



Perfil hemato-bioquímico do tambaqui (*Colossoma macropomum* Cuvier, 1816) comparando diferentes fases de crescimento em cultivo aquapônico

Hemato-biochemical profile of tambaqui (*Colossoma macropomum* Cuvier, 1816) comparing different growth phases in aquaponic systems

Paola Fabiana Fazzi Gomes¹ , Helen Cristiane Araújo Souza¹ , Marcela Cardoso Sena¹ , Joane Natividade Souza¹ , Marco Shizuo Owatari^{*3} , Fabio Carneiro Sterzelecki¹ , Nuno Filipe Alves Correia De Melo² , Glauber David Almeida Palheta¹ 

1 Laboratório de Biosistemas Aquáticos Amazônicos, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, Pará, Brasil.

2 Laboratório de Ecologia Aquática e Aquicultura Tropical, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, Pará, Brasil.

3 Laboratório de Sanidade de Organismos Aquáticos – AQUOS, Departamento de Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina (CCA/UFSC), Rodovia Admar Gonzaga 1346, 88040-900 Florianópolis, Brasil.

*Autor correspondente: owatarimarco@hotmail.com

Resumo: O objetivo deste estudo foi avaliar os parâmetros hemato-bioquímicos do tambaqui *Colossoma macropomum* em diferentes fases de crescimento em cultivo integrado com açaí *Euterpe oleracea*. Para isso, 240 tambaquis juvenis, com peso e comprimento médio inicial de $21,8 \pm 7,74$ g e $11,28 \pm 6,88$ cm, foram cultivados em sistema aquapônico integrado ao açaí por 180 dias. No período, 107 tambaquis saudáveis foram amostrados e categorizados em cinco fases distintas de crescimento. Em cada fase de crescimento foram coletadas alíquotas de sangue para análises. A 1ª fase avaliou peixes com peso médio de $103,1 \pm 5,27$ g; a 2ª, peixes com $823,4 \pm 42,6$ g; a 3ª, peixes com $1.087,75 \pm 16,38$ g; a 4ª, peixes com $1402,0 \pm 76,6$ g e a 5ª, peixes com $1815,0 \pm 65,1$ g. As variáveis de qualidade da água permaneceram dentro dos parâmetros aceitáveis para ambas as culturas. Eritrócitos foram significativamente diminuídos na 1ª e 2ª fase. Hemoglobina foi significativamente diminuída na 1ª fase. O hematócrito manteve-se igual a partir da 2ª fase. O VCM foi significativamente inferior nos peixes com $1815,0 \pm 65,1$ g. Os níveis de glicose plasmática foram significativamente diminuídos na 1ª e 2ª fases. Colesterol, triglicerídeos e proteínas totais foram significativamente aumentados nos peixes na 5ª fase. AST foi significativamente diminuído nos peixes na 3ª fase, comparado com a 1ª e 5ª fases. ALT foi significativamente aumentado nos peixes na 1ª fase, comparado com a 3ª, 4ª e 5ª fases. Os resultados são ferramentas importantes para avaliar a saúde e o bem-estar do tambaqui em pesquisas futuras envolvendo culturas aquapônicas.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Hematologia; Amazonas; Cultivo integrado; Glicose; Colesterol; Triglicerídeos.

Recebido: 19 de dezembro, 2023. Aceito: 23 de fevereiro, 2024. Publicado: 26 de março, 2024.

Abstract: The aim of this study was to evaluate the haemato-biochemical parameters of tambaqui *Colossoma macropomum* in different growth phases in an integrated culture with açai *Euterpe oleracea*. For this, 240 juvenile tambaqui with initial average weight and length of 21.8 ± 7.74 g and 11.28 ± 6.88 cm were cultured in an aquaponic system integrated with açai for 180 days. During the period, 108 healthy tambaquis were sampled and categorized into five distinct growth phases. At each growth phase blood aliquots were collected. The first phase being fish with an average weight of 103.1 ± 5.27 g; second phase with 823.4 ± 42.6 g; third phase with 1087.75 ± 16.38 g; fourth phase with 1402.0 ± 76.6 g and fifth phase with 1815.0 ± 65.1 g. Water quality variables remained within acceptable parameters for both cultures. Erythrocyte was significantly lower in the first and second phase. Haemoglobin was significantly lower in fish in the first phase. Haematocrit remained the same from the second phase onwards. MCV was significantly lower in fish with 1815.0 ± 65.1 g. Plasma glucose levels were significantly lower in the first and second phases. Cholesterol, triglycerides, and total proteins were significantly higher in fish of the fifth phase. AST was significantly lower in fish from the third phase when compared to fish from the first and fifth phases. ALT was significantly higher in fish from the first phase when compared to fish from the third, fourth, and fifth phases. The results are important tools for assessing the health and well-being of tambaqui in future research involving aquaponic cultures.

Keywords: Sustainability; Haematology; Amazon; Integrated cultivation; Glucose; Cholesterol; Triglycerides.

1. Introdução

As monoculturas dominaram a aquicultura global durante décadas. No entanto, os novos métodos de produção procuram uma maior sustentabilidade, integrando peixes e vegetais num modelo baseado na bioeconomia circular conhecida como aquaponia ⁽¹⁾, que pode gerar de forma sustentável alimentos de origem animal e vegetal ⁽²⁾. No Brasil, pesquisas sobre o cultivo integrado de plantas com tambaqui (*Colossoma macropomum* Cuvier, 1816) em sistemas aquapônicos ganharam destaque nos últimos anos ^(3, 4, 5).

O tambaqui *C. macropomum* é uma espécie da bacia amazônica ⁽⁶⁾ e é o peixe nativo mais produzido na piscicultura brasileira, correspondendo a 12% da produção nacional, equivalente a aproximadamente 100 mil toneladas/ano ⁽⁷⁾. O tambaqui também é encontrado na Venezuela, Colômbia, Peru e Bolívia, sendo considerado o segundo maior peixe escamoso da Amazônia, atingindo um metro de comprimento e aproximadamente 30 kg ^(6, 8, 9).

