



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS DE CHAPADINHA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**FERNANDA VIANA DOS SANTOS**

**BIOCHAR DE CASCA DE ARROZ EM DIETAS PARA ALEVINOS DE**  
**CURIMATÁ (*Prochilodus* sp.)**

**Chapadinha - MA**

**2025**

FERNANDA VIANA DOS SANTOS

**BIOCHAR DE CASCA DE ARROZ COMO ADITIVO EM DIETAS PARA  
CURIMATÁ (*Prochilodus* sp.)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, do Centro de Ciências de Chapadinha, da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Meio Ambiente e Recursos Naturais

Linha de pesquisa: Produção Agrícola e Desenvolvimento Sustentável

Orientador(a): Profa. Dra. Jane Mello Lopes

**Chapadinha - MA**

**2025**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Viana dos Santos, Fernanda.

Biochar de casca de arroz como aditivo em dietas para curimatá *Prochilodus* sp / Fernanda Viana dos Santos. - 2025.

67 f.

Orientador(a): Jane Mello Lopes.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais/ccch, Universidade Federal do Maranhão, Ufma/ccch, 2025.

1. *Prochilodus* Sp. 2. Sustentabilidade. 3. Eficiência Alimentar. 4. Saúde. 5. Nutrição de Peixes. I. Mello Lopes, Jane. II. Título.

FERNANDA VIANA DOS SANTOS

**BIOCHAR DE CASCA DE ARROZ COMO ADITIVO EM DIETAS PARA  
CURIMATÁ (*Prochilodus* sp.)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, do Centro de Ciências de Chapadinha, da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Aprovado (a) em: 29 / 09/ 2025.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof.(a) Dr.(a) Jane Mello Lopes  
CCCh/UFMA (Orientador)

---

Prof. Dr. Francinaldo Soares Silva  
CCCh/UFMA (Membro interno)

---

Prof. Dr. Marcos Antonio Delmondes Bomfim  
CCCh/UFMA (Membro externo)

## **DEDICATÓRIA**

*Dedico a Deus, princípio, meio e fim de todas as coisas!*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pois reconheço que todas as conquistas alcançadas até aqui são fruto de sua infinita misericórdia em minha vida.

À minha querida orientadora, Prof.<sup>a</sup> Dra. Jane Mello Lopes, pela dedicação, pelos conselhos, ensinamentos e pela parceria constante. Sem o seu apoio, não teria sido possível ingressar e concluir o mestrado.

Ao *Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement* (CIRAD), representado pelo Dr. Alfredo Napoli e a Prof.<sup>a</sup> Dra. Luiza Julieth Parra Serrana, pela valiosa parceria e pela doação do biochar de casca de arroz, essencial para a realização deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais- PPGCAM, assim como todos os professores e colegas de curso, em especial a Antônia Mara Nascimento Gomes, Shyrley Glenda de Sousa Viana, Janaiane Ferreira dos Santos, Janine Quadros Castro e Daniel da Silva Andrade.

Aos colegas do Grupo Pescado — Josenildes Botelho, Gildean da Silva Andrade, Milena Sousa Veiga, Mychelle da Silva Costa, Arlan Santana Figueiredo, Fátima Grazyela de Sena Dias, Luís Fernando Nascimento da Silva e Francisco Pereira Santos — pela parceria, amizade, carinho e companheirismo. Aprendi muito com cada um de vocês e jamais teria conseguido executar este trabalho sem o apoio coletivo. Estendo também meus agradecimentos aos colegas do Laboratório de Nutrição e Alimentação de Organismos Aquáticos do Maranhão- LANUMA, Carolaine Silva Martins Carvalho e Maylanne Sousa de Lima, pelo auxílio e colaboração.

Ao estimado Dr. Rafael Silva Marchão e aos prezados professores Dr. Marcos Antonio Delmondes Bomfim e Dra. Kamila Cunha de Meneses, pelas valiosas contribuições.

À minha família, meus pais Francisco das Chagas Cardoso dos Santos e Maria Viana dos Santos, e meus irmãos Caio Viana dos Santos e Cassio Viana dos Santos, pelo apoio incondicional, pela motivação e por nunca me deixarem desistir dos meus objetivos.

Às minhas amigas Luana Veras Gomes, Karina Ferreira Sousa, Núbia de Sousa da Costa, Larissa Pinheiro Alves, Cleonice Almeida, Karolyne Teixeira Vieira, Jhosylly Alves de Sousa e à minha comadre Adriana Sousa Costa, pela amizade e incentivo. Agradeço também aos padres José de Ribamar Xavier Almeida Silva e Cosme Mendonça Ferreira, pelas orientações, conselhos e palavras de motivação.

Enfim, agradeço a todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a concretização deste sonho. Sei que não teria chegado até aqui sem o apoio de cada um de vocês.

## EPÍGRAFE

***“Em tudo, confiai na Divina Providência”***  
***(Santa Margarida d’Youville)***

## RESUMO

O biochar, ou biocarvão, é um material obtido a partir da pirólise de resíduos agrícolas, como casca de arroz e bagaço de cana-de-açúcar. Nos últimos anos, tem se destacado como aditivo alimentar em dietas animais, com potencial para melhorar o ganho de peso, otimizar parâmetros fisiológicos e promover o bem-estar. Objetivou-se avaliar os efeitos da inclusão de biochar de casca de arroz em dietas para curimatás (*Prochilodus* sp.). Para isso, 200 alevinos foram distribuídos em caixas experimentais (10 indivíduos/unidade), mantidas em sistema aberto com aeração constante e limpeza diária, sendo submetidos a dietas com 0, 1, 2, 3 e 4% de biochar, por 70 dias. Ao final do experimento, foram avaliadas variáveis de desempenho, eficiência alimentar, sanguíneas e hepática de quatro animais por repetição. A análise de componentes principais (ACP) evidenciou que o primeiro componente esteve associado a variáveis sanguíneas (triglicerídeos, colesterol, albumina, glicose, CHCM, HCM, VCM, hemoglobina, hematócrito e eritrócitos), ao IHS e a parâmetros de desempenho (consumo de ração e fator de condição). Já o segundo componente foi explicado, em maior parte, por variáveis zootécnicas (consumo de ração, ganho de peso, taxa de crescimento específico e peso final aos 30 e 70 dias). A estatística univariada indicou que a inclusão do biochar reduziu progressivamente o consumo de ração aos 30 e 70 dias. Entre as variáveis bioquímicas, a inclusão do biochar elevou a glicose sanguínea. No perfil hematológico, dietas com 4% de biochar aumentaram significativamente hematócrito e hemoglobina, enquanto HCM e CHCM apresentaram elevação a partir de 2%. Em síntese, o biochar de casca de arroz atuou primariamente como um modulador fisiológico. Seus efeitos mais pronunciados foram a elevação da glicose, hematócrito, hemoglobina, HCM e CHCM, e a redução do consumo de ração, sem impactar significativamente o peso final dos peixes. Conclui-se, portanto, que sua ação concentra-se na resposta metabólica e sanguínea, e não na promoção direta do crescimento.

**Palavras-chave:** *Prochilodus* sp., sustentabilidade, eficiência alimentar, saúde, nutrição de peixes.

## ABSTRACT

Biochar, or biocharcoal, is a material obtained from the pyrolysis of agricultural waste, such as rice husks and sugarcane bagasse. In recent years, it has stood out as a food additive in animal diets, with the potential to improve weight gain, optimize physiological parameters, and promote well-being. The objective was to evaluate the effects of including rice husk biochar in diets for curimatás (*Prochilodus* sp.). For this purpose, 200 fingerlings were distributed in experimental boxes (10 individuals/unit), kept in an open system with constant aeration and daily cleaning, and fed diets with 0, 1, 2, 3, and 4% biochar for 70 days. At the end of the experiment, performance, feed efficiency, blood, and liver variables were evaluated for four animals per repetition. Principal component analysis (PCA) showed that the first component was associated with blood variables (triglycerides, cholesterol, albumin, glucose, CHCM, HCM, VCM, hemoglobin, hematocrit, and erythrocytes), IHS, and performance parameters (feed intake and condition factor). The second component was explained, for the most part, by

zootechnical variables (feed intake, weight gain, specific growth rate, and final weight at 30 and 70 days). Univariate statistics indicated that the inclusion of biochar progressively reduced feed intake at 30 and 70 days. Among the biochemical variables, the inclusion of biochar increased blood glucose. In the hematological profile, diets with 4% biochar significantly increased hematocrit and hemoglobin, while HCM and CHCM increased from 2%. In conclusion, rice husk biochar functioned primarily as a physiological modulator. Its most significant effects included increased glucose levels, improved hematological parameters (hematocrit, hemoglobin, HCM, and CHCM), and reduced feed intake, with no significant impact on the final body weight of the fish. Thus, its effect is focused on enhancing metabolic and blood responses, rather than directly promoting growth.

**Keywords:** *Prochilodus* sp., sustainability, feed efficiency, health, fish nutrition.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### CAPÍTULO II

- Figura 1.** Biplot das variáveis analisadas, incluindo o peso inicial (PI), ganho de peso (GP30 e GP70), peso final (PF30 e PF70), taxa de crescimento específico (TCE30 e TCE70), índice viscerossomático (IVS), fator de condição (FC30 e FC70), consumo de ração (CR30 e CR70), índice hepatossomático (IHS), rendimento de carcaça (RC), contagem de eritrócitos (Et), glicose (GLI), hematócrito (Ht), hemoglobina (Hb), albumina (ALB), hemoglobina corpuscular média (HCM), concentração de hemoglobina corpuscular média (CHCM), colesterol (COL), triglicerídeos (TRIG) e proteínas totais (PT).....4
- 1

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO II

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1. Composição percentual e nutricional das dietas experimentais com diferentes níveis de inclusão de biochar de casca de arroz para <i>Prochilodus</i> sp., avaliada por 70 dias.....                                                                                                                                                             | 36 |
| Tabela 2. Autovalores e variância explicada dos componentes principais (CP1 e CP2) das variáveis analisadas. Valores significativos destacados em negrito. ....                                                                                                                                                                                          | 42 |
| Tabela 3. Desempenho produtivo de <i>Prochilodus</i> sp. alimentados com dietas contendo biochar durante 30 e 70 dias. PI: peso inicial; PF: peso final; GP: ganho de peso; TCE: taxa de crescimento específico; FC: fator de condição; CR: consumo de ração; IHS: índice hepatossomático; IVS: índice viscerossomático; RC: rendimento de carcaça)..... | 44 |
| Tabela 4. Parâmetros hematológicos de <i>Prochilodus</i> sp. alimentados com diferentes níveis de biochar durante 70 dias.....                                                                                                                                                                                                                           | 45 |
| Tabela 5. Parâmetros bioquímicos séricos de <i>Prochilodus</i> sp. alimentados com diferentes níveis de biochar durante 70 dias.....                                                                                                                                                                                                                     | 46 |

## LISTA DE SIGLAS

ACP- Análise de componentes principais

ALB- albumina

BCA- Biochar de casca de arroz

CHCM- Concentração de hemoglobina corpuscular média

CIRAD- *Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement*

COL- colesterol

CP1- Primeiro componente principal

CP2- Segundo componente principal

CR- Consumo de ração

CR 30- Consumo de ração 30 dias

CR 70- Consumo de ração 70 dias

EDTA- Ácido Etilenodiaminotetracético

ET- eritrócito

FC- Fator de condição

FC 30- Fator de condição 30 dias

FC 70- Fator de condição 70 dias

GLI- glicose

GP- ganho de peso

GP 30- ganho de peso 30 dias

GP 70- ganho de peso 70 dias

Hb- hemoglobina

HCM- hemoglobina corpuscular média

Ht- hematócrito

IHS- Índice hepatossomático

IVS- Índice viscerossomático

LANUMA- Laboratório de Nutrição e Alimentação de Organismos Aquáticos do  
Maranhão

