (Cooke et al., 2004). Nos estudos de Inoue et al. (2005), matrinxãs *Brycon cephalus* foram expostas ao eugenol na concentração de 5 mg L<sup>-1</sup> em sacos de polietileno em experimento de transporte e, como resultado, houve sedação branda e mitigação dos efeitos do estresse fisiológico.

A forma mais usual de transporte de alevinos no Brasil se dá por sistemas fechados em sacos de polietileno, que são inflados com oxigênio puro, havendo por consequência bruscos aumentos nos níveis de oxigênio dissolvido (Gomes et al., 1999; Golombieski et al., 2003). Sendo o transporte um ponto crítico da cadeia produtiva da piscicultura e também um agente estressor, a exposição de peixes inicialmente à hiperóxia e posteriormente à hipóxia/anóxia no decorrer do transporte, pode resultar em alterações oxidativas, pois o consumo de oxigênio determina os níveis de Espécies Reativas de Oxigênio (ERO) gerados e também o *status* antioxidante. Alguns indicativos podem ser dados pelo aumento das atividades de enzimas antioxidantes que sofrem um incremento de atividade com a elevação nos níveis

intracelulares de ERO (Lushchak et al., 2001).

Peixes que são submetidos ao transporte e que sejam mais adaptados às variações nos níveis de oxigênio dissolvido à hipóxia ou anóxia, sobrevivem com mais frequência às condições de baixo oxigênio dissolvido, entretanto, sofrem um novo perigo após a retomada do oxigênio. A cadeia transportadora de elétrons ao ser reduzida sob condições de hipóxia pode produzir níveis elevados de ERO durante a reoxigenação o que pode causar estresse oxidativo. A hiperóxia por si só, normalmente estabelecida no início do transporte de peixes em sistemas fechados pela introdução de oxigênio puro, pode gerar níveis elevados de ERO e esses animais precisam desenvolver sistemas antioxidantes eficazes. Uma forma de aliviar o estresse oxidativo ocasionado durante o transporte de jundiá, *Rhamdia quelen* foi utilizando o óleo essencial de *L. alba* na concentração sedativa de  $10 \mu\text{L L}^{-1}$ , o qual demonstrou além de atividade anestésico-sedativa, propriedade antioxidante (Azambuja et al., 2011).

Tambaquis transportados por 6 horas em embalagens plásticas em água hiperóxica adicionada de extrativos anestésicos nas concentrações de  $1 \text{ mg L}^{-1}$  e  $30 \mu\text{L L}^{-1}$  de extrato ceroso de *S. acmella* e óleo essencial de *Nectandra grandiflora*, respectivamente, também apresentaram redução de peroxidação lipídica no músculo, conforme demonstrado pelo menor acúmulo de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) (Barbas et al., 2017b). Portanto, além da atividade sedativa observada nos animais expostos a essas concentrações, houve também um efeito protetor contra dano oxidativo na presença dos produtos diluídos na água de transporte (Fig. 6).

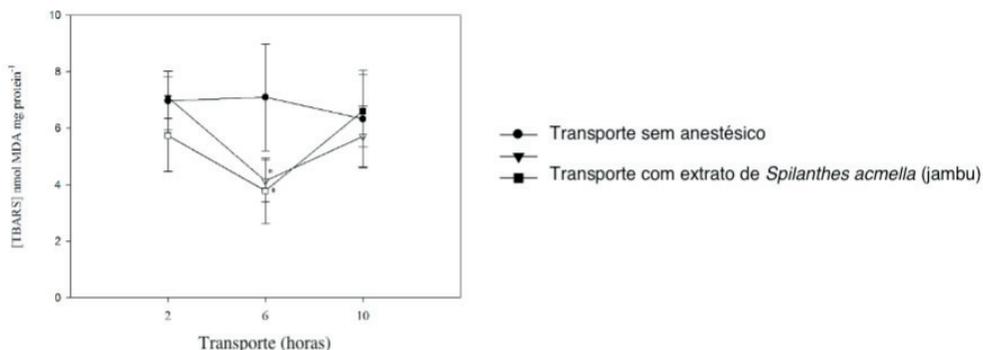


Fig. 6. Concentração de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) em músculo de juvenis de tambaqui (~ 8,6 g) submetidos a diferentes tempos de transporte (2, 6 e 10 h) com e sem anestésicos (extrato de *Spilanthes acmella* –  $1 \text{ mg L}^{-1}$ ; óleo essencial de *Nectandra grandiflora* –  $30 \mu\text{L L}^{-1}$ ). Valores expressos como Média  $\pm$  DP. Asteriscos indicam diferenças significativas em relação aos transportados sem anestésico dentro do mesmo tempo (ANOVA, Tukey  $p < 0,05$ ),  $n = 30$ . Barbas et al. (2017b)