O tambaqui pode ser cultivado usando diferentes modalidades de produção ^(3, 4, 6, 10, 11), com características distintas em cada uma delas. Segundo Másílko *et al.* ⁽¹²⁾, o sistema de cultivo pode afetar as propriedades organolépticas e a composição lipídica da carne de carpa comum (*Cyprinus Carpio*). O estresse, por exemplo, afetou a qualidade da carne do salmão (*Salmo Salar*) cultivado ⁽¹³⁾. No entanto, a densidade populacional não afetou o crescimento ou a qualidade da carne da truta-arco-íris (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) criada em um sistema aquapônico de baixa tecnologia ⁽¹⁴⁾.

Segundo Daskalova ⁽¹⁵⁾, a qualidade da carne reflete o bem-estar dos peixes cultivados, pois eles podem vivenciar dor e sofrimento, indicados por alterações metabólicas. Dentre diversas métricas para diagnosticar problemas de bem-estar animal, destaca-se o hemograma completo.

As análises hematológicas podem ser utilizadas para monitorizar o estado de saúde dos peixes⁽¹⁶⁾. As análises hemato-bioquímicas passaram a ser frequentemente utilizadas para avaliar o estado sanitário dos peixes na aquicultura, permitindo uma avaliação rápida, confiável e não letal aos animais, elucidando questões nas áreas de fisiologia, toxicidade, tratamentos, biomarcadores, estresse, manuseio, vacinação, reprodução e nutrição^(17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24).

A medição de parâmetros hemato-bioquímicos no sangue de peixes pode mostrar padrões específicos e indicar a saúde e o estado fisiológico de uma determinada espécie de um habitat específico, de acordo com sua idade, hábitos alimentares, ciclo de maturação sexual e estresse⁽²⁵⁾. Padrões hematológicos foram recentemente estabelecidos para diversas espécies de peixes cultivados e selvagens^(26, 27, 28), porém, faltam dados para espécies brasileiras de interesse comercial⁽²⁹⁾, especialmente para espécies cultivadas em sistemas aquapônicos. Assim, no presente estudo, investigamos o perfil hemato-bioquímico do tambaqui *C. macropomum* em diferentes fases de crescimento no cultivo aquapônico integrado com açaí (*Euterpe oleracea* Mart, 1824).

2. Material e métodos

Todos os procedimentos que envolveram os peixes neste estudo foram realizados de acordo com os princípios éticos em experimentação animal e foram aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA, protocolo número 1457260820.

2.1 Delineamento experimental

Um total de 240 tambaquis *C. macropomum* juvenis, com peso e comprimento médio inicial de $21,8 \pm 7,74$ g e $11,28 \pm 6,88$ cm, respectivamente, foram cultivados em sistema aquapônico integrado com açaí *E. oleracea* por 180 dias. Durante este período, foram coletadas amostras de sangue durante diferentes fases de crescimento. Os pesos médios dos peixes na primeira, segunda, terceira, quarta e quinta fases foram $103,1 \pm 5,27$ g; $823,4 \pm 42,6$ g; $1.087,75 \pm 16,38$ g; $1402,0 \pm 76,6$ g e $1815,0 \pm 65,1$ g, respectivamente. As unidades experimentais foram compostas por 12 sistemas aquapônicos independentes, abrigadas em uma estufa com cobertura retilínea modelo convectiva, protegida por tela de sombreamento nas laterais. Cada sistema aquapônico era composto por um tanque circular de polietileno para peixes de 1.000 L (800 L úteis), com decantador de 70 L, biofiltro de 100 L, bomba (3.000 L h^{-1}) para recirculação de água no sistema e um canteiro de 150 L para mudas de açaí (Figura 1 e 2).

O ambiente de cultivo foi avaliado diariamente através da medição de sólidos dissolvidos totais (SDT) (AQUAREAD AP-800 Multiparameter Probe), condutividade elétrica e oxigênio dissolvido (YSI ProODO, OH, EUA, $\pm 0,01 \text{ mg L}^{-1}$), temperatura e pH (BL- 1072 - pHmetro digital portátil). Amônia ($\pm 0,03 \text{ mg L}^{-1}$)⁽³⁰⁾, nitrito (reação de Griess, utilizando metodologia APHA⁽³¹⁾, RSD 4%) e nitrato⁽³¹⁾ (RSD 1.14%), mensurados semanalmente em espectrofotômetro (KASUAKI modelo: IL-593-S) em comprimentos de onda de 630, 540, 220, e 270 nm, respectivamente. Os níveis de fósforo foram medidos baseados no fósforo total (ácido ascórbico)⁽³¹⁾.

Os peixes foram alimentados com ração comercial extrusada, oferecida de acordo com as fases de crescimento: 1ª fase = ração com 36% de proteína bruta (PB) e granulometria 3-4 mm, três vezes ao dia; 2ª e 3ª fases = alimentação 32% PB e granulometria 6-8 mm, duas vezes ao dia; 4ª e 5ª fases = alimentação 28% PB e granulometria 8-10mm, duas vezes ao dia.



Figura 1: Representação gráfica de sistemas aquapônicos independentes utilizados para cultivo integrado de tambaqui *C. macropomum* com açai *E. oleracea* por 180 dias. Cada sistema aquapônico era composto por um tanque circular de polietileno para peixes de 1.000 L (800 L úteis), com decantador de 70 L, biofiltro de 100 L, bomba (3.000 L h⁻¹) para recirculação de água no sistema e canteiro de 150 L para mudas de açai. A figura foi desenhada pelos autores utilizando o programa Microsoft® Power Point.



Figura 2: A figura destaca o tambaqui *C. macropomum* após 180 dias em sistema aquapônico pesando aproximadamente 1815 g, e detalhes do canteiro hidropônico com mudas de açai *E. oleracea*.

2.2 Coleta de sangue

Um total de 108 peixes saudáveis foram amostrados ao longo do estudo. O sangue foi coletado de peixes sem sinais externos aparentes de doença ou lesão física, incluindo lesões na pele e nadadeiras peitorais ou caudais. As amostras foram coletadas em cinco fases distintas durante um ciclo de engorda de 180 dias. Na 1ª fase foram amostrados 36 exemplares; no 2º, 12 exemplares; no 3º, 26 exemplares; na 4ª fase foram amostrados 22 corpos de prova e na 5ª fase foram amostrados 12 corpos de prova.