PF30- Peso final de 30 dias

PF70- Peso final de 70 dias

PI- Peso inicial

PT- Proteínas Totais

RC- Rendimento de carcaça

TCE- Taxa de crescimento específico

TCE 30- Taxa de crescimento específico 30 dias

TCE 70- Taxa de crescimento específico 70 dias

TRIG- triglicerídeos

VCM- Volume corpuscular médio

## SUMÁRIO

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| 1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....                   | 17 |
| 1.1 Aquicultura .....                            | 17 |
| 1.2 Aditivos Alimentares .....                   | 18 |
| 1.3 Biochar .....                                | 20 |
| 1.4 Parâmetros bioquímicos e hematológicos ..... | 23 |
| 1.5 Curimatá .....                               | 25 |
| 2. OBJETIVOS .....                               | 26 |
| 2.1 Geral .....                                  | 26 |
| 2.2 Específicos .....                            | 26 |
| 3. HIPÓTESE .....                                | 26 |
| REFERÊNCIAS .....                                | 26 |
| CAPÍTULO II .....                                | 33 |
| 1. Introdução .....                              | 35 |
| 2. Material e Métodos .....                      | 36 |
| 2.1 Animais e condições de cultivo .....         | 36 |
| 2.2 Origem e produção do Biochar .....           | 37 |
| 2.3 Dietas e planejamento experimental .....     | 37 |
| 2.4 Análises de água .....                       | 39 |
| 2.5 Parâmetros de desempenho .....               | 39 |
| 2.6 Coleta das amostras de sangue .....          | 40 |
| 2.7 Parâmetros bioquímicos .....                 | 40 |
| 2.8 Parâmetros Hematológicos .....               | 41 |
| 2.9 Análise Estatística .....                    | 42 |
| 3. Resultados .....                              | 42 |
| 4. Discussão .....                               | 49 |

|                    |    |
|--------------------|----|
| 5. Conclusão ..... | 58 |
| Referências .....  | 58 |
| ANEXOS .....       | 61 |

## **1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **1.1 Aquicultura**

A aquicultura é uma atividade voltada para a produção de organismos aquáticos. Caracteriza-se por um investimento inicial relativamente baixo e elevada produtividade, desempenhando papel crucial na ampliação da segurança alimentar global (Siqueira, 2018). Trata-se de uma das áreas de maior crescimento no mundo no que se refere à produção de alimentos proteicos (Dias et al., 2015; Andreghetto et al., 2020; Khalid et al., 2022). Em escala global, a aquicultura gera uma quantidade de biomassa de peixes superior à da pesca extrativista, e incluindo espécies não comestíveis, e sua produção total de biomassa chegou a superar a da carne bovina (Boyd et al., 2020).

A expansão desse setor é de extrema importância no combate à erradicação da fome e no auxílio da crescente demanda mundial por alimentos (Khalid et al., 2024). Esta atividade emerge como a alternativa mais viável para aumentar a disponibilidade de pescado (Oliveira et al., 2022). É importante destacar também, que a pesca comercial vem perdendo espaço ao longo dos anos, isso se deve, em grande parte, à poluição dos ambientes aquáticos, que compromete a qualidade dos produtos provenientes da atividade pesqueira, sem contar que esta prática contribui significativamente para a redução da diversidade ecológica das espécies de peixes (Turlybek et al., 2025). A aquicultura é, portanto, uma atividade fundamental para a segurança alimentar e para movimentar a economia local, além de contribuir com uma alimentação saudável, o que torna este tipo de produção vantajoso, tanto para países de baixa como alta renda (Bohnes et al., 2022).

A demanda mundial por peixes e demais produtos pesqueiros, tem revelado um crescimento substancial nas últimas décadas, impulsionada por diversos fatores, como o aumento populacional, o desenvolvimento econômico e social, além das mudanças nos hábitos alimentares da população, que busca produtos com perfis nutricionais de alta qualidade (Oliveira et al., 2022). O peixe é a proteína animal mais acessível e que pode atender as necessidades nutricionais básicas da população (Kara et al., 2024). A carne do peixe possui altos teores de nutrientes, como cálcio, vitamina A, ferro e zinco, que contribuem para a prevenção de carências nutricionais e auxiliam no tratamento de diversas enfermidades (Khalid et al., 2022). Os peixes contêm quase 20% de proteína e vitaminas e são uma importante fonte de ácidos graxos ômega-3 (Turlybek et al., 2025).

O Brasil detém um vasto potencial para a criação de peixes, beneficiado pela abundância de água doce e pela crescente demanda por pescado, tanto no mercado interno quanto no externo. Isso posiciona a piscicultura como uma atividade de destaque na aquicultura brasileira (Barros et al., 2017; Oliveira et al., 2022).

A produção de peixes para a alimentação humana remonta a milênios e se apresenta como uma solução para diversas problemáticas sociais, ao possibilitar o acesso a proteína animal para milhares de pessoas e gerar renda para os produtores rurais (Viana et al., 2022; Garlock et al., 2024). O aumento da demanda por esse tipo de alimento tem impulsionado o consumo de pescado e seus derivados, com produção estimada de 178 milhões de toneladas em 2020, das quais aproximadamente 89% foram destinados ao consumo humano (Storck et al., 2023).

Pires et al. (2025) destacam que a produção de organismos aquáticos, principalmente a piscicultura, apresentou crescimento médio de 3,2% ao ano entre 1950 e 2022. Para sustentar níveis elevados de produção na aquicultura, é fundamental garantir o fornecimento de rações de alta qualidade e a adoção de sistemas de produção inovadores e sustentáveis, capazes de otimizar a produtividade e ao mesmo tempo, minimizar os impactos ambientais (Amjad et al., 2025). Essa abordagem é indispensável para reduzir os efeitos poluentes da atividade aquícola e assegurar sua sustentabilidade a longo prazo (Dauda et al., 2019). Diante desse cenário, torna-se essencial intensificar a produção aquícola, como forma de suprir a crescente lacuna entre oferta e demanda (Ahmed; Ahmad, 2020).

## **1.2 Aditivos Alimentares**

Os padrões alimentares e as dietas dos peixes exercem um impacto direto sobre o comportamento, a integridade estrutural, a saúde e as funções fisiológicas dos animais, além de influenciarem as condições ambientais nos sistemas de produção (Silva; Galício, 2012). Neste contexto, os usos de aditivos alimentares têm ganhado relevância na piscicultura pelos seus benefícios, como o aumento da produtividade, a melhoria da digestibilidade e a redução da mortalidade. Quando provenientes de fontes naturais, esses aditivos representam uma alternativa promissora para o desenvolvimento de uma aquicultura mais sustentável (Hernandez-Contreras et al., 2023).

A Instrução Normativa nº 13, de 30 de novembro de 2004, publicada no Diário Oficial da União, regulamenta o uso desses compostos na alimentação animal e os classifica conforme suas funções e propriedades. Entre eles, destacam-se os aditivos zootécnicos, definidos como substâncias capazes de melhorar o desempenho dos animais (Silva; Galício, 2012). Nos últimos anos, o uso de aditivos tornou-se cada vez mais comum na formulação de rações para peixes (Oz, 2019). De modo geral, esses compostos são adicionados em pequenas quantidades com a finalidade de conservar ou melhorar as características das dietas, sem possuírem valor nutritivo direto (Yadav et al., 2021).

Além de preservar as propriedades nutricionais e facilitar processos como a dispersão dos ingredientes e a peletização, os aditivos também contribuem para a segurança alimentar, aprimoram o sabor, otimizam o desempenho e a saúde dos organismos aquáticos e influenciam positivamente a qualidade do produto final (Aderolu; Lawal; Adesola, 2015; Yadav et al., 2021). Assim, seu principal objetivo é promover um crescimento mais eficiente e saudável, resultando em maior produtividade.

Pesquisas das últimas décadas possibilitaram o desenvolvimento de uma ampla variedade de aditivos aplicáveis na aquicultura, embora sua regulamentação esteja mais consolidada em espécies de cultivo terrestre (Hernandez-Contreras et al., 2023). Entre os principais destacam-se os próbióticos e prebióticos, enzimas, vitaminas, aminoácidos, ácidos graxos, minerais e compostos funcionais de origem vegetal, bacteriana, fúngica, algal e animal (Hernandez-Contreras et al., 2023). Neste sentido, aditivos naturais têm recebido atenção especial, como os fitogênicos, em particular os óleos essenciais, que apresentam compostos ativos, (polifenóis, alcalóides, quinonas, terpenoides, lectinas e polipeptídeos) que apresentam efeitos positivos comprovados (Campagnolo et al., 2013). Além disso, plantas medicinais também têm sido testadas como aditivos em peixes, promovendo maior crescimento e reduzindo a ocorrência de doenças por meio da regulação de patógenos no trato gastrointestinal (Campagnolo et al., 2013; Ongukalu, 2019).

Mais recentemente, surge o biochar como um potencial aditivo. Trata-se de um material orgânico incorporado à aquicultura com potencial para contribuir ao desenvolvimento de rações mais sustentáveis (Khalid et al., 2024).

### 1.3 Biochar

O biochar é um carvão vegetal produzido a partir de fontes orgânicas ricas em carbono (Khalid et al., 2022). Sua produção ocorre sob baixas concentrações de oxigênio, por meio de um processo denominado pirólise. Nesse processo, a matéria prima orgânica é decomposta pelo calor pelo calor. A pirólise é considerada uma tecnologia inovadora e sustentável, uma vez que não envolve a queima do material, evitando assim a produção de substâncias nocivas ao meio ambiente (Pereira; Nascimento; Silva, 2022).

Nos últimos anos, intensificaram-se as pesquisas para otimizar a produção do biochar, com foco na análise de parâmetros de pirólise, como temperatura e taxa de aquecimento, bem como na investigação. Além disso, tem se buscado investigar também o uso de diferentes matérias-primas e de sua influência na qualidade final do produto (Pandão et al., 2023).

O biochar possui a capacidade de se ligar a várias moléculas, pois contém uma rede complexa de poros, com isso apresenta uma grande capacidade de adsorver substâncias (Quaiyuam et al., 2014). Um outro benefício do biochar é o reaproveitamento de resíduos orgânicos (Conz; Abbruzinni; Cerri, 2015), pois este produto pode ser produzido a partir de matérias-primas como: lodo de esgoto, palha de soja, cascas de arroz e amendoim (Khan et al., 2015). Com isso, materiais orgânicos que seriam descartados no ambiente liberando CO<sub>2</sub> e outros gases nocivos são reaproveitados, transformando-se em biocarvão (Mangrich; Maia; Novotny, 2011). Amjad et al. (2025) ressaltam que é um grande desafio ambiental gerenciar os resíduos agrícolas de forma eficaz e sustentável e que uma alternativa para mitigar esse problema, evitando a queima destes resíduos a céu aberto é a produção do biochar.