A intensificação da piscicultura impulsionou a busca por produtos anestésicos alternativos, de custo-benefício mais atrativo para auxiliar no manejo de peixes. Recentemente, foi realizado um levantamento sobre os diferentes tipos de óleos essenciais e compostos isolados de plantas já testados como anestésicos e seus efeitos em peixes (Aydın and Barbas, 2020). Extrativos vegetais apresentam uma vasta fonte de compostos que podem possuir atividade anestésica e/ou sedativa, além de funcionarem como agentes anti-estressantes e antioxidantes. As perspectivas de pesquisa na área de extrativos

vegetais e seus efeitos anestésicos para peixes são promissoras no Brasil. Não menos importante, a caracterização da resposta anestésica de peixes submetidos a drogas sintéticas tradicionalmente utilizadas como anestésicos precisa ser feita, para que a eficácia do ponto de vista neurofisiológico seja atestada.

A depressão do sistema nervoso central com perda da sensibilidade, sendo essa uma condição essencial para que a anestesia geral seja assim denominada, aliada a uma resposta cardiorrespiratória segura e compatível com a vida, serão fatores determinantes para a designação de produtos elegíveis para uso como anestésicos em peixes. Ademais, desse modo não incorreremos no risco de submeter peixes a sofrimento, dor e à eutanásia sob condições inadequadas e com implicações éticas importantes.

## 5. REFERÊNCIAS

- Aydın, B., Barbas, L.A.L., 2020. Sedative and anesthetic properties of essential oils and their active compounds in fish: A review. *Aquaculture*, 520, 734999. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.734999>
- Ashley, P. J., Sneddon L. U., McCrohan C. R., 2007. Nociception in fish: stimulus-response properties of receptors on the head of trout *Oncorhynchus mykiss*. *Brain Research* 1166:47–54.
- Azambuja, C. R., J. Mattiazzi, A. P. K. Riffel, I. A. Finamor, L. O. Garcia, C. G. Heldwein, B. M. Heinzmann, B. Baldisserotto, M. A. Pavanato & S. F. Llesuy. 2011. Effect of the essential oil of *Lippia alba* on oxidative stress parameters in silver catfish (*Rhamdia quelen*) subjected to transport. *Aquaculture*, 319: 156–161.
- Barbas, L. A. L., Stringhetta, G. R., Garcia, L. de O., Figueredo, M. R. C., Sampaio, L. A. 2016. Jambu, *Spilanthes acmella* as a novel anaesthetic for juvenile tambaqui, *Colossoma macropomum*: Secondary stress responses during recovery. *Aquaculture*, 456: 70–75.
- Barbas, L. A. L., Hamoy, M., Mello, V. J., Barbosa, R. P. M., Lima, H. S. T., Torres, M. F., Nascimento, L. A. S., da Silva, J. K. R., Andrade, E. H. A., Gomes, M. R. F. 2017a. Essential oil of citronella modulates electrophysiological responses in tambaqui *Colossoma macropomum*: A new anaesthetic for use in fish. *Aquaculture* 479: 60–68, doi: [dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.05.027](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.05.027)
- Barbas, L.A.L., Maltez, L.C., Stringhetta, G.R., Garcia, L. de O., Monserrat, J.M., da Silva, D.T., Heinzmann, B.M., Sampaio, L.A., 2017b. Properties of two plant extractives as anaesthetics and antioxidants for juvenile tambaqui *Colossoma macropomum*. *Aquaculture* 469: 79–87. doi: [10.1016/j.aquaculture.2016.12.012](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.12.012)
- Barbosa, L. G., Moraes, G., Inoue, K. A., Antônio L., 2007. Respostas metabólicas do matrinxã submetido a banhos anestésicos de eugenol. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, 29: 255-260.
- Barman, S., Sahu, N., Deka, S., Dutta, S., Das, S., 2009. Antiinflammatory and analgesic activity of leaves of *Spilanthes acmella* (ELSA) in experimental animal models. *Pharmacologyonline*, 1: 1027–34.
- Burka, J. F., Hammell, K. L., Horsberg, T. E., Johnson, G. R., Rainnie, D. J., Speare, D. J., 1997. Drugs in salmonid aquaculture - a review. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*, 20: 333–349.
- Cooke, S., Suski, C. D., Ostrand, K. G., Tufts, B. L., Wahl, D. H., 2004. Behavioral and physiological assessment of low concentrations of clove oil anaesthetic for handling and transporting largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Aquaculture*, 239: 509–529.