Para a coleta, os peixes jejuaram por 24 h. As coletas de sangue foram realizadas nas primeiras horas da manhã, entre 8h e 9h. Os animais foram anestesiados em solução com Eugenol (50 mg L⁻¹), por aproximadamente 2 minutos. Em seguida foram pesados, medidos e o sangue coletado por punção venosa caudal⁽³²⁾ utilizando seringas (3 mL) com anticoagulante EDTA a 5%. As alíquotas de sangue coletadas foram então identificadas, homogeneizadas e armazenadas em tubos Eppendorf de 2,0 mL a 4°C antes da análise laboratorial. Alíquotas de sangue (aproximadamente 50 µl por amostra) foram separadas para análise hematológica e o restante foi centrifugado (KASVI, modelo: K14-1215), a 1400g por 10 min a 4°C para obtenção de plasma sanguíneo para análise hemato-bioquímica.

2.3 Análise hematológica

Os eritrócitos foram contados em câmara de Neubauer após diluição 1:200 em solução Dacie. Para determinação da concentração de hemoglobina foi utilizada a técnica da cianometemoglobina, utilizando kit comercial da Labtest (referência nº 43-2/10). O hematócrito foi determinado pela técnica do microhematócrito⁽³³⁾, onde microcapilares de vidro de 0,5 µl foram preenchidos com 3/4 de sangue e centrifugados em microcentrífuga de hematócrito (modelo *LOGEN Scientific*: SH-120), a 3000 rpm por 30 min. Após a centrifugação, os capilares foram lidos em escala leitora de cartões de microhematócrito, com resultados expressos em porcentagem. Volume corpuscular médio (VCM), hemoglobina corpuscular média (HCM), concentração de hemoglobina corpuscular média (CHCM) foram calculados de acordo com Wintrobe⁽³⁴⁾.

2.4 Análise hemato-bioquímica

As análises hemato-bioquímicas foram realizadas utilizando kits comerciais labtest® diagnóstica, de acordo com as instruções do fabricante. A glicose (referência no 133-1/500) foi determinada pelo método *GOD-Trinder*. Colesterol (referência n.º 76-2/100) e triglicéridos (referência n.º 87-2/100) por método enzimático. Proteínas totais (referência nº 99-250) seguindo o método do biureto. As atividades de aspartato aminotransferase (AST) (referência nº 109-4/30) e alanina aminotransferase (ALT) (referência nº 108-4/30) foram medidas por métodos cinéticos em um espectrofotômetro (modelo KASUAKI: IL-593-S) no comprimento de onda indicado no kit.

2.5 Análise estatística

Foram verificadas a homocedasticidade e a normalidade dos dados. Para as variáveis paramétricas foram utilizados testes *one-way* ANOVA e *post-hoc* de Tukey para verificar

diferenças significativas ($p < 0,05$). Para resultados não paramétricos, foram utilizados os testes *post-hoc* de Kruskal-Wallis e Dunn para explorar diferenças significativas ($p < 0,05$).

3. Resultados

Durante o estudo, as variáveis de qualidade da água do sistema apresentaram os seguintes valores médios: temperatura $27,9^{\circ}\text{C} \pm 8,7$; oxigênio dissolvido $5,7 \pm 1,0 \text{ mg L}^{-1}$; pH $7,0 \pm 1,7$; amônia $1,5 \pm 1,8 \text{ mg L}^{-1}$; nitrito $0,5 \pm 0,6 \text{ mg L}^{-1}$; nitrato $18,5 \pm 13,0 \text{ mg L}^{-1}$; fosfato $6,9 \pm 0,37 \text{ mg L}^{-1}$; condutividade elétrica $340,25 \pm 8,30 \mu\text{S cm}^{-1}$ e SDT $204,6 \pm 6,61 \text{ mg L}^{-1}$.

Os parâmetros hematológicos para eritrócitos, hemoglobina, hematócrito e VCM mostraram diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as diferentes fases de crescimento do tambaqui em aquaponia. Os valores de eritrócitos foram significativamente menores ($p < 0,05$) na 1ª e 2ª fases, ou seja, quando os peixes pesavam entre $103,1 \pm 5,27$ e $823,4 \pm 42,6 \text{ g}$; enquanto peixes com peso médio de $1.815,0 \pm 65,1 \text{ g}$ (5ª fase) apresentaram maior número de eritrócitos. A hemoglobina foi significativamente menor ($p < 0,05$) no sangue dos peixes com peso médio de $103,1 \pm 5,27 \text{ g}$ (1ª fase). O hematócrito foi igual nos peixes com peso a partir de $823,4 \pm 42,6 \text{ g}$ (2ª fase), porém foi significativamente menor ($p < 0,05$) nos peixes com peso médio de $103,1 \pm 5,27 \text{ g}$ (1ª fase). O VCM foi significativamente menor ($p < 0,05$) nos peixes com peso de $1.815,0 \pm 65,1 \text{ g}$ (5ª fase). HCM e CHCM não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$) entre as fases de crescimento (Tabela 1).

Os parâmetros hemato-bioquímicos apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as diferentes fases de crescimento do tambaqui. Quando os peixes eram menores, com peso médio entre $103,1 \pm 5,27$ e $823,4 \pm 42,6 \text{ g}$ (1ª e 2ª fases), os níveis de glicose plasmática foram significativamente inferiores ($p < 0,05$) comparados às demais fases. Colesterol, triglicerídeos e proteínas totais foram significativamente maiores ($p < 0,05$) no sangue dos peixes com $1815,0 \pm 65,1 \text{ g}$ (5ª fase). AST foi significativamente menor ($p < 0,05$) no sangue dos peixes com peso de $1.087,75 \pm 16,38 \text{ g}$ (3ª fase) comparados aos peixes da 1ª e 5ª fases. ALT foram significativamente maiores no sangue dos peixes com peso médio de $103,1 \pm 5,27 \text{ g}$ (1ª fase), quando comparados aos peixes das 3ª, 4ª e 5ª fases (Tabela 1).

Tabela 1: Parâmetros hemato-bioquímicos do tambaqui (*Colossoma macropomum*) em diferentes fases de crescimento em cultivo integrado com açaí *Euterpe oleracea* em sistema aquapônico. VCM = volume corpuscular médio. HCM = hemoglobina corpuscular média. CHCM = concentração de hemoglobina corpuscular média. AST = aspartato aminotransferase. ALT = alanina aminotransferase. Os dados são apresentados como média (\pm DP). Letras diferentes são estatisticamente diferentes ($p < 0,05$). (*) Significativo.