A casca de arroz é um dos principais resíduos utilizados na produção do biochar (Pereira-Júnior et al., 2021). Seu aproveitamento representa uma alternativa ambientalmente adequada, uma vez que seu descarte direto no ambiente pode causar impactos significativos devido à sua lenta decomposição, que pode levar até cinco anos. Dessa forma, a conversão desse resíduo em biochar configura uma estratégia sustentável, com potencial para aplicação em dietas animais como aditivo funcional (Pereira-Júnior et al., 2021).

O carvão ativado com alto teor de carbono destaca-se por seu excelente

desempenho como material adsorvente, sendo a casca de arroz uma das fontes mais promissoras para sua produção (Firdus et al., 2021). O biochar derivado dessa matéria prima pode apresentar entre 85% e 95% de carbono em sua composição e possui um valor de iodo de 527,8 mg/g, o que reflete sua alta capacidade de adsorção (Firdus et al., 2021).

A casca de arroz é composta por 13% de cinzas, 34% a 44% de celulose e 23% a 30% de lignina, de uma maneira geral, maiores teores de hemicelulose, celulose e lignina estão correlacionados com um rendimento superior e melhor qualidade do carvão ativado produzido (Firdus et al., 2021). A casca de arroz carbonizada torna-se um produto muito leve com uma estrutura microporosa e uma densidade aparente de cerca de 0,150 g cm<sup>-3</sup> (Milla et al., 2013).

As propriedades do biochar são influenciadas pela matéria-prima utilizada em sua fabricação e pela temperatura de aquecimento. No caso da casca de arroz, devido à sua maior concentração de sílica, o biochar tende a apresentar maior resistência à degradação (Rakajumar; Sankar, 2016; Rui et al., 2016). A casca de arroz tem sido empregada como componente de substratos no meio agrícola, muitas vezes combinada com outros materiais, como fibra de coco e casca de pinus, com o objetivo de aumentar a porosidade do substrato, dado a sua baixa densidade (Kratz; Wendling, 2016). Este produto é capaz de aumentar a disponibilidade de água no solo e melhorar a ciclagem de macronutrientes (Castracani et al., 2015; Marcelino; Andrade; Loss, 2020).

Além disso, o biochar derivado da casca de arroz também foi investigado quanto à sua capacidade de absorver poluentes em ambientes contaminados. Chatzimichailidou et al. (2023) observaram que o biochar proveniente da casca de arroz demonstra uma grande eficácia em reter substâncias nocivas presentes em águas poluídas, como o arsênio, cuja concentração elevada pode tornar-se tóxica para os organismos vivos.

De acordo com Man et al. (2021), a utilização do biochar de casca de arroz como aditivo em rações, pode potencializar o crescimento de bovinos, suínos e frangos.

Ademais, o biochar é amplamente utilizado em pesquisas relacionadas a remediação do solo. Suas aplicações incluem a remoção de poluentes e metais pesados, a reparação de solos contaminados, e o aprimoramento da capacidade de retenção hídrica. Alterações na biota do solo decorrentes de sua aplicação também resultam num melhor fornecimento de nutrientes (Man et al., 2021).

A estrutura altamente permeável do biochar pode também oferecer ambientes para microorganismos intestinais como *Archea metanogênicas*, ajudando a reduzir as emissões de gases de efeito estufa ao diminuir a produção de metano por gado bovino e caprino (Man et al., 2021). Nair et al. (2023) ressaltam os benefícios do uso do biochar como aditivo alimentar na dieta dos animais, de acordo com os referidos autores, este produto auxilia no crescimento animal, nos perfis hematológicos e na produção de carne, leite e ovos.

Kara et al. (2024) relatam que o biochar também é utilizado para remédios no tratamento de distúrbios digestivos em humanos e animais, tradicionalmente, os fazendeiros combinavam carvão vegetal com ervas medicinais, óleos naturais e argilas para tratar diversos desconfortos internos.

Outra finalidade do biochar é sua utilização como aditivo alimentar na fabricação de ração animal, em peixes este produto trouxe resultados benéficos como aumento das vilosidades intestinais, maior taxa de crescimento e ganho de peso, além de absorção de substâncias como amônia e nitrogênio, melhorando a qualidade da água (Quaiyum et al., 2014). Além disso, possui a capacidade de neutralizar ou eliminar toxinas produzidas por diversos microrganismos, auxilia também na melhoria da função intestinal ao remover impurezas e substâncias tóxicas do trato gastrointestinal de animais terrestres (Aderolw; Lawal; Adesola, 2015).

A suplementação de rações aquícolas com o biochar apresenta potencial promissor para aprimorar a qualidade do alimento e a eficiência de seu aproveitamento. Esses benefícios resultam em melhores taxas de crescimento, na saúde dos organismos cultivados e no favorecimento do consumo de ração e da absorção dos nutrientes (Amjad et al., 2025). Para os produtores, essa abordagem inovadora contribui significativamente para o aumento da sustentabilidade e da eficiência produtiva na aquicultura, além de reduzir os impactos ambientais do setor.

Além disso, o biochar oferece oportunidades para a gestão de resíduos, transformando materiais orgânicos descartáveis em um produto de valor. Ao explorar seu potencial, é possível enfrentar problemas ambientais relevantes, incentivar práticas sustentáveis e contribuir para a construção de um futuro mais ecológico (Pandão et al., 2023).

#### **1.4 Parâmetros bioquímicos e hematológicos**

Devido à expansão da aquicultura, torna-se cada vez mais evidente a necessidade de ferramentas eficazes para monitorar a saúde dos peixes. A adoção de técnicas padronizadas e de baixo custo para esse monitoramento é essencial para garantir o crescimento sustentável da atividade pesqueira (Dal'Bó et al., 2015). No entanto, segundo Ahmed; Reshi e Fazio (2020), diferentemente de outros vertebrados, ainda há uma carência significativa de informações sobre estudos sanguíneos em peixes. Essa carência é agravada por um declínio na produção científica nacional na área. Como demonstrado recentemente por Ranzani-Paiva; Tavares-Dias, (2024), a quantidade de publicações brasileiras relacionadas à hematologia de peixes registrou uma acentuada queda, reduzindo de uma taxa de crescimento de 10,2% em 2012 para apenas 4,3% em 2020. De acordo com os autores, a queda nas publicações não foi porque a hematologia de peixes é um campo “muito específico” e, portanto, negligenciado. Pelo contrário, trata-se de uma área de alta relevância para a piscicultura. A redução deveu-se, sobretudo, ao fato do sistema nacional de ciência e tecnologia como um todo ter sido severamente debilitado por cortes orçamentários crônicos - um problema estrutural que foi drasticamente agravado pela pandemia de COVID-19 a partir de 2020. Em um contexto de recursos extremamente limitados, a pesquisa básica e de longo prazo (como a hematologia) costuma ser uma das primeiras a ser paralisada, não por falta de importância, mas pela pressão por resultados de aplicação imediata e pela maior vulnerabilidade à escassez de financiamentos (Mugnaini et al, 2021).

De acordo com Witeska et al. (2022), as análises hematológicas em peixes são majoritariamente manuais devido às suas células sanguíneas nucleadas, sendo uma ferramenta acessível e de baixo custo. O sangue é um sensível indicador fisiológico, refletindo alterações metabólicas causadas por manejo, dietas e condições ambientais (Santos; Tavares-Dias, 2010; Coskun; Aydm; Duman, 2016). Por isso, os parâmetros sanguíneos são reconhecidos como essenciais para avaliar respostas ao estresse e o bem-estar dos peixes (Nabi; Ahmed; Wani, 2022).

Essas análises são valiosas para diagnosticar o estado de saúde, avaliar o desempenho e monitorar a qualidade de ecossistemas aquáticos (Ahmed; Reshi; Fazio, 2020; Ahmed; Sheikh, 2020; Fazio et al., 2021). No Brasil, cerca de 29% das pesquisas

em hematologia de peixes focam em nutrição, utilizando parâmetros sanguíneos para avaliar dietas experimentais (Ranzani-Paiva; Tavares-Dias, 2024). Além disso, parâmetros bioquímicos podem atuar como biomarcadores de toxicidade (Bojarski; Witeska; Kondera, 2025). Tais parâmetros variam conforme a idade, espécie, temperatura e estado nutricional, entre outros fatores (Ahmed; Reshi; Fazio, 2020).

As análises hematológicas em peixes consistem na contagem das células sanguíneas e na avaliação de parâmetros bioquímicos plasmáticos, como níveis de glicose, proteína e colesterol. Esses exames fornecem indicadores cruciais sobre a saúde e o estado fisiológico dos animais (Witeska, et al., 2022).

Em sistemas de aquicultura intensiva, os peixes estão sujeitos a diversos fatores estressantes que podem afetar seu crescimento e bem-estar. Nesse contexto, a compreensão das alterações sanguíneas é fundamental para melhorar o desempenho produtivo e adotar práticas de manejo mais adequadas (Nabi; Ahmed; Wani, 2022). Parâmetros como contagem de eritrócitos, por exemplo, são indicadores primários de respostas a mudanças ambientais, auxiliando no diagnóstico de anemias e na avaliação da demanda de oxigênio (Sheikh et al, 2022). Ademais, a hematologia é amplamente utilizada para monitorar a eficácia de medicamentos, detectar infecções e avaliar a toxicidade ambiental.

Apesar de ser um método prático e confiável (Reshi et al. 2023), a interpretação dos dados hematológicos enfrenta desafios. A principal dificuldade é a escassez de faixas de referências confiáveis para a maioria das espécies em condições normais (Ahmed; Sheikh, 2020; Reshi et al., 2023). Essa limitação, contudo, representa uma oportunidade para expandir os estudos na área (Ranzani-Paiva; Tavares-Dias, 2024). Outros fatores que interferem na análise incluem variáveis internas e externas aos peixes, bem como procedimentos técnicos relacionados à coleta, transporte e processamento das amostras (Ahmed; Sheikh, 2020)

Nos últimos anos, um número restrito de parâmetros hematológicos foi estabelecido para algumas espécies de teleósteos, embora esses dados frequentemente apresentem grande variação (Kulkarni; Bedjargi, 2016). Segundo os autores, essa inconsistência decorre em parte da ausência de métodos padronizados para a coleta e análise sanguínea. O interesse por estudos hematológicos em peixes tem crescido, impulsionado pela expansão da piscicultura e pela maior atenção aos níveis de poluição

nos ecossistemas aquáticos. Nesse contexto, alterações nos valores hematológicos de referência podem ser úteis tanto para o diagnóstico de doenças quanto para a adoção de medidas preventivas (Kulkarni; Bedjargi, 2016). Ademais, os parâmetros sanguíneos não apenas fornecem informações relevantes sobre o estado de saúde dos peixes, como também auxiliam na compreensão da sua fisiologia, relações evolutivas, hábitos alimentares e diversos aspectos ecológicos, tanto em populações naturais quanto em cultivo (Ranzani-Paiva; Tavares-Dias, 2024).

### 1.5 Curimatá

A curimatá (*Prochilodus* sp.), é uma espécie de ampla distribuição na América do Sul, de hábito detritívoro, que se destaca por sua alta capacidade de reprodução e elevada resistência. Por ser um peixe detritívoro, desempenha um papel crucial na ciclagem de nutrientes provenientes da matéria orgânica em decomposição. As espécies deste gênero consomem grandes volumes de matéria orgânica, já em estados avançados de decomposição, além de microrganismos presentes no fundo ou aderidos a superfícies verticais (Araújo et al., 2020). Além desta característica alimentar, destaca-se por outros benefícios, como a excelente aceitação de sua carne e seu rápido crescimento (Pereira et al., 2009; Gonçalves et al., 2010; Pessoa; Schulz, 2010).