Coyle, S.D., Durborow, R.M., Tidwell, J.H., 2004. Anesthetics in aquaculture. Southern Regional Aquaculture Center (SRAC). Publication 3900.

Congleton, J.L., 2006. Stability of some commonly measured blood-chemistry variables in juvenile salmonids exposed to a lethal dose of the anaesthetic MS-222. *Aquacult. Res.* 37: 1146–1149.

Cunha, F. E. A., Rosa, I. L., 2006. Anesthetic effects of clove-oil on seven species of tropical reef fishes (Teleostei). *Journal of Fish Biology*, 69: 1504–1512.

Cunha M.A., Barros F.M.C., Garcia L.O., Veeck A.P.L., Heinzmann B.M., Loro V.L., Emanuelli T., Baldisserotto B., 2010. Essential oil of *Lippia alba*: A new anaesthetic for silver catfish, *Rhamdia quelen*. *Aquaculture* 306, 403–404.

Cunha, M. A., B. F. Silva, F. A. C. Delunardo, S. C. Benovit, L. C. Gomes, B. M. Heinzmann, B. Baldisserotto. 2011. Anesthetic induction and recovery of *Hippocampus reidi* exposed to the essential oil of *Lippia alba*. *Neotropical Ichthyology*, 9: 683–688.

Daskalova, A. H., Bracke, M. B. M., van de Vis, J. W., Roth, B., Reimert, H. G. M., Burggraaf, D., Lambooij E. 2016. Effectiveness of tail-first dry electrical stunning, followed by immersion in ice water as a slaughter (killing) procedure for turbot (*Scophthalmus maximus*) and common sole (*Solea solea*). *Aquaculture*, 455: 22–31

de Souza, A. da S.L., Peret, A.C., Hamoy, M., de Souza, R.A.L., Torres, M.F., Barbas, L.A.L., 2019. Propofol and essential oil of *Nepeta cataria* induce anaesthesia and marked myorelaxation in tambaqui *Colossoma macropomum*: Implications on cardiorespiratory responses. *Aquaculture* 500, 160–169. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.10.017>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (The) State of World Fisheries and Aquaculture. 2020. 244p.

Fujimoto, R. Y., Pereira, D. M., Silva, J. C. S., de Oliveira, L. C. A., Inoue, L. A. K. A., Hamoy, M., de Mello, V. J., Torres, M. F., Barbas, L. A. L. 2017. Clove oil induces anaesthesia and blunts muscle contraction power in three Amazon fish species. *Fish Physiol Biochem*, 44, 245–256. doi: 10.1007/s10695-017-0430-8

Gilderhus, P. A., Marking, L. L., 1987. Comparative efficacy of 16 anaesthetic chemicals on rainbow trout. *North American Journal of Fisheries and Management*, 7: 288–292.

Golombieski, J.I., Silvia, L.V.F., Baldisserotto, B., Da Silva, J.H.S., 2003. Transport of silver catfish (*Rhamdia quelen*) fingerlings at different times, load densities, and temperatures. *Aquaculture* 216, 95–102.

Gomes, L. C., Golombieski, J. I., Chippari-Gomes, A. R., Baldisserotto, B., 1999. Effect of salt in the water for transport on survival and on Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> body levels of silver catfish, *Rhamdia quelen*, fingerlings. *J. Appl. Aquacult.* 9, 1–9.

Gonçalves, A. F. N., Santos, E. C. C., Fernandes, J. B. K., Takahashi, L. S., 2008. Menthol and eugenol as benzocaine substitutes in anesthetic induction of pacu juveniles. *Acta Scientiarum Animal Sciences* 30, 339–344.

Hajek, G. J., Klyszejko, B., Dziaman, R., 2006. The anaesthetic effect of clove oil on common carp, *Cyprinus carpio* L. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 36: 93–97.