Parâmetros	Fases de crescimento				
	103 g (1ª fase)	823 g (2ª fase)	1087 g (3ª fase)	1402 g (4ª fase)	1815 g (5ª fase)
Eritrócito ($\times 10^6 \mu\text{L}^{-1}$)*	1,3 \pm 0,3 ^c	1,5 \pm 0,3 ^c	2,0 \pm 0,5 ^b	2,0 \pm 0,4 ^b	2,4 \pm 0,3 ^a
Hemoglobina (g dL ⁻¹)*	5,7 \pm 1,8 ^b	7,6 \pm 2,3 ^{ab}	7,5 \pm 2,9 ^{ab}	9,6 \pm 1,6 ^a	9,9 \pm 1,3 ^a
Hematócrito (%)*	26,01 \pm 4,4 ^b	32,9 \pm 7,82 ^{ab}	40,7 \pm 11,6 ^a	38,0 \pm 5,0 ^a	37,4 \pm 3,8 ^a

VCM (fL)*	207,4±81,2 ^a	221,8±69,1 ^a	211,8±59,9 ^a	210,0±45,5 ^a	158,2±19,9 ^b
HCM (pg)	48,9±18,8	53,7±16,9	40,4±19,6	52,9±13,9	41,9±6,1
CHCM (g dL ⁻¹)	23,9±10,3	26,1±6,6	20,5±10,4	26,3±5,3	26,6±2,7
Glicose (mg dL ⁻¹)*	44,9±10,6 ^b	57,7±12,6 ^b	86,7±17,9 ^a	87,6±30,6 ^a	88,0±10,3 ^a
Colesterol (mg dL ⁻¹)*	66,9±20,45 ^c	117,2±15,2 ^{ab}	113,9±23,9 ^b	118,8±26,4 ^b	229±86,6 ^a
Triglicerídeo (mg dL ⁻¹)*	210,2±79,0 ^d	225,7±52,4 ^{cd}	307,2±71,4 ^{bc}	341,9±67,7 ^{ab}	602,7±357,3 ^a
Proteína total (g dL ⁻¹)*	3,2±0,53 ^b	2,6±0,24 ^c	2,9±0,5 ^{bc}	2,57±0,5 ^c	4,42±0,3 ^a
AST (UL ⁻¹)*	97,5±41,7 ^a	75,7±17,5 ^{ab}	54,84±10,6 ^b	73,36±20,7 ^{ab}	83,7±21,5 ^a
ALT (UL ⁻¹)*	60,4±31,4 ^a	32,3±17,8 ^{ab}	19,2±5,3 ^b	20,6±13,8 ^b	23,2±5,9 ^b

4. Discussão

As análises hematológicas são comumente usadas para avaliar a saúde e o bem-estar dos peixes em pesquisas aquícolas ⁽¹⁶⁾. Os parâmetros hematológicos são altamente sensíveis a vários fatores ambientais, incluindo nutrição, qualidade da água, estresse e agentes patogênicos ⁽³⁵⁾. Na presente pesquisa, fornecemos informações inéditas sobre os parâmetros hemato-bioquímicos das diferentes fases de crescimento do tambaqui em aquaponia integrada com açaí *E. oleracea*, que podem subsidiar e orientar futuras investigações. Notavelmente, os dados foram obtidos em plasma contendo EDTA, o que pode diferir dos estudos que medem a bioquímica sérica.

Os parâmetros de qualidade da água, relacionados aos diferentes sistemas de cultivo, podem causar diferenças significativas no teor de gordura e no perfil de ácidos graxos dos peixes ⁽¹²⁾, evidenciando a importância dos sistemas de produção na qualidade final dos peixes. Em conjuntos aquapônicos, como o modelo aqui apresentado, as plantas podem interferir diretamente na quantidade de compostos nitrogenados e fosfatados disponíveis na água ⁽⁵⁾, reduzindo as concentrações de amônia, nitrito, nitrato, bem como de ortofosfatos, contribuindo para melhorar saúde e qualidade dos peixes.

Nos sistemas aquapônicos, a qualidade da água é essencial para o desempenho e bem-estar dos animais e das plantas, bem como para a produção ⁽³⁶⁾. No presente estudo, as variáveis de qualidade da água temperatura, oxigênio dissolvido, pH, amônia, nitrito, nitrato, fosfato, condutividade elétrica e SDT, permaneceram dentro dos limites aceitáveis para o desenvolvimento de ambas as culturas ^(4, 37). Porém, o monitoramento constante é essencial, pois a qualidade da água pode interferir diretamente no perfil hematológico dos peixes ⁽³⁸⁾.

Svetina et al. ⁽³⁹⁾ verificaram uma acentuada variação, sazonal e dependente da idade, nas variáveis hemato-bioquímicas do sangue da carpa *C. carpio* mantida em pequenos viveiros com água de qualidade e boas condições ambientais. Os pesquisadores observaram um aumento significativo de 50% na concentração de glicose plasmática da carpa no terceiro ano, acompanhado por um aumento ainda maior (80%) na concentração lipídica total. Apesar disso, não foram observadas alterações consideráveis nas concentrações de colesterol e proteína total. Os investigadores sugeriram que as variáveis hemato-bioquímicas investigadas podem ser utilizadas para monitorar o equilíbrio metabólico e o estado de saúde dos

peixes em cultivo intensivo. Da mesma forma, os dados obtidos no presente estudo servirão de base de dados para avaliar a saúde e o estado fisiológico do tambaqui em condições de cultivo semelhantes às descritas aqui.

Comparando os parâmetros hematológicos nas diferentes fases de crescimento, a contagem total de eritrócitos apresentou tendência crescente, ou seja, aumento no número de eritrócitos à medida que o tamanho do tambaqui aumentou. A intensificação da eritropoiese devido ao aumento da atividade metabólica durante o crescimento dos peixes também foi observada por Fazio *et al.* ⁽⁴⁰⁾, Adeyemo *et al.* ⁽²⁵⁾, Svetina *et al.* ⁽³⁹⁾, Ikechukwu and Obinnava ⁽⁴¹⁾ e Arnaudov *et al.* ⁽⁴²⁾, principalmente na época de reprodução.

Da mesma forma, o conteúdo de hemoglobina aumentou com o tamanho dos peixes. Isto deveria ser esperado, uma vez que a quantidade de hemoglobina durante a homeostase se correlaciona com o número de eritrócitos circulantes. Conforme observado em outros estudos, a função da hemoglobina se adapta às alterações metabólicas e ambientais. O valor do hematócrito depende do número e tamanho dos eritrócitos e pode ser afetado por diversos fatores como o peso corporal, como observado neste estudo ⁽⁴³⁾. Vários eritrócitos imaturos em tambaquis com peso de $1.815,0 \pm 65,1$ g (quinta fase) também justificariam um menor VCM neste mesmo grupo.