O gênero *Prochilodus* é reconhecido como um dos mais importantes na pesca artesanal no Brasil (Araújo et al., 2020). Com base nessa constatação, as principais espécies desse grupo possuem significativa relevância socioeconômica para as comunidades ribeirinhas, que dependem tanto da sua captura extrativista quanto da criação em cativeiro para subsistência e geração de renda (Araújo et al., 2020).

As espécies deste gênero são umas das espécies nativas mais utilizadas em programas de repovoamento e estocagem (Saraiva; Pompeu, 2016). Além disso, é utilizado em iniciativas de incubação no Brasil, servindo como fonte de alimento vivo para espécies piscívoras, principalmente devido à sua fácil adaptação e manejo em piscicultura (Saraiva; Pompeu, 2016). A criação desta espécie em cativeiro tem se mostrado relevante do ponto de vista comercial, isso deve-se à eficácia reprodutiva da curimatá obtida com o uso de hormônios (Pires et al., 2025).

O curimatá é uma espécie de expressiva importância econômica e social, tanto

para pescadores profissionais, quanto para os esportivos. Além disso, em 2022, sua produção em cativeiro no Brasil foi de cerca de 3,2 mil toneladas (Pires et al., 2025).

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Geral

✓ Investigar os efeitos do biochar de casca de arroz como aditivo alimentar na dieta de curimatás, por meio da avaliação de parâmetros de desempenho produtivo, bioquímicos e hematológicos.

### 2.2 Específicos

- ✓ Avaliar o desempenho zootécnico de curimatás alimentados com dietas contendo diferentes concentrações de biochar;
- ✓ Investigar alterações nos parâmetros bioquímicos de curimatás; alimentados com dietas com diferentes concentrações de biochar;
- ✓ Analisar modificações nos parâmetros hematológicos de curimatás alimentados com dietas contendo diferentes concentrações de biochar.

## 3. HIPÓTESE

A inclusão do biochar nas dietas de curimatás promove alterações no desempenho zootécnico, bem como nos parâmetros bioquímicos e hematológicos dos peixes, de maneira dependente da concentração utilizada.

## REFERÊNCIAS

ADEROLU, A. Z.; LAWAL, M. O.; ADESOLA, T. T. Effects of graded activated charcoal in rice husk diets for mud catfish, *Clarias gariepinus* juveniles (Teleostei: Clariidae). **Iran. J. Ichthyol**, v. 3 n. 3 p. 203-209, 2016.

AHMED, I.; AHMAD, I. Effect of dietary protein levels on growth performance, hematological profile and biochemical composition of fingerlings rainbow trout,

Oncorhynchus mykiss reared in Indian himalayan region. **Aquaculture Reports** 16 100268, 2020.

AHMED, I.; RESHI, Q. M.; FAZIO, F. The influence of the endogenous and exogenous factors on hematological parameters in different fish species: a review. **Aquaculture International**, 28:869–899, 2020.

AHMED, I.; SHEIKH, Z. A. Comparative study of hematological parameters of snow trout *Schizopyge plagiostomus* and *Schizopyge niger* inhabiting two different habitats. **The European Zoological Journal**, 12–19 v. 87, n. 1, 2020.

AMJAD, M.; HUSSAIN, S. M.; ALI, S.; RIZWAN, M.; AHMAD, A.; YONG, J.W.H. Agro-Waste Biochar Conversion into a Fish Feed Additive: Assessing its Effects on the Health and Performance of *Cyprinus carpio*. **Waste and Biomass Valorization**, v. 16, n. 2, p. 901–910, 2025.

ANDREGHETTO, F.; SANTANA, T. C.; CASTRO, J. S.; NOLETO, K. S.; TEIXEIRA, E. G. Desempenho zootécnico e bromatologia de tambatinga (*Colossoma macropomum* x *Piaractus brachypomus*, Characidae) alimentada com milheto (*Pennisetum* sp.). **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n. 4, p. 21818-21831, 2020.

ARAÚJO, D. M.; TAMANO, L. T. O.; NASCIMENTO, C. W. S.; TAVARES, K. A. S.; LINS, J. L. F.; SILVA, J. Curimatã-pacu como espécie preferida pelos consumidores em feiras livres do baixo Rio São Francisco, Alagoas – Brasil. **Holos**, v. 36, n. 6, e9358, 2020.

BARROS, C. A.; GODOI, D. S.; BOTINI, A. F.; JACYNTHO, L. A.; MACENO, J. F. S. Desenvolvimento de juvenis do híbrido tambatinga em tanques rede com diferentes níveis de proteína na ração. **Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia**, v. 14 n. 26; p. 235, 2017.

BOHNES, F. A.; HAUSCHILD, M. Z.; SCHLUNDT, J.; NIELSEN, M.; LAURENT, A. Environmental sustainability of future aquaculture production: Analysis of .Singaporean and Norwegian policies. **Aquaculture** v. 549, 2022.

BOJARSKI, B.; WITESKA, M.; KONDERA, E. Blood Biochemical Biomarkers in Fish Toxicology—A Review. **Animals**, v. 15, n. 965, 2025.

BOYD, C. E.; ABRAMO, R. L. D.; GLENCROSS, B. D.; HUYBEN, D. C.; JUAREZ, L. M.; LOCKWOOD, G. S.; MCNEVIN, A. A.; TACON, A. G. J.; TELETCHIA, F.; TOMASSO-JR, J. R.; TUCKER, C. S.; VALENTI, W. C. Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. **J World Aquacult Soc.** v. 51, p.578–633, 2020.

CAMPAGNOLO, R.; FRECCIA, A.; BERGMANN, R. R.; MEURER, F.; BOMBARDELLI, R. A. Óleos essenciais na alimentação de alevinos de tilápia do Nilo. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.**, Salvador, v.14, n.3, p.565-573, 2013.

CASTRACANI, C. MAIENZA, A.; GRASSO, D. A.; GENESIO, L.; MALCEVSCHI, A.; MIGLIETTA, F.; VACCARI, F. P.; MORI, A. Biochar-macrofauna interplay:

Seraching for new bioindicators. **Science of the Total Environment**, 2015.

CHATZIMICHAILIDOU, S.; XANTHOPOULOU, M.; TOLKOU, A. K.; KATSOYIANNIS, I. A. Biochar derived from rice by-products for arsenic and chromium removal by adsorption: a review. **Journal of Composites Science**, v. 7, n. 2, p. 59, 2023.

CONZ, R.F.; ABBRUZZINI, T. F. CERRI, C. E. P. Caracterização de matérias-primas e biochars para uso na agricultura. **XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, Natal- RN, 2015.

COSKUN, O. F.; AYDM, D.; DUMAN, F. Comparison of some blood parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) living in running and still water. **Iranian Journal of Fisheries Sciences**, v. 15 n. 1 p. 497-507, 2016.

DAL'BÓ, G. A.; SAMPAIO, F. G.; LOSEKANN, M. E.; QUEIROZ, J. F.; LUIZ, A. J. B.; WOLF, V. H. G.; GONÇALVES, V. T.; CARRA, M. L. Hematological and morphometric blood value of four cultured species of economically important tropical foodfish. **Neotropical Ichthyology**, v. 13 n. 2 p. 439-446, 2015.

DAUDA, A. B.; AJADI, A.; TOLA-FABUNMIC, A. S.; AKINWOLE, A. O. Waste production in aquaculture: Sources, components and managements in different culture systems. **Aquaculture and Fisheries** v. 4, p. 81–88, 2019.

DIAS, M.K.R.; NEVES, L.R.; MARINHO, R.G.B.; PINHEIRO, D.A.; TAVARES-DIAS, M. Parasitismo em tambatinga (*Colossoma macropomum* × *Piaractus brachypomus*, Characidae) cultivados na Amazônia, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 45 n. 2, 2015.

FAZIO, F.; SAOCA, C.; CAPILLO, G.; IARIA, C.; PANZERA, M.; PICCIONE, G.; SPANO, N. Intra-variability of some biochemical parameters and serum electrolytes in rainbow trout (Walbaum, 1792) bred using a flow-through system. **Heliyon**, v. 7, e 06361, 2021.

FIRDUS, F.; SAMADI, S.; MUHAMMADAR, A. A.; SARONG, M. A.; MUCHLISIN, Z. A.; SARI, W.; MELLISA, S.; SATRIA, S.; BOIHAQI, B.; BATUBARA, A. S. Supplementation of rice husk activated charcoal in feed and its effects on growth and histology of the stomach and intestines from giant trevally, *Caranx ignobilis* [version 2; peer review: 1 approved with reservations]. **F1000 Research**, 9:1274, 2021.

GARLOCK, T. M.; ASCHE, F.; ANDERSON, J. L.; EGGERT, H.; ANDERSON, T. M.; CHE, B.; CHÁVEZ, C. A.; CHU, J.; CHUKWUONE, N.; DEY, M. M.; FITZSIMMONS, K.; FLORES, J.; GUILLEN, J.; KUMAR, G.; LIU, L.; LLORENTE, I.; NGUYEN, L.; NIELSEN, R.; PINCINATO, R. B. M.; SUDHAKARAN, P. O.; TIBESIGWA, B.; TVETERAS, R. Environmental, economic, and social sustainability in aquaculture: the aquaculture performance indicators. **Nature Communications** 15:5274, 2024.

GONÇALVES, A. F. N.; TAKAHASHI, L. S.; URBINATI, E. C.; BILLER, J. D.;

FERNANDES, J. B. K. Transporte de juvenis de curimbatá *Prochilodus lineatus* em diferentes densidades. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 32, n. 2, p. 205-211, 2010.

HERNÁNDEZ-CONTRERAS, Á.; TELES, A.; SALAS-LEIVA, J. S.; POZO, E. C.; TOVAR-RAMÍREZ, D. Feed Additives in Aquaculture. Sustainable Use of Feed Additives in Livestock. **Novel Ways for Animal Production**, p. 811-846, 2023.

KARA, T. BHARTI, V. S.; AMAL, C.T.; SHUKLA, S. P. MANUPATI, A. A. R.; SAHUL, N. P. Sugarcane bagasse biochar enhances the growth parameters, haematological parameters, and enzyme activities of genetically improved farmed tilapia (GIFT) reared in inland saline water. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 31, n. 53, p. 62346–62357, 2024.

KHALID, M. A. HUSSAIN, S.M.; ALI, S.; ALI, Q.; RIZWAN, M.; PARAY, B.A.; SARKER, P.K.; NAEEM, A. Impact of feeding biochar sources in rohu (*Labeo rohita*): Evaluating the growth, nutrient absorption, carcass composition, haematology and mineral status. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 108, n. 4, p. 1028–1037, 11 jul, 2024.

KHALID, M. A.; HUSSAIN, S. M.; MAHBOOB, S.; AL-GAHNIM, K.A.; RIAZ, M.N. Biochar as a feed supplement for nutrient digestibility and growth performance of *Catla catla* fingerlings. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 29, n. 12, p. 103453, 2022.

KHAN, S.; WAQAS, M.; DING, F.; SHAMSHAD, I.; ARP, H. P. H.; LI, G. The influence of various biochars on the bioaccessibility and bioaccumulation of PAHs and potentially toxic elements to turnips (*Brassica rapa* L.). **Journal of Hazardous Materials**, v. 300, p. 243-253, 2015.