Heo, G. J., Shin, G., 2010. Efficacy of benzocaine as an anaesthetic for Crucian carp (*Carassius carassius*). *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 37: 132–135.

- Inoue, L. A. K. A., Afonso L. O. B., Iwama G. K., Moraes, G., 2005. Effects of clove oil on the stress response of matrinxã (*Brycon cephalus*) subjected to transport. *Acta Amazonica*, 35: 289–295.
- Iversen, M., Finstad, B., McKinley, R. S., Eliassen, R. A., 2003. The efficacy of metomidate, clove oil, Aqui-S (TM) and Benzoak (R) as anaesthetics in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts, and their potential stress-reducing capacity. *Aquaculture*, 221: 549–566.
- Keene, J. L., Noakes, D. L. G., Moccia, R. D., Soto C. G., 1998. The efficacy of clove oil as an anaesthetic for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture Research* 29, 89–101.
- King, W.V., Hooper, B., Hillsgrove, S., Benton, C., Berlinsky, D., 2005. The use of clove oil, metomidate, tricaine methanesulphonate and PE for inducing anaesthesia and their effect on the cortisol stress response in black sea bass (*Centropristis striata* L.). *Aquaculture Research*, 36: 1442–1449.
- Lambooj, B., Bracke, M., Reimert, H., Foss, A., Imsland, A., van de Vis, H. 2015. Electrophysiological and behavioural responses of turbot (*Scophthalmus maximus*) cooled in ice water. *Physiology & Behavior*, 149: 23–28.
- Lushchak, V. I., Lushchak, L. P., Mota, A., Hermes-Lima, M., 2001. Oxidative stress and antioxidant defenses in goldfish *Carassius auratus* during anoxia and reoxygenation. *American Journal of Physiology*, 280: 100–107.
- McFarland, W.N. 1959. A study of the effects of anaesthetics on the behaviour and physiology of fishes, *Publ. Inst. Mar. Sci.* 6: 22–55.
- Mylonas, C.C., Cardinaletti, G., Sigelaki, I., Polzonetti-Magni, A., 2005. Comparative efficacy of clove oil and 2-phenoxyethanol as anaesthetics in the aquaculture of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and gilthead sea bream (*Sparus aurata*) at different temperatures. *Aquaculture*, 246: 467–481.
- Neiffer D. L., Stamper, M. A., 2009. Fish sedation, analgesia, anesthesia, and euthanasia: Considerations, methods, and types of drugs. *Institute for Laboratory Animal Research Journal*, 50: 343–360.
- Nomura, E. C. O., Rodrigues, M. R. A., Silva, C. F., Hamm, Nascimento, L. A., A. M., Souza, L. M., Cipriani, T. R., Baggio, C. H., Werner, M. F. P., 2013. Antinociceptive effects of ethanolic extract from the flowers of *Acmella oleracea* (L.) R.K. Jansen in mice, *Journal of Ethnopharmacology*, 150: 583–589 doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jep.2013.09.007>.
- Parodi, T. V., Cunha M. A., Heldwein, C. G., de Souza, D. M., Martins, Á. C., Garcia L. O., Wasielesky, W. JR., Monserrat J. M., Schmidt, D., Caron, B. O., Heinzmann, B., Baldisserotto, B., 2012. The anesthetic efficacy of eugenol and the essential oils of *Lippia alba* and *Aloysia triphylla* in post-larvae and sub-adults of *Litopenaeus vannamei* (Crustacea, Penaeidae). *Comparative Biochemistry and Physiology - Part C: Toxicology & Pharmacology* 155, 462–468.
- Popovic N. T., Strunjak-Perovic I., Coz-Rakovac R., Barisic J., Jadan M., Beracovic, A. P., Klobucar, R. S., 2012. Tricaine methane-sulfonate (MS-222) application in fish anaesthesia. *J Appl Ichthyol*, 28: 553–564.
- Prachayasittikul V., Prachayasittikul S., Ruchirawat S., Prachayasittikul V., 2013. High Therapeutic potential of *Spilanthes acmella*: A review. *EXCLI Journal*, 12: 291–312.
- Pramod, P. K., Ramachandran, A., Sajeevan, T. P., Thampy, S., Pai, S. S., 2010. Comparative efficacy of MS-222 and benzocaine as anaesthetics under simulated transport conditions of a tropical ornamental fish *Puntius filamentosus* (Valenciennes). *Aquaculture Research*, 31: 309–314.