Valores mais elevados de VCM nas fases iniciais da vida dos peixes podem estar relacionados com uma maior produção celular ⁽⁴⁴⁾. À medida que os peixes crescem, essas células imaturas se diferenciam, diminuindo a proporção núcleo-citoplasma e condensando a cromatina, o que, portanto, diminui o tamanho das células e o MCV ⁽⁴³⁾.

Embora Costa *et al.* ⁽⁴⁵⁾ mediram valores diferentes para os parâmetros hematológicos de juvenis de tambaqui *C. macropomum* (± 70 g), tais diferenças podem estar relacionadas ao estresse, pois os animais foram submetidos a diferentes densidades de estocagem em tanques de concreto. Por outro lado, Dias *et al.* ⁽⁴⁶⁾ encontraram valores semelhantes aos relatados no presente estudo, para eritrócitos e hematócrito, em juvenis de tambaqui (peso médio final $32,4 \pm 0,8$ g) cultivados em sistema com recirculação de água clara (RAS), indicando padrões nos resultados quando os sistemas de cultivo têm semelhanças.

Parâmetros hemato-bioquímicos podem revelar condições fisiológicas estressantes em tambaqui ⁽⁴⁷⁾. A glicose é a principal fonte de energia para muitas funções orgânicas, e os níveis sanguíneos tendem a variar de acordo com o tamanho e as necessidades metabólicas do animal, bem como diante de estressores ^(48, 49, 50). O conteúdo plasmático de colesterol encontrado na maioria dos peixes teleósteos é aproximadamente duas a seis vezes maior que o dos mamíferos. A hipercolesterolemia, embora fisiologicamente comum em muitos teleósteos e aparentemente não associada com doenças, é influenciada por fatores como idade, crescimento, sexo, dieta e nutrição ⁽⁵¹⁾. O armazenamento de reservas significativas de gordura no tambaqui parece estar relacionado à gametogênese ⁽⁵²⁾, como já descrito por Vieira ⁽⁵³⁾ para o curimatá (*Prochilodus scrofa* Steindachner, 1881), onde foram verificados os maiores níveis de lipídios sanguíneos na fase de maturação, quando ocorre intensa mobilização

lipídica para o processo de vitelogênese e espermatogênese, o que poderia explicar os achados do presente estudo.

Em geral, as proteínas plasmáticas totais constituem um sistema bioquímico muito instável, refletindo a condição do organismo e as alterações que ocorrem sob a influência de fatores autógenos e exógenos ⁽⁵⁴⁾. A proteína plasmática observada na primeira fase pode estar relacionada à dieta que continha maior percentual de proteína bruta, visto que o aumento da proteína plasmática devido ao aumento dos níveis de proteína na dieta dos peixes também foi observado por Abdel-Tawwab ⁽⁵⁵⁾ e Abdel -Tawwab et al. ⁽⁵⁶⁾. Por outro lado, a proteína plasmática observada na quinta fase pode estar relacionada à maturação sexual, um processo orientado por proteínas ⁽⁵⁷⁾.

Oliveira e Val ⁽²⁰⁾ exploraram como diversos cenários climáticos afetam o crescimento e a fisiologia do tambaqui. Eles descobriram que as mudanças climáticas afetam a fisiologia e os parâmetros hemato-bioquímicos, como glicemia, colesterol e triglicerídeos plasmáticos. Além disso, constatou-se que o tambaqui pode recuperar os parâmetros sanguíneos aos valores basais, sugerindo uma aclimação artificial às condições ambientais adversas. No presente estudo, os peixes não foram submetidos a condições estressantes, nem foram alimentados com dietas enriquecidas que pudessem eventualmente alterar os parâmetros hemato-bioquímicos. Porém, os peixes do grupo controle de Oliveira e Val (20) apresentaram resultados semelhantes aos do presente estudo, indicando que os sistemas aquapônicos oferecem boas condições de cultivo para o tambaqui.

As atividades da alanina aminotransferase (ALT) e aspartato aminotransferase (AST) no plasma sanguíneo do bagre africano (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) aumentaram significativamente após a exposição ao permanganato de potássio e foram utilizadas como indicadores de estresse ⁽⁵⁸⁾. A AST e a ALT estão presentes nas células do fígado e são libertadas no sangue após lesão hepática, tornando-as marcadores úteis para o diagnóstico e monitorização de doenças hepáticas. No entanto, ambas são transaminases, ou seja, enzimas que podem ser medidas no sangue para refletir o estado funcional do fígado ⁽⁵⁹⁾. De acordo com Chen et al. ⁽⁶⁰⁾ o fígado de peixes provenientes da aquicultura pode apresentar anormalidades causadas por desequilíbrios na formulação de dietas comerciais. Por outro lado, Zachary et al. ⁽⁶¹⁾ relatam que o fígado é responsável pela degradação metabólica dos triglicerídeos. Isso justifica a alta atividade metabólica do fígado de tambaqui neste estudo, indicando funcionamento saudável do órgão.

Alguns parâmetros hemato-bioquímicos são sensíveis às flutuações ambientais e indicam distúrbios fisiológicos antes do início dos sintomas externos; portanto, é necessário reduzir ao máximo o estresse dos peixes ⁽³⁵⁾. Nas últimas décadas, o bem-estar dos peixes durante todas as fases do cultivo tem sido priorizado tanto por questões éticas quanto comerciais, primando pela qualidade da carne. ⁽¹⁵⁾

Neste contexto, a aquaponia revela-se uma ferramenta eficaz e sustentável, pois permite a produção integrada de peixe com vegetais em sistema fechado, poupando água e reciclando nutrientes. Isso garante ciclos produtivos o ano todo e o bem-estar do tambaqui.