KRATZ, D.; WENDLING, I. Crescimento de mudas de *Eucalyptus camaldulensis* em substratos à base de casca de arroz carbonizada. **Revista Ceres**, v. 63, p. 348-354, 2016.

KULKARNI, R.; BEDJARGI, P. Serum biochemical parameters of four fresh water indian carps from a local aquatic body. **International Journal of Innovative Studies in Aquatic Biology and Fisheries (IJISABF)**, v. 2, p. 15-20, 2016.

MAN, K. Y.; CHOW, K.L.; MAN, Y.B.; MO, W. Y.; WONG, M. H. Use of biochar as feed supplements for animal farming. **Critical reviews in environmental science and technology**, 51, n. 2, 187-217, 2021.

MANGRICH, A. S.; MAIA, C. M. B. F.; NOVOTNY, Etelvino H. Biocarvão: as terras pretas de índios e o sequestro de carbono. **Ciência Hoje**, vol. 47- 281, 2011.

MARCELINO, I. P.; LOSS, A.; ANDRADE, M. A. N. Aspectos gerais do uso do biochar para sustentabilidade com ênfase aos atributos edáficos: a revisão. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, 2020.

MILLA, O. V.; RIVERA, E. B.; HUANG, W. J.; WANG, Y. M.; Agronomic properties and characterization of rice husk and wood biochars and their effect on the growth of water spinach in a field test. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, 13 (2), 251-266, 2013.

MUGNAINI, et al. The impact of the Brazilian funding crisis on scientific production. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 93 (4), 2021

NABI, N.; AHMED, I.; WANI, G. B. Hematological and serum biochemical reference intervals of rainbow, trout, *Oncorhynchus mykiss* cultured in Himalayan aquaculture: Morphology, morphometrics and quantification of peripheral blood cells. **Saudi Journal of Biological Sciences** 29, 2942–2957, 2022.

NAIR, P. S.; SILVANI, M. P.; SURESH, S.; Sreekanth, A. J.; Sivasabari, K.; Adithya, K.; Anuranj, P. R.; Nayana, K.; Parvathy, S.; Sandip, C.; Hitesh, C.; Shopnil, A.; Ruhul, A.; Abhijit, D.; Mahmoud, A.; Deepak, C.; Kuldeep, D. Beneficial impacts of biochar as a potential feed additive in animal husbandry. **Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences**, v.11(3) p. 479 – 499, 2023.

OGUNKALU, O. Effects of Feed Additives in Fish Feed for Improvement of Aquaculture. **Eurasian Journal of Food Science and Technology**, v. 3, n. 2, p. 49-57, 2019.

OLIVEIRA, L. C. C.; SILVA, A. D. C.; PINHEIRO- JÚNIOR, A. S.; SILVEIRA, B. G.; SILVA, C.H.; BRABO, M.F. Aspectos produtivos e econômicos da piscicultura no Arquipélago do Marajó, Pará, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, 2022.

OZ, M. Use of Herbal Food Additives in Fisheries. **Eurasian Journal of Agricultural Research**. vol. 3, Issue: 2, pp: 67-74, 2019.

PANDAO, M. R.; LALITHA, G. R.; KISHORE, A. J.; PADHAN, S. R.; PANOTRA, N.; GULAIYA, S.; PANDEY, S. K. A Comprehensive Review on Biochar. **Int. J. Environ. Clim. Change**, v. 13, n. 11, p. 3453-3461, 2023.

PEREIRA, G. J. M.; MURGAS, L. D. S.; SILVA, J. M. A.; MILIORINI, A. B.; LOGATO, P. V. R.; LIMA, D. Indução da desova de curimba (*Prochilodus lineatus*) utilizando eCG E EBHC<sup>1</sup>. **Ceres**, v.56, n.2, p.156-160, 2009.

PEREIRA- JÚNIOR, E. F. Z.; BONATO, S.V.; RAMIRES, S.; D'ÁVILA, L. C. Reaproveitamento da casca de arroz: análise bibliométrica da produção científica mundial entre 1984 – 2020. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, v. 6, n. 4, p. 138-165, 2021.

PEREIRA, H. L.; NASCIMENTO, T.M.; SILVA, A. L. Aspectos técnicos do processo de pirólise. **7º Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciência**, 2022.

PESOA, N.; SCHULZ, U. Diel and seasonal movements of grumatã *Prochilodus*

*lineatus* (Valenciennes 1836) (Characiformes: Prochilodontidae) in the Sinos River, Southern Brazil. **Braz. J. Biol.**, v. 70, n. 4, p. 1169-1177, 2010.

PIRES, D. C.; BEZERRA, G. A.; SOUZA, E. G. C.; CASTRO, P. L.; ACUNHA, R. M. G.; CAMPOS, C. M. Análise econômica e financeira da produção de iscas vivas de curimba: um estudo de caso. **Ciência Animal Brasileira/Brazilian Animal Science**, v.26, 80319P, 2025.

QUAIYUM, M.; JAHAN, R.; JAHAN, N.; AKHTER, T.; ISLAM, M.S. Effects of Bamboo Charcoal Added Feed on Reduction of Ammonia and Growth of *Pangasius hypophthalmus*. **J Aquac Res Development**, 5: 269, 2014.

RAJAKUMAR, R.; SANKAR, J. Biochar for sustainable agriculture – A Review. **International Journal of Applied and Pure Science and Agriculture (IJAPSA)** v. 02, Issue 09, 2016.

RANZANI- PAIVA, M. J.; TAVARES-DIAS, M. Fish hematology in Brazil: A review. **Bol. Inst. Pesca**, 50: e914, 2024.

RESHI, Q. M.; AHMED, I.; AL-ANAZI, K.M.; FARAH, M. A.; Indexing hematological and serum biochemical reference intervals of Himalayan snow trout, *Schizothorax esocinus* to instrument in health assessment. **Frontiers in Physiology**, 2023.

RUI, W.; TRIERWEILER, J. O.; ESPINDOLA, J. S. Recuperação do silício contido no biochar de pirólise rápida da casca de arroz. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, **Conhecimento, Formação e Inovação**, 2016.

SANTOS, R. B. S.; TAVARES- DIAS, M. Células sanguíneas e resposta hematológica de *Oxydoras niger* (Pisces, Doradidae) oriundos da bacia do médio Rio Solimões, Estado do Amazonas (Brasil), naturalmente parasitados. **Bol. Inst. Pesca**, 36(4): 283 – 292, 2010.

SARAIVA, S. O.; POMPEU, P. S. Fish hatchery and its effects on the morphology of *Prochilodus lineatus* (Actinopterygii: Prochilodontidae). **Braz. J. Biol.**, v. 76, n. 1, p. 209-217, 2016.

SILVA, L. E. S.; GALÍCIO, G. S. Alimentação de peixes em piscicultura intensiva. **Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v.8, n.15; p.49-62, 2012.

SIQUEIRA, T. V. Aquicultura: a nova fronteira para aumentar a produção mundial de alimentos de forma sustentável. **Boletim regional, urbano e ambiental**, 2018.

STORCK. T.R.; SIPPert, L.R.; SEBEN, D.; LAZAROTTO, D.V.; HELFENSTEIN, J.; LUZ, J.S.; CEREZER, F.O.; SCHNEIDER, S.I.; WASTOWSKI, A.D.; CLASEN, B. GOLOMBIESKI. Intensive fish farming: changes in water quality and relationship with zooplankton community. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 35, e28, 2023.

TURLYBEK, N.; NURBEKOVA, Z.; MUKHAMEJANOVA, A.; BAIMURZINA, B.; KULATAYEVA, M.; AUBAKIROVA, K. M.; ALIKULOV, Z. Sustainable Aquaculture Systems and Their Impact on Fish Nutritional Quality. **Fishes** 10, 206, 2025.

VIANA, D. C.; BARBOSA, L. A.; SÁ, E. A.; COSTA, J.C. Cadeia Produtiva da piscicultura no estado do Maranhão. **Ciência e Natura**, Santa Maria, 44, e39, 2022.

WITESKA, M.; KONDERA, E.; ŁUGOWSKA, K.; BOJARSKI, B. Hematological methods in fish – Not only for beginners. **Aquaculture** 547, 737498, 2022.

YADAV, M. K.; KHATI, A.; CHAUHAN, R. S.; ARYA, P.; SEMWAL, A. A Review on Feed Additives used in Fish Diet. **International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology**, v.6, n.2, p. 184-190, 2021.

## **CAPÍTULO II**

### **BIOCHAR DE CASCA DE ARROZ COMO ADITIVO EM DIETAS PARA CURIMATÁ (*Prochilodus* sp.)**

Artigo a ser submetido no periódico “*Acta Amazônica*”

Qualis Sucupira A3

## **Biochar de casca de arroz como aditivo em dietas para curimatá (*Prochilodus* sp.)**

**Fernanda Viana dos Santos, Jane Mello Lopes**

### **RESUMO**

Objetivou-se avaliar níveis crescentes de biochar de casca de arroz (0, 1, 2, 3 e 4% da dieta) sobre o desempenho zootécnico e parâmetros bioquímicos e hematológicos de curimatás (*Prochilodus* sp.). Duzentos alevinos foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e quatro repetições, totalizando 20 unidades experimentais (caixas plásticas de 1000 L) em sistema de renovação contínua com aeração, durante 70 dias. Ao final, as amostras de sangue foram coletadas para análises bioquímicas e hematológicas. Aos 30 e 70 dias, verificou-se redução linear no consumo de ração com o aumento do biochar. As demais variáveis de desempenho (peso final, ganho de peso e taxa de crescimento específico) não foram influenciadas. Entre as variáveis bioquímicas, houve aumento nos níveis de glicose nos tratamentos com maior inclusão de biochar. No perfil hematológico, observou-se aumento significativo no hematócrito, hemoglobina, hemoglobina corpuscular média (HCM) e concentração da hemoglobina corpuscular média (CHCM). Conclui-se que o biochar atua principalmente como um modulador fisiológico, com efeitos mais pronunciados na resposta metabólica (glicose) e hematológica, e não na promoção direta do crescimento.

**Palavras-chave:** *Prochilodus* sp., sustentabilidade, eficiência alimentar, saúde, nutrição de peixes.

### **ABSTRACT**

This study aimed to evaluate the effects of increasing levels of rice husk biochar (0, 1, 2, 3, and 4% of the diet) on the zootechnical performance, and biochemical and hematological parameters of curimatã (*Prochilodus* sp.). Two hundred fingerlings were distributed in a completely randomized design, with five treatments and four replicates, totaling 20 experimental units (1000 L plastic tanks) in a continuous water renewal system with aeration, for 70 days. At the end of the trial, blood samples were collected for biochemical and hematological analyses. On days 30 and 70, a linear reduction in feed consumption was observed with increasing biochar levels. The other performance variables (final weight, weight gain, and specific growth rate) were not influenced. Among the biochemical variables, an increase in blood glucose levels was recorded in the treatments with higher biochar inclusion. In the hematological profile, a significant increase was observed in hematocrit, hemoglobin, mean corpuscular hemoglobin (MCH), and mean corpuscular hemoglobin concentration (MCHC). It is concluded that biochar acts primarily as a physiological modulator, with more pronounced effects on the metabolic (glucose) and hematological response, and not on the direct promotion of growth.