Readman G. D, Owen S. F, Murrell J. C, Knowles T. G., 2013. Do Fish Perceive Anaesthetics as Aversive? PLoS ONE 8 (9): e73773. doi:10.1371/journal.pone.0073773.

Ross, L. G., Ross, B., Anaesthetic and Sedative Techniques for Aquatic Animals. Oxford, UK, Blackwell Publishing. 2008. p. 222.

Roubach, R., Gomes, L. C., Fonseca, F. A. L., Val, A. L., 2005. Eugenol as an efficacious anaesthetic for tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier). Aquaculture Research, 36: 1056–1061.

Silva, L. L., Parodi, T. V., Reckziegel, P., Garcia, V. O., Bürger, M. E., Baldisserotto, B., Malmann, C. A., Pereira, A. M. S., Heinzmann, B. M., 2012. Essential oil of *Ocimum gratissimum* L.: anesthetic effect, mechanism of action and tolerance in silver catfish, *Rhamdia quelen*. Aquaculture 350–353, 91–97. doi: 10.1016/j.aquaculture.2012.04.012.

Sneddon, L. U., 2012. Clinical Anesthesia and Analgesia in Fish. Journal of Exotic Pet Medicine, 21: 32–43.

Svoboda, M., Kolarova, J., 1999. A survey of anaesthetics used in the fish farming. Health Protection of Fish - Proceeding of Papers. Research Institute of Fish Culture and Hydrobiology Vodňany, pp. 49–72.

Treves-Brown, K. M. Anaesthesia. In: Treves-Brown, K. M. (Ed.), Anaesthetics in Applied Fish Pharmacology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. 2000. p. 206–217.

Vilhena, C.S., do Nascimento, L.A.S., de Aguiar Andrade, E.H., da Silva, J.K.R., Hamoy, M., Torres, M.F., Barbas, L.A.L., 2019. Essential oil of *Piper divaricatum* induces a general anaesthesia-like state and loss of skeletal muscle tonus in juvenile tambaqui, *Colossoma macropomum*. Aquaculture 510, 169–175. doi: 10.1016/j.aquaculture.2019.05.057.

Walsh, C. T., Pease, B. C., 2002. The use of clove oil as an anaesthetic for the long finned eel, *Anguilla reinhardtii* (Staindachener). Aquaculture Research, 33: 627–635.

Weber, R. A., Peleteiro, J. B., García Martín, L. O., Aldegunde, M., 2009. The efficacy of 2-phenoxyethanol, metomidate, clove oil and MS-222 as anaesthetic agents in the Senegalese sole (*Solea senegalensis* Kaup, 1858). Aquaculture, 288: 147–150.

Weber III, E. S., 2011. Fish analgesia: pain, stress, fear aversion, or nociception? Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice Journal, 14: 21–32.

Yoshikawa, H., Yokoyama, Y., Ueno, S. Mitsuda, H., 1991. Electroencephalographic spectral analysis in carp, *Cyprinus carpio*, anesthetized with high concentrations of carbon dioxide. Comp. Biochem. Physiol. 98A: 437–444.

Yoshikawa, H., Kawai, F., Kanamori, M., 1994. The relationship between the EEG and brain pH in carp, *Cyprinus carpio*, subjected to environmental hypercapnia at an anesthetic level. Comparative Biochemistry and Physiology 107A: 307–312.

## Organização



Universidade Federal do  
Recôncavo da Bahia



**INSTITUTO  
FEDERAL**  
Amazonas



*AquaUFRB*



**PPGCARP**  
Programa de Pós-graduação em  
Ciência Animal e Recursos Pesqueiros



# Aquicultura na Amazônia:

Estudos Técnico-Científicos e  
Difusão de Tecnologias

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

**Atena**  
Editora

Ano 2021

## Organização



Universidade Federal do  
Recôncavo da Bahia



**INSTITUTO  
FEDERAL**  
Amazonas



*AquaUFBR*



**PPGCARP**  
Programa de Pós-graduação em  
Ciência Animal e Recursos Pesqueiros



# Aquicultura na Amazônia:

Estudos Técnico-Científicos e  
Difusão de Tecnologias

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 

**Atena**  
Editora

Ano 2021