5. Conclusão

Este estudo mediu vários parâmetros hemato-bioquímicos durante diversas fases de crescimento em tambaqui *C. macropomum* em cultivo integrado com açaí *E. oleracea* em sistema aquapônico. Nossos dados revelaram diferenças nesses parâmetros ao longo das fases de crescimento; eles também podem variar entre espécies e tipos de cultura. Este estudo orientará trabalhos futuros na avaliação da saúde e funcionalidade do tambaqui em culturas aquapônicas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Desenvolvimento da Pós-Graduação (PDPG) Pós-Doutorado Estratégico processo nº 88887.692757/2022-00 CAPES e processo nº 88881.707373/2022-01 PDPG-Consolidação-3-4, CAPES.

Conflito de interesses

Os autores declaram que não há interesses conflitantes.

Contribuições dos autores

Paola Fabiana Fazzi-Gomes: Metodologia, investigação, curadoria de dados, redação – versão original. Helen Cristiane Araújo Souza: Investigação, metodologia. Marcela Cardoso Sena: Investigação, curadoria de dados. Joane Natividade Souza: Metodologia, investigação. Marco Shizuo Owatari: redação – versão original, redação – revisão e edição. Fabio Carneiro Sterzelecki: Captação de financiamento, conceituação, metodologia. Nuno Filipe Alves Correia Melo: Captação de financiamento, conceptualização. Glauber David Almeida Palheta: Captação de financiamento, conceituação, metodologia, validação, supervisão.

Referências

1. Martínez-Cordova LR, Emerenciano MG, Miranda-Baeza A, Pinho SM, Garibay-Valdez E, Martínez-Porchas M. Advancing toward a more integrated aquaculture with polyculture> aquaponics> biofloc technology> FLOCponics. *Aquac Int.* 2023; 31(2):1057-1076. Available in: <https://doi.org/10.1007/s10499-022-01016-0>
2. Pinho SM, Mello GLD, Fitzsimmons KM, Emerenciano MGC. Integrated production of fish (pacu *Piaractus mesopotamicus* and red tilapia *Oreochromis* sp.) with two varieties of garnish (scallion and parsley) in aquaponics system. *Aquac Int.* 2018; 26:99-112. Available in: <https://doi.org/10.1007/s10499-017-0198-y>
3. Costa JAS, Sterzelecki FC, Natividade J, Souza RJF, Carvalho TCC, Melo NFAC, Luz RK, Palheta GDA. Residue from Açaí Palm, *Euterpe oleracea*, as Substrate for Cilantro, *Coriandrum sativum*, Seedling Production in an Aquaponic System with Tambaqui, *Colossoma macropomum*. *Agriculture.* 2022; 12(10):1555. Available in: <https://doi.org/10.3390/agriculture12101555>
4. Sterzelecki FC, Jesus AMD, Jorge JLC, Tavares CM, Souza AJND, Santos MDLS, Takata R, Melo NFACD, Palheta GDA. Açaí palm, *Euterpe oleracea*, seed for aquaponic media and seedling production. *Aquac Eng.* 2022; 98:102270. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2022.102270>
5. Nascimento ETDS, Pereira Junior RF, Reis VSD, Gomes BDJF, Owatari MS, Luz RK, Melo NFAC, Santos MDLS, Palheta GDA, Sterzelecki FC. Production of Late Seedlings of Açaí (*Euterpe oleracea*) in an Aquaponic System with Tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1818). *Agriculture.* 2023; 13(8):1581. Available in: <https://doi.org/10.3390/agriculture13081581>
6. Gomes LC, Simões LN, Araújo-Lima CARM. Tambaqui (*Colossoma macropomum*). In: Baldisserotto B, Gomes LC (Eds) *Espécies nativas para piscicultura no Brasil*, UFSM, Santa Maria, 2010. p. 175-204.
7. IBGE – Brazilian Institute of Geography and Statistics. SIDRA: survey of municipal livestock. 2023. Available at <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2019>. Accessed on: August 25, 2023.
8. Morais IS, O'sullivan FLA. Biology, habitat and farming of tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1816). *Sci Amazon.* 2017; 6:81-93. Available in: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1060929>