**Keywords:** *Prochilodus* sp., sustainability, feed efficiency, health, fish nutrition.

## 1. Introdução

No Brasil, a piscicultura apresenta crescimento significativo, favorecido por fatores como abundância de recursos hídricos, condições climáticas favoráveis e aumento da demanda por proteína de qualidade (Côrrea e Silva, 2022). Segundo esses autores, projeta-se que até 2030, aproximadamente 60% dos peixes consumidos globalmente sejam oriundos de sistemas de cultivo. Essa tendência não apenas reduz a pressão sobre as populações de peixes nativos, mas também contribui para a segurança alimentar, ao promover o acesso a uma fonte sustentável de proteína, além de gerar renda e emprego. Com a crescente demanda por alimentos de origem aquática, os piscicultores enfrentam o desafio de aumentar a produtividade de forma eficiente e sustentável (Queiroz *et al.*, 2021).

Nesse contexto, a adoção de práticas sustentáveis e o monitoramento ambiental tornam-se essenciais para mitigar impactos negativos e preservar os recursos naturais (Cardoso *et al.*, 2016). A gestão adequada dos resíduos agrícolas é outro grande desafio ambiental da atualidade, especialmente devido à prática comum da queima a céu aberto, que libera substâncias poluentes no ambiente. Diante desse cenário, torna-se fundamental adotar soluções sustentáveis e eficazes (Amjad *et al.*, 2025).

Uma alternativa promissora é a produção de biochar (BC) a partir de resíduos agroindustriais, uma vez que esse material contribui para a melhoria da qualidade do solo, atua na adsorção de poluentes e favorece o sequestro de carbono, configurando-se como uma tecnologia resiliente às mudanças climáticas (Pandão *et al.*, 2023).

Diante da crescente demanda por estratégias sustentáveis e funcionais na aquicultura, o uso de biochar, como aditivo dietético, tem se destacado por seus potenciais benefícios na melhoria da qualidade da água, além do seu efeito modulador sobre a saúde

e o desempenho dos organismos aquáticos (Schmidt *et al.*, 2019). Estudos recentes indicam que a inclusão do biocarvão na dieta de peixes pode favorecer o crescimento animal, melhorar parâmetros sanguíneos, fortalecer o sistema imunológico e reduzir a presença de patógenos (Man *et al.*, 2021; Amjad *et al.*, 2024).

A Curimatá (*Prochilodus* sp.) é uma espécie amplamente distribuída na região neotropical, ocorrendo em diversos rios brasileiros (Makino *et al.*, 2012). Ela se destaca na piscicultura por sua notável taxa de crescimento, boa capacidade reprodutiva e rusticidade, características que favorecem o seu cultivo (Gonçalves *et al.*, 2010). Além disso, a espécie possui grande importância econômica, uma vez que sua carne é bastante apreciada na culinária (Allaman, 2008; Murgas *et al.*, 2007). Apesar de suas vantagens, ainda há uma carência de informações sobre as exigências da espécie, o que impede o desenvolvimento de programas alimentares adequados para a sua criação intensiva e economicamente viável. Diferentemente do ambiente natural, onde a diversidade de alimentos permite que os peixes atendam suas necessidades nutricionais, em sistemas de confinamento intensivo eles dependem exclusivamente de dietas balanceadas fornecidas pelo produtor (Bomfim, *et al.*, 2005).

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da inclusão do biochar de casca de arroz como aditivo alimentar sobre os parâmetros de desempenho produtivo, bioquímicos e hematológicos de curimatá.

## **2. Material e Métodos**

### **2.1 Animais e condições de cultivo**

Foram utilizados 200 alevinos de curimatás (peso médio de  $1,63 \pm 0,07$ g), provenientes de uma piscicultura comercial do município de Chapadinha, no estado do

Maranhão. O experimento foi conduzido no Laboratório de Nutrição e Alimentação de Organismos Aquáticos do Maranhão (LANUMA). Previamente ao início do experimento, os peixes passaram por um período de aclimação de 15 dias em caixas plásticas de 1000 L, sob condições de renovação contínua de água e aeração constante, durante essa fase, foram alimentados duas vezes ao dia com uma ração comercial contendo 32% de proteína bruta (PB).

Após o período de aclimação, os peixes foram distribuídos em um delineamento experimental inteiramente casualizado, composto por cinco tratamentos e quatro repetições, totalizando 20 unidades experimentais. Cada unidade foi constituída por um grupo de 10 peixes (n=10), mantidos em caixas plásticas de 1000 L por um período de 70 dias. O cultivo foi realizado em sistema de renovação contínua de água, com oxigenação constante.

## **2.2 Origem e produção do Biochar**

O biochar de casca de arroz (BCA) utilizado foi adquirido do *Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement- CIRAD* (França). O material foi produzido mediante pirólise sob as seguintes condições: temperatura inicial de 40 °C; temperatura final de 400 °C; taxa de aquecimento de 5 °C/min; tempo de residência de 2 horas na temperatura final, atmosfera de nitrogênio (N<sub>2</sub>) com vazão de 2,5L/min e resfriamento passivo por 8 horas. Após a pirólise, o biochar foi submetido a um processo de ativação térmica a 900 °C.

## **2.3 Dietas e planejamento experimental**

Foram formuladas quatro dietas experimentais a partir de uma ração basal (controle), com inclusão de diferentes níveis de biochar de casca de arroz-BCA (0% –

controle, 1%, 2%, 3% e 4% por kg de dieta), conforme a Tabela 1. Os ingredientes foram moídos, pesados, homogeneizados e misturados ao BCA e água, até atingir a consistência ideal para a peletização. A mistura foi processada em moedor de carne, formando pellets, que foram secos em estufa a 40 °C por 24h e armazenados em freezer a -4 °C até o uso.

**Tabela 1.** Composição percentual e nutricional das dietas experimentais com diferentes níveis de inclusão de biochar de casca de arroz para *Prochilodus* sp. avaliadas durante 70 dias.

| Ingredientes                    | Níveis de Biochar                   |         |         |         |         |
|---------------------------------|-------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
|                                 | 0                                   | 1       | 2       | 3       | 4       |
| SOJA FARELO 45%                 | 60,31                               | 61,78   | 63,25   | 64,72   | 66,20   |
| MILHO 7,88%                     | 28,24                               | 26,27   | 24,30   | 22,33   | 20,35   |
| CARNE E OSSO FAR. 46%           | 5,46                                | 4,35    | 3,23    | 2,12    | 1,01    |
| ÓLEO DE SOJA                    | 2,30                                | 2,48    | 2,65    | 2,83    | 3,00    |
| BIOCHAR DE CASCA DE ARROZ (BCA) | 0,00                                | 1,00    | 2,00    | 3,00    | 4,00    |
| FOSFATO BICÁLCICO               | 1,93                                | 2,24    | 2,56    | 2,87    | 3,18    |
| CALCÁRIO                        | 0,32                                | 0,47    | 0,61    | 0,75    | 0,89    |
| PREMIX-PEIXES <sup>2</sup>      | 0,50                                | 0,50    | 0,50    | 0,50    | 0,50    |
| SAL COMUM                       | 0,30                                | 0,30    | 0,30    | 0,30    | 0,30    |
| DL-METIONINA                    | 0,28                                | 0,28    | 0,28    | 0,28    | 0,28    |
| L-LISINA                        | 0,29                                | 0,28    | 0,26    | 0,25    | 0,23    |
| VITAMINA C <sup>3</sup>         | 0,05                                | 0,05    | 0,05    | 0,05    | 0,05    |
| B H T                           | 0,01                                | 0,01    | 0,01    | 0,01    | 0,01    |
| Nutrientes                      | Composição Nutricional <sup>1</sup> |         |         |         |         |
| ENERGIA BRUTA                   | 3800,00                             | 3800,00 | 3800,00 | 3800,00 | 3800,00 |
| PROTEÍNA BRUTA                  | 32,00                               | 32,00   | 32,00   | 32,00   | 32,00   |
| EXTRATO ETÉREO                  | 5,00                                | 5,00    | 5,00    | 5,00    | 5,00    |
| FIBRA BRUTA                     | 3,80                                | 3,80    | 3,80    | 3,80    | 3,80    |
| CÁLCIO                          | 1,40                                | 1,40    | 1,40    | 1,40    | 1,40    |
| FÓSFORO DISPONÍVEL              | 0,80                                | 0,80    | 0,80    | 0,80    | 0,80    |
| LISINA TOTAL                    | 2,10                                | 2,10    | 2,10    | 2,10    | 2,10    |
| MET + CISTINA TOTAL             | 1,20                                | 1,20    | 1,20    | 1,20    | 1,20    |

<sup>1</sup>Com base nos valores de Rostagno et al. (2017); <sup>2</sup>Suplemento vitamínico e mineral comercial (Vitaly nutrição ®; 5 kg t-1), com níveis de garantia por quilograma do produto: Vit. A, 1.200.000 UI; Vit. D3, 200.000 UI; Vit. E, 1.200 mg; Vit. K3, 2.400 mg; Vit. B1, 4.800 mg; Vit.B2, 4.800 mg; Vit.B6, 4.800 mg; Vit.B12, 4.800 mg; Vit.C, 48 g; ác. Fólico, 1.200 mg; pantotenato de Ca, 12.000 mg; Vit. C, 48.000 mg; biotina, 48 mg; cloreto de colina, 108 g; niacina, 24.000 mg; Fe, 50.000 mg; Cu, 3.000 mg; Mn, 20.000 mg; Zn, 30.000 mg; I, 100 mg; Co, 10 mg; Se, 100 mg; <sup>3</sup> Vitamina C (Vitaly nutrição ®): sal cálcica 2-monofosfato de ácido ascórbico, 42% de princípio ativo.

Durante os 70 dias, os peixes foram alimentados com as respectivas dietas três vezes ao dia (08h00, 12h00 e 17h30) até a saciedade aparente. As unidades experimentais foram sifonadas diariamente, 30 minutos após a primeira alimentação, a fim de remover resíduos alimentares e excretas.

## **2.4 Análises de água**

Os parâmetros da água foram monitorados diariamente (oxigênio dissolvido e temperatura) e semanalmente (amônia não ionizada, pH e dureza total). O oxigênio dissolvido e a temperatura foram medidos com um oxímetro digital, enquanto o pH foi analisado com um pHmetro microprocessado. A amônia não ionizada ( $\text{NH}_3$ ) e a dureza total foram determinadas utilizando kits comerciais (Labcon Test®, Camboriú, Brasil), expressos em  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  e ppm, respectivamente.

## **2.5 Parâmetros de desempenho**

Antes de cada biometria (0, 30 e 70 dias), os peixes foram submetidos a jejum de 24 horas. Ao final do experimento, quatro peixes por repetição foram utilizados para a coleta de sangue, destinados às análises bioquímicas e hematológicas. Em seguida, os peixes foram eutanasiados por secção da medula espinhal para coleta do fígado e do trato digestório. As amostras de sangue e fígado foram armazenadas a  $-20\text{ }^\circ\text{C}$ , enquanto as amostras do intestino foram fixadas em solução de Davidson por 24 horas e posteriormente preservadas em álcool 70%.