9. Val AL, Oliveira AM. *Colossoma macropomum*—A tropical fish model for biology and aquaculture. *J Exp Zool A Ecol Integr Physiol.* 2021; 335(9-10):761-770. Available in: <https://doi.org/10.1002/jez.2536>
10. Silva TBF, Silva RRDS, Pinto FEDN, Silva-Matos RRSD, Cordeiro KV, Pereira AM, Freitas JRB, Lopes JM. Criação de tambaqui associado à hidroponia em sistema de recirculação de água. *Res Soc Dev.* 2020; 9(9):e543997543-e543997543. Available in: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7543>
11. Carneiro PCF, Moraes CARS, Nunes MUC, Maria NA, Fujimoto RY. Produção Integrada de Peixes e Vegetais em Aquaponia. 2015. p. 30 Available in: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1025991/producao-integrada-de-peixes-e-vegetais-em-aquaponia>. Accessed on: August 25, 2023.
12. Másílko J, Zajíc T, Hlaváč D. The Culture System Affects Organoleptic Properties and Lipid Composition of Common Carp (*Cyprinus Carpio* L.) Meat. *J Texture Stud.* 2015; 46(5):345-352. Available in: <https://doi.org/10.1111/jtxs.12134>
13. Sigholt T, Erikson U, Rustad T, Johansen S, Nordtvedt TS, Seland A. Handling stress and storage temperature affect meat quality of farmed raised Atlantic salmon (*Salmo salar*). *J Food Sci.* 1997; 62(4):898-905. Available in: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1997.tb15482.x>
14. Birolo M, Bordignon F, Trocino A, Fasolato L, Pascual A, Godoy S, Nicoletto C, Maucieri C, Xiccato G. Effects of stocking density on the growth and flesh quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared in a low-tech aquaponic system. *Aquaculture.* 2020; 529:735653. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735653>
15. Daskalova A. Farmed fish welfare: stress, post-mortem muscle metabolism, and stress-related meat quality changes. *Int Aquat Res.* 2019; 11(2):113-124. Available in: <https://doi.org/10.1007/s40071-019-0230-0>
16. Fazio F. Fish hematology analysis as an important tool of aquaculture: a review. *Aquaculture.* 2019; 500:237-242. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.10.030>
17. Romão S, Donatti L, Freitas MO, Teixeira J, Kusma J. Blood parameter analysis and morphological alterations as biomarkers on the health of *Hoplias malabaricus* and *Geophagus brasiliensis*. *Braz Arch Biol Technol.* 2006; 49:441-448. Available in: <https://doi.org/10.1590/S1516-89132006000400012>
18. Seriani R, França JG, Lombardi JV, Brito JM, Ranzani-Paiva MJT. Hematological changes and cytogenotoxicity in the tilapia *Oreochromis niloticus* caused by sub-chronic exposures to mercury and selenium. *Fish Physiol Biochem.* 2015; 41:311-322. Available in: <https://doi.org/10.1007/s10695-014-9984-x>
19. Bernardino MG, Silva EG, Bezerra TI, Lucena RB, Satake F. Ectoparasitologic, hematologic and histopathologic assessment of *Hoplias malabaricus* Bloch, 1794 from ponds located in Sumé municipality, state of Paraíba, Brazil. *Pesqui Vet Bras.* 2016; 36:581-586. Available in: <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2016000700003>
20. Oliveira AMD, Val AL. Effects of climate scenarios on the growth and physiology of the Amazonian fish tambaqui (*Colossoma macropomum*) (Characiformes: Serrasalminidae). *Hydrobiologia.* 2017; 789:167-178. Available in: <https://doi.org/10.1007/s10750-016-2926-0>
21. Owatari MS, Jesus GFA, Brum A, Pereira SA, Lehmann NB, Pereira UDP, Martins ML, Mouriño JLP. Syllimarin as hepatic protector and immunomodulator in Nile tilapia during *Streptococcus agalactiae* infection. *Fish Shellfish Immunol.* 2018; 82:565-572. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2018.08.061>
22. Rodrigues RA, Nunes CS, Fantini LE, Kasai RYD, Oliveira CAL, Hisano H, Campos CMD. Dietary ascorbic acid influences the intestinal morphology and hematology of hybrid sorubim catfish (*Pseudoplatystoma reticulatum* × *P. corruscans*). *Aquac Int.* 2018; 26:1-11. Available in: <https://doi.org/10.1007/s10499-017-0188-0>
23. Nunes AL, Owatari MS, Rodrigues RA, Fantini LE, Kasai RYD, Martins ML, Mouriño JLP, Campos CMD. Effects of *Bacillus subtilis* C-3102-supplemented diet on growth, non-specific immunity, intestinal morphometry and resistance of hybrid juvenile *Pseudoplatystoma* sp. challenged with *Aeromonas hydrophila*. *Aquac Int.* 2020; 28:2345-2361. Available in: <https://doi.org/10.1007/s10499-020-00586-1>
24. Owatari MS, Silva LRD, Ferreira GB, Rodhermel JCB, Andrade JIAD, Dartora A, Jatobá A. Body yield, growth performance, and haematological evaluation of Nile tilapia fed a diet supplemented with *Saccharomyces cerevisiae*. *Anim Feed Sci Technol.* 2022; 293:115453. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115453>
25. Adeyemo BT, Obande RA, Solomon SG. Haematological reference ranges of cultured *Clarias gariepinus* in the Lower Benue River Basin, Nigeria. *Comp Clin Path.* 2014; 23:361-366. Available in: <https://doi.org/10.1007/s00580->

012-1624-1

26. Fazio F, Marafioti S, Arfuso F, Piccione G, Faggio C. Comparative study of the biochemical and haematological parameters of four wild Tyrrhenian fish species. *Vet Med.* 2013; 58(11):576-581.
27. Witeska M, Lugowska K, Kondera E. Reference values of hematological parameters for juvenile *Cyprinus carpio*. *Bull Eur Assoc Fish Pathol.* 2016; 36(4):169-180.
28. Ahmed I, Reshi QM, Fazio F. The influence of the endogenous and exogenous factors on hematological parameters in different fish species: a review. *Aquac Int.* 2020; 28:869-899. Available in: <https://doi.org/10.1007/s10499-019-00501-3>
29. Tavares-Dias M, Ishikawa MM, Martins ML, Satake F, Hisano H, Pádua SB, Jerônimo GT, Sá ARS. Hematologia: ferramenta para o monitoramento do estado de saúde de peixes em cultivo. In: Saran Neto A, Mariano WSD, Sória SFP (Org.) *Tópicos especiais em saúde e criação animal*. São Carlos, SP: Pedro & João Editores, 2009. p. 43-80.
30. Bolleter WT, Bushman CJ, Tidwell PW. Spectrophotometric determination of ammonia as indophenol. *Anal Chem.* 1961; 33(4):592-594. Available in: <https://doi.org/10.1021/ac60172a034>
31. American Public Health Association (APHA). Water Pollution Control Federation. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 16th ed., American Water Works Association (AWWA): Washington, DC, USA, 1995. p. 1268.
32. Saint-Paul U. Physiological adaptation to hypoxia of a neotropical characoid fish *Colossoma macropomum*, Serrasalminidae. *Environ Biol Fishes.* 1987; 11:53-62. Available in: <https://doi.org/10.1007/BF00001845>
33. Goldenfarb PB, Bowyer FP, Hall E, Brosious E. Reproducibility in the hematology laboratory: the microhematocrit determination. *Am J Clin Pathol.* 1971; 56(1):35-39. Available in: <https://doi.org/10.1093/ajcp/56.1.35>
34. Wintrobe MM. Variations in the size and hemoglobin content of erythrocytes in the blood of various vertebrates. *Folia Haematol.* 1934; 51(32):32-49.
35. Witeska M, Kondera E, Ługowska K, Bojarski B. Hematological methods in fish—Not only for beginners. *Aquaculture.* 2022; 547:737498. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737498>
36. Yildiz HY, Robaina L, Pirhonen J, Mente E, Domínguez D, Parisi G. Fish welfare in aquaponic systems: its relation to water quality with an emphasis on feed and faeces—a review. *Water.* 2017; 9(1):13. Available in: <https://doi.org/10.3390/w9010013>
37. Pinho SM, David LH, Garcia F, Keesman KJ, Portella MC, Goddek S. South American fish species suitable for aquaponics: a review. *Aquac Int.* 2021; 29(4):1427-1449. Available in: <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00674-w>
38. Sahiti H, Bislimi K, Dalo E, Murati K. Effect of water quality in hematological and biochemical parameters in blood of common carp (*Cyprinus carpio*) in two lakes of Kosovo. *Nat Eng Sci.* 2018; 3(3):323-332. Available in: <https://doi.org/10.28978/nesciences.468987>
39. Svetina A, Matašin Ž, Tofant A, Vučemilo M, Fijan N. Haematology and some blood chemical parameters of young carp till the age of three years. *Acta Vet Hung.* 2002; 50(4):459-467. Available in: <https://doi.org/10.1556/avet.50.2002.4.8>
40. Fazio F, Ferrantelli V, Saoca C, Giangrosso G, Piccione G. Stability of haematological parameters in stored blood samples of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792). *Vet Med.* 2017; 62(7):401-405. Available in: <https://doi.org/10.17221/51/2017-VETMED>
41. Ikechukwu OA, Obinnaya CL. Haematological profile of the African lungfish, *Protopterus annectens* (Owen) of Anambra River, Nigeria. *J Am Sci.* 2010; 6(2):123-130.
42. Arnaudov A, Velcheva I, Tomova E. Changes in the erythrocytes indexes of *Carassius gibelio* (Pisces, Cyprinidae) under the influence of zinc. *Biotechnol Biotechnol Equip.* 2009; 23(sup1):167-169. Available in: <https://doi.org/10.1080/13102818.2009.10818391>
43. Seibel H, Baßmann B, Rebl A. Blood will tell: what hematological analyses can reveal about fish welfare. *Front Vet Sci.* 2021; 8:616955. Available in: <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.616955>