A eficiência alimentar e os parâmetros de crescimento foram calculados aplicando as seguintes fórmulas:

1. Ganho de peso (GP) = [(peso médio final – peso médio inicial)];

2. Taxa de crescimento específico (TCE) =  $100 \times [(\ln \text{ peso final} - \ln \text{ peso inicial}) / \text{dias de experimento}]$ ;
3. Fator de condição (FC) =  $100 \times [(\text{peso corporal}) / (\text{comprimento corporal})^3]$ ;
4. Rendimento de carcaça- RC (%) =  $(\text{Peso do peixe integral (g)} / \text{peso do peixe eviscerado (g)}) \times 100$ ;
5. Índice hepatossomático (IHS) =  $100 \times [(\text{peso do fígado}) / (\text{peso do peixe integral})]$
6. Índice viscerossomático- IVS (%) =  $(\text{peso do peixe integral (g)} / \text{peso das vísceras (g)}) \times 100$ .
7. Consumo de ração- CR (g) = ração consumida durante o experimento (g).

## 2.6 Coleta das amostras de sangue

Para a coleta de sangue, os peixes foram submetidos a um jejum de 24 horas. Utilizando seringas heparinizadas estéreis, contendo 10 µL de EDTA (Ácido Etilenodiaminotetracético) aproximadamente 1,5 mL de sangue foi coletado por punção da veia caudal. As amostras foram imediatamente acondicionadas em tubos de polietileno de 2,5 mL, formando-se uma amostra composta para cada repetição a partir do *pool* de dois indivíduos.

## 2.7 Parâmetros bioquímicos

Para as análises bioquímicas, o sangue foi centrifugado a 3.500 RPM por 5 minutos para separação do plasma. Em seguida, foram utilizados kits colorimétricos (Bioclin®, Belo Horizonte, MG, Brasil) e um espectrofotômetro (Bel Spectro S-2000), conforme metodologia descrita por Marchão *et al.*, (2022) para determinação dos níveis de glicose, triglicerídeos, proteínas totais, albumina e colesterol.

## 2.8 Parâmetros Hematológicos

Nas análises hematológicas, realizadas conforme metodologia descrita por Marchão *et al.* (2023), foram determinados os parâmetros de eritrócitos (hemácias), concentração de hemoglobina e hematócrito (Ht). As análises foram realizadas utilizando amostras compostas, sendo cada uma constituída por *pool* de sangue de dois peixes na mesma repetição.

A contagem de eritrócitos (Et) foi realizada com auxílio de uma câmara de Neubauer ( $1 \times 10^6/\mu\text{L}^{-1}$ ) e de um microscópio com ampliação de 400 vezes. Para isso, 20 $\mu\text{L}$  de cada amostra de sangue foi previamente diluída em 2ml de formol citrato. A concentração de hemoglobina (Hb) foi determinada pelo método da cianometahemoglobina, utilizando 20 $\mu\text{L}$  de cada amostra de sangue diluído previamente em 2ml do reagente drabkin. O hematócrito (Ht) foi analisado em duplicata, utilizando tubos capilares heparinizados, preenchidos até dois terços de sua capacidade e submetidos a centrifugação a 12.000g por 5 min. Os índices hematimétricos - volume corpuscular médio (VCM), hemoglobina corpuscular média (HCM) e concentração de hemoglobina corpuscular média (CHCM) - foram calculados com base nas seguintes fórmulas:

$$\text{VCM (fL)} = (\text{Hct} \times 10) / (\text{Ery} \times 10^6 \mu\text{L}^{-1});$$

$$\text{HCM (pg)} = (\text{Hb} \times 10) / \text{Ery};$$

$$\text{CHCM (pg)} = (\text{Hb} \times 10) / \text{Ery};$$

Onde: fL (fentolitros); Hct (Hematócrito); Ery (Eritrócitos); pg (picogramas); Hb (Hemoglobina).

Os procedimentos foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal do Maranhão - UFMA (processo nº 23115.010523/2024-58).

## 2.9 Análise Estatística

Para reduzir a dimensionalidade dos dados e identificar as variáveis mais relevantes em relação aos níveis de biochar, os dados foram submetidos a uma análise de Componentes Principais (ACP) no software Statistica 7.0 (StatSoft Inc., Tulsa, EUA). A interpretação dos componentes baseou-se na direção (sinal) e no comprimento dos vetores, considerando-se, autovalores  $\geq 0,50$  em valor absoluto como relevantes.

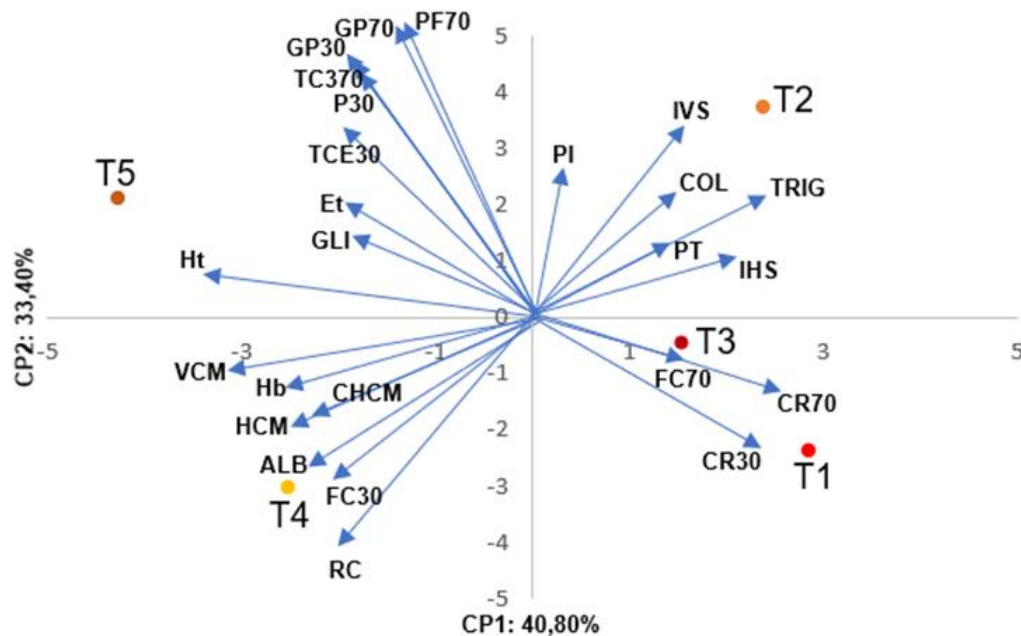
Posteriormente, as análises foram realizadas no software InfoStat® (2010). Após a verificação da normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk ( $P > 0,05$ ), os dados foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA unidirecional), e as médias comparadas pelo teste de Tukey, adotando-se um nível de significância de 5%. Os resultados são expressos como médias  $\pm$  desvio padrão.

## 3. Resultados

Os parâmetros da qualidade da água mantiveram-se dentro da faixa adequada para a espécie de *Prochilodus* sp., conforme descrito por Ituassú *et al.* (2020), sem diferenças significativas entre os tratamentos. A temperatura da água variou entre 26 °C e 27 °C; e o oxigênio dissolvido manteve-se em aproximadamente 5,0 mg/L. O pH oscilou entre 6,3 e 6,8, com valor mais elevado registrado no tratamento com 4% de biochar. A concentração de amônia não ionizada ( $\text{NH}_3$ ) permaneceu em níveis baixos (0,003 a 0,005 mg/L), e a dureza da água foi mantida estável em 50 ppm.

A Análise dos componentes principais (ACP) explicou 74,20% da variância total dos dados nos dois primeiros componentes principais, sendo 40,80% no CP1 (Primeiro Componente Principal) e 33,40% no CP2 (Segundo Componente Principal). Assim, a

maior parte da variabilidade pode ser representada por esses dois eixos (Figura 1 e Tabela 2).



**Figura 1.** Biplot das variáveis analisadas: peso inicial (PI), ganho de peso 30 e 70 dias (GP30 e GP70), peso final 30 e 70 dias (PF30 e PF70), taxa de crescimento específico 30 e 70 dias (TCE30 e TCE70), índice viscerossomático (IVS), fator de condição30 e 70 dias (FC30 e FC70), consumo de ração 30 e 70 dias (CR30 e CR70), índice hepatossomático (IHS), rendimento de carcaça (RC), contagem de eritrócitos (Et), glicose (GLI), hematócrito (Ht), hemoglobina (Hb), albumina (ALB), hemoglobina corpuscular média (HCM), concentração de hemoglobina corpuscular média (CHCM), colesterol (COL), triglicerídeos (TRIG) e proteínas totais (PT), Tratamento 1 (T1), Tratamento 2 (T2), Tratamento 3 (T3), Tratamento 4 (T4), Tratamento 5 (T5).

**Tabela 2.** Autovalores e variância dos componentes principais (CP1 e CP2) das variáveis analisadas. Valores significativos destacados em negrito.

| VARIÁVEL | CP1              | CP2             |
|----------|------------------|-----------------|
|          | (40,80%)         | (33,40%)        |
| TRIG     | <b>0,746100</b>  | <b>0,643701</b> |
| COL      | <b>0,571037</b>  | <b>0,608168</b> |
| ALB      | <b>-0,734713</b> | -0,385614       |

|       |           |           |
|-------|-----------|-----------|
| GLI   | -0,527325 | 0,297174  |
| PT    | 0,321430  | 0,260629  |
| CHCM  | -0,756291 | -0,253663 |
| HCM   | -0,792100 | -0,276528 |
| VCM   | -0,964175 | -0,117721 |
| Hb    | -0,911836 | -0,160202 |
| Ht    | -0,958261 | 0,105896  |
| Et    | -0,548673 | 0,379496  |
| RC    | -0,419570 | -0,857050 |
| IVS   | 0,419570  | 0,857050  |
| IHS   | 0,766570  | 0,358994  |
| CR30  | 0,808569  | -0,579996 |
| CR70  | 0,945199  | -0,242317 |
| FC30  | -0,653099 | -0,528351 |
| FC70  | 0,449748  | -0,111560 |
| TCE30 | -0,483834 | 0,627492  |
| TCE70 | -0,488883 | 0,856182  |
| GP30  | -0,455331 | 0,807424  |
| GP70  | -0,336660 | 0,878644  |
| PI    | 0,063645  | 0,790781  |
| PF30  | -0,442547 | 0,831076  |
| PF70  | 0,326178  | 0,879530  |

Peso inicial (PI), ganho de peso 30 e 70 dias (GP30 e GP70), peso final 30 e 70 dias (PF30 e PF70), taxa de crescimento específico 30 e 70 dias (TCE30 e TCE70), índice viscerossomático (IVS), fator de condição 30 e 70 dias (FC30 e FC70), consumo de ração 30 e 70 dias (CR30 e CR70), índice hepatossomático (IHS), rendimento de carcaça (RC), contagem de eritrócitos (Et), glicose (GLI), hematócrito (Ht), hemoglobina (Hb), albumina (ALB), hemoglobina corpuscular média (HCM), concentração de hemoglobina corpuscular média (CHCM), colesterol (COL), triglicerídeos (TRIG) e proteínas totais (PT).

As variáveis que mais contribuíram para o CP1 foram TRIG, COL, ALB, GLI, CHCM, HCM, VCM, Hb, Ht, Et, IHS, CR30, CR70 e FC30, sendo possível observar que neste componente as variáveis mais significativas foram as sanguíneas. No CP2, as variáveis que melhor explicaram a variabilidade foram TRIG, COL, RC, IVS, CR30, FC30, TCE 70, GP30, GP70, TCE 30, PF30 e PF70, em sua maioria relacionadas ao desempenho zootécnico.

No CP1, verificou-se que as variáveis COL, TRIG, IHS, CR70 e CR30 se relacionaram inversamente com ALB, GLI, CHCM, HCM, VCM, Hb, Ht, Et, FC30, indicando que a redução nos valores de um grupo corresponde ao aumento nos valores do grupo oposto, ou vice-versa. Já no CP2, foi observado uma relação direta entre as variáveis TRIG, COL, IVS, TCE 70, TCE 30, GP 30, PI, PF 70 e PF30 que se relacionam inversamente ao grupo formado por RC, CR 30 e FC 30.

Na distribuição dos tratamentos no gráfico, observou-se que os tratamentos controle, 1% e 2% apresentaram maior proximidade entre si, enquanto os tratamentos com 3% e 4% posicionaram-se em lados opostos, distanciando-se dos demais.

Os dados de desempenho zootécnico dos peixes encontram-se na Tabela 3. O biochar influenciou significativamente ( $p < 0,05$ ) o consumo de ração aos 30 e 70 dias, observando-se redução linear (25% a 35%, respectivamente) conforme o aumento dos níveis de inclusão na dieta. As demais variáveis de desempenho analisadas não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos.

**Tabela 3.** Desempenho produtivo de *Prochilodus* sp. alimentados com dietas contendo biochar durante 30 e 70 dias. PI :peso inicial; PF: peso final; GP: ganho de peso; TCE: taxa de crescimento específico; FC: fator de condição; CR: consumo de ração; IHS: índice hepatossomático; IVS: índice viscerossomático; RC: rendimento de carcaça.

| Níveis de biochar na dieta |                         |                         |                         |                          |                         |
|----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Variáveis                  | 0                       | 1%                      | 2%                      | 3%                       | 4%                      |
| PI (g)                     | 1,58±0,05               | 1,66±0,07               | 1,67±0,04               | 1,63±0,05                | 1,65±0,01               |
| 30 dias                    |                         |                         |                         |                          |                         |
| PF (g)                     | 11,11±1,21              | 12,65±1,11              | 11,06±1,18              | 11,54±2,29               | 12,82±1,23              |
| GP (g)                     | 8,91±0,18               | 10,99±1,08              | 9,39±1,44               | 9,95±2,29                | 11,17±1,16              |
| TCE (%)                    | 2,72±0,01               | 2,93±0,11               | 2,73±0,12               | 2,85±0,31                | 2,97±0,08               |
| FC                         | 1,31±0,05               | 1,26±0,16               | 1,28±0,04               | 1,31±0,06                | 1,32±0,09               |
| CR(g)                      | 58,67±1,44 <sup>A</sup> | 48,99±0,85 <sup>B</sup> | 51,85±1,02 <sup>B</sup> | 49,77±1,41 <sup>B</sup>  | 38,03±2,37 <sup>C</sup> |
| 70 dias                    |                         |                         |                         |                          |                         |
| PF (g)                     | 19,30±3,43              | 21,93±1,53              | 21,41±4,39              | 19,70±3,67               | 22,73±1,48              |
| GP (g)                     | 17,72±3,44              | 20,26±1,60              | 19,74±4,38              | 18,12±3,61               | 21,08±1,49              |
| TCE (%)                    | 1,55±0,12               | 1,60±0,07               | 1,57±0,13               | 1,56±0,10                | 1,63±0,05               |
| FC                         | 1,33±0,12               | 1,29±0,07               | 1,34±0,05               | 1,28±0,04                | 1,31±0,03               |
| CR (g)                     | 97,43±2,85 <sup>A</sup> | 94,11±4,89 <sup>A</sup> | 97,22±2,65 <sup>A</sup> | 85,54± 2,96 <sup>B</sup> | 72,01±3,61 <sup>C</sup> |
| IHS (%)                    | 0,60±0,09               | 0,81±0,70               | 0,35±0,15               | 0,27±0,12                | 0,29±0,03               |
| IVS (%)                    | 7,96±1,07               | 7,48±0,47               | 7,86±2,02               | 6,77±1,29                | 8,38±0,68               |
| RC (%)                     | 92,04±1,07              | 92,52±0,47              | 92,14±2,02              | 93,23±1,29               | 91,62±0,68              |

Letras diferentes nas linhas diferem significativamente (P<0,05) entre si (ANOVA seguido do teste Tukey)

Na Tabela 4, encontram-se os dados dos parâmetros hematológicos séricos. Os níveis de hematócrito foram significativamente influenciados pela inclusão de biochar na dieta ( $P < 0,05$ ). Enquanto os tratamentos com 0% a 2,0% de biochar mantiveram valores relativamente estáveis entre 33,91% e 36,38%, a suplementação com 3% e 4% de biochar promoveu um aumento progressivo e significativo neste parâmetro. O maior valor de hematócrito foi observado no tratamento com 4% de biochar, representando um incremento de aproximadamente 34% em relação ao grupo controle. Por outro lado, o volume corpuscular médio (VCM) e a contagem de eritrócitos (Et) não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos.

Em relação à concentração de hemoglobina, os níveis apresentaram resposta significativa à inclusão de biochar na dieta ( $P < 0,05$ ). Os tratamentos com 0% e 1% de biochar mantiveram valores basais de hemoglobina (4,06 - 4,11 g/dL), sem diferenças estatísticas entre si. Entretanto, a partir do nível 2% de inclusão, observou-se um aumento expressivo e progressivo deste parâmetro, atingindo os valores máximos de 7,39 g/dL (3% de biochar) e 7,67 g/dL (4% de biochar). O valor registrado no tratamento com 4% de biochar representou um incremento de aproximadamente 89% em comparação ao grupo controle.

Os índices hematimétricos - hemoglobina corpuscular média (HCM) e concentração de hemoglobina corpuscular média (CHCM)- também apresentaram elevação significativa com a inclusão de biochar. O HCM (hemoglobina corpuscular média) foi significativamente influenciado pela inclusão de biochar na dieta ( $P < 0,05$ ). Os tratamentos com 0% e 1% de biochar mantiveram valores basais semelhantes (10,00-10,24 pg), enquanto a suplementação a partir de 2% promoveu aumento expressivo neste parâmetro. O valor máximo de HCM ( $19,26 \pm 3,54$  pg) foi observado no tratamento com

3% de biochar, representando um incremento de aproximadamente 93% em relação ao grupo controle. Embora o tratamento com 4% tenha apresentado leve redução em comparação ao nível de 3%, manteve-se significativamente superior aos grupos com menores níveis de inclusão.

**Tabela 4.** Parâmetros hematológicos séricos de *Prochilodus* sp. alimentados com diferentes níveis de biochar durante 70 dias.

| Variáveis   | Níveis de biochar na dieta    |                               |                               |                               |                               |
|-------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|             | 0                             | 1%                            | 2%                            | 3%                            | 4%                            |
| <b>Ht</b>   | <b>36,38,71<sup>B</sup></b>   | <b>35,63±2,90<sup>B</sup></b> | <b>33,91±1,43<sup>B</sup></b> | <b>41,88±3,15<sup>B</sup></b> | <b>48,88±3,17<sup>A</sup></b> |
| <b>Et</b>   | 4,09±0,42                     | 4,02±0,23                     | 3,75±0,31                     | 3,94±0,54                     | 4,43±0,65                     |
| <b>Hb</b>   | <b>4,06±0,32<sup>C</sup></b>  | <b>4,11±0,30<sup>C</sup></b>  | <b>6,28±0,81<sup>B</sup></b>  | <b>7,39±0,66<sup>AB</sup></b> | <b>7,67±0,46<sup>A</sup></b>  |
| <b>VCM</b>  | 90,14± 13,42                  | 89,23± 6,06                   | 99,72± 17,93                  | 108,52± 14,94                 | 113,11±18,92                  |
| <b>HCM</b>  | <b>10,00±1,06<sup>B</sup></b> | <b>10,24±1,22<sup>B</sup></b> | <b>17,10±3,20<sup>A</sup></b> | <b>19,26±3,54<sup>A</sup></b> | <b>17,65±2,09<sup>A</sup></b> |
| <b>CHCM</b> | <b>10,60±0,63<sup>B</sup></b> | <b>11,13±0,09<sup>B</sup></b> | <b>15,81±0,77<sup>A</sup></b> | <b>17,82±2,36<sup>A</sup></b> | <b>15,75±1,02<sup>A</sup></b> |

Letras diferentes nas linhas diferem significativamente ( $P < 0,05$ ) entre si (ANOVA seguido do teste Tukey); Ht- Hematócrito (%), Et- Eritrócitos ( $10^6 \mu\text{L}^{-1}$ ), Hemoglobina- Hb ( $\text{g dL}^{-1}$ ), VCM- volume corpuscular médio (fL), HCM- hemoglobina corpuscular média (pg), CHCM- concentração de hemoglobina corpuscular média ( $\text{g dL}^{-1}$ ).

Em relação aos parâmetros bioquímicos, apenas a glicose plasmática apresentou diferença significativa ( $p < 0,05$ ). Todos os grupos alimentados com dietas contendo biochar exibiram aumento nos níveis de glicose em comparação ao controle (0%), que apresentou o menor valor ( $52,23 \pm 2,39 \text{ mg/dL}$ ). Nos demais tratamentos, os níveis foram superiores a  $75 \text{ mg/dL}$ . Os valores de proteínas totais, albumina, triglicerídeos e colesterol não diferiram estatisticamente entre os tratamentos. Os resultados completos das análises bioquímicas estão apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5.** Parâmetros bioquímicos de *Prochilodus* sp. alimentados com diferentes níveis de biochar durante 70 dias.

| Variáveis               | Níveis de biochar na dieta |                         |                         |                         |                         |
|-------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                         | 0                          | 1%                      | 2%                      | 3%                      | 4%                      |
| <b>Glicose</b>          | 52,23±2,39 <sup>B</sup>    | 75,31±6,57 <sup>A</sup> | 83,81±4,23 <sup>A</sup> | 80,88±6,51 <sup>A</sup> | 79,81±7,17 <sup>A</sup> |
| <b>Proteínas Totais</b> | 3,94±0,02                  | 4,17±0,26               | 4,27±0,32               | 4,10±0,27               | 4,09±0,27               |
| <b>Albumina</b>         | 0,90 ±0,05                 | 0,91 ±0,04              | 0,92±0,07               | 0,94±0,07               | 0,92±0,08               |
| <b>Triglicerídeos</b>   | 429,47±24,78               | 455,74±28,55            | 430,41±21,07            | 410,03±25,21            | 417,00±28,45            |
| <b>Colesterol</b>       | 122,46±9,80                | 132,36±19,40            | 135,38±13,60            | 109,63±16,92            | 122,98±10,39            |

Letras diferentes nas linhas diferem significativamente ( $P < 0,05$ ) entre si (ANOVA seguido do teste Tukey); glicose (mg dl<sup>-1</sup>), proteína total (g dl<sup>-1</sup>), albumina (g dl<sup>-1</sup>), triglicerídeos (g dl<sup>-1</sup>), colesterol (mg dl<sup>-1</sup>).

#### 4. Discussão

Pesquisas avaliando a utilização do biochar em sistemas de produção de peixes tem revelado sua capacidade de adsorver compostos orgânicos, nitrogênio, fósforo, amônia, metano e metais pesados, contribuindo para a melhoria da qualidade da água em sistemas de produção (Qi *et al.*, 2022; Bare *et al.*, 2023; Yang *et al.*, 2025).

No presente estudo, entretanto, a inclusão de biochar nas dietas não promoveu alterações significativas nos parâmetros físico-químicos da água. Este resultado pode estar associado à baixa carga orgânica do sistema e à duração do experimento. Embora tais efeitos não