44. Witeska M. Erythrocytes in teleost fishes: a review. *Zool Ecol.* 2013; 23(4):275-281. Available in: <https://doi.org/10.1080/21658005.2013.846963>
45. Costa OTF, Dias LC, Malmann CSY, Ferreira CADL, Carmo IBD, Wischneski AG, Sousa RLD, Caverro BAS, Lameiras JLV, Dos-Santos MC. The effects of stocking density on the hematology, plasma protein profile and immunoglobulin production of juvenile tambaqui (*Colossoma macropomum*) farmed in Brazil. *Aquaculture.* 2019; 499:260-268. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.09.040>
46. Dias JA, Abe HA, Sousa NC, Couto MV, Cordeiro CA, Meneses JO, Cunha FS, Mouriño JLP, Martins ML, Barbas LAL, Carneiro PCF, Maria NA, Fujimoto RY. Dietary supplementation with autochthonous *Bacillus cereus* improves growth performance and survival in tambaqui *Colossoma macropomum*. *Aquac Res.* 2018; 49(9):3063-3070. Available in: <https://doi.org/10.1111/are.13767>
47. Affonso EG, Polez VLP, Corrêa CF, Mazon ADF, Araujo MRR, Moraes G, Rantin, FT. Blood parameters and metabolites in the teleost fish *Colossoma macropomum* exposed to sulfide or hypoxia. *Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol.* 2002; 133(3):375-382. Available in: [https://doi.org/10.1016/S1532-0456\(02\)00127-8](https://doi.org/10.1016/S1532-0456(02)00127-8)
48. Barton BA. Stress in fishes: a diversity of responses with particular reference to changes in circulating corticosteroids. *Integr Comp Biol.* 2002; 42(3):517-525. Available in: <https://doi.org/10.1093/icb/42.3.517>
49. López-Olmeda JF, Egea-Álvarez M, Sánchez-Vázquez FJ. Glucose tolerance in fish: is the daily feeding time important?. *Physiol Behav.* 2009; 96(4-5):631-636. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2008.12.015>
50. Polakof S, Panserat S, Soengas JL, Moon TW. Glucose metabolism in fish: a review. *J Comp Physiol B.* 2012; 182:1015-1045. Available in: <https://doi.org/10.1007/s00360-012-0658-7>
51. Larsson Å, Fänge R. Cholesterol and free fatty acids (FFA) in the blood of marine fish. *Comp Biochem Physiol B: Comp Biochem.* 1977; 57(3):191-196. Available in: [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(77\)90142-0](https://doi.org/10.1016/0305-0491(77)90142-0)
52. Villacorta-Correa MA, Saint-Paul U. Structural indexes and sexual maturity of tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818) (Characiformes: Characidae) in Central Amazon, Brazil. *Ver Bras Biol.* 1999; 59:637-652. Available in: <https://doi.org/10.1590/S0034-71081999000400013>
53. Vieira AL. Teores lipídicos do sangue do curimatá *Prochilodus scrofa* (Steindachner, 1881). *Bol Inst Pesca.* 1986; 13:101-104. Available in: https://institutodepesca.org/index.php/bip/article/view/sumario_13_101-104
54. Babalola TOO, Adebayo MA, Apata DF, Omotosho JS. Effect of dietary alternative lipid sources on haematological parameters and serum constituents of *Heterobranchus longifilis* fingerlings. *Trop Anim Health Prod.* 2009; 41:371-377. Available in: <https://doi.org/10.1007/s11250-008-9199-1>
55. Abdel-Tawwab M. Effects of dietary protein levels and rearing density on growth performance and stress response of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Int Aquat Res.* 2012; 4(1): 3. Available in: <https://doi.org/10.1186/2008-6970-4-3>
56. Abdel-Tawwab M, Ahmad MH, Khatlab YA, Shalaby AM. Effect of dietary protein level, initial body weight, and their interaction on the growth, feed utilization, and physiological alterations of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture.* 2010; 298(3-4):267-274. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.10.027>
57. Souza JSL, O'sullivan FLA. Gonadal development of tambaqui (*Colossoma macropomum*) Annals of the IX Scientific Initiation Journey of Embrapa Western Amazon, Manaus: Embrapa Western Amazon, 2012. p. 123-132. Available in: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/949685>. Accessed on August 25, 2023.
58. Ovie KS, Bemigho IR, Gbemi OM. Variations in alanine aminotransferase and aspartate aminotransferase activities in African catfish: *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) at different sublethal concentrations of potassium permanganate. *Sci Res Essays.* 2010; 5(12):1501-1505.
59. Yin F, Sun P, Tang B, Dan X, Li A. Immunological, ionic and biochemical responses in blood serum of the marine fish *Trachinotus ovatus* to poly-infection by *Cryptocaryon irritans*. *Exp Parasitol.* 2015; 154:113-117. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2015.04.010>
60. Chen C, Chao C, Bowser PR. Comparative histopathology of *Streptococcus iniae* and *Streptococcus agalactiae*-infected tilapia. *Bull Eur Assoc Fish Pathol.* 2007; 27(1):2.
61. Zachary JF, McGavin MD, McGavin MD. Bases da patologia em veterinária. Elsevier Health Sciences Brazil. 2012. p. 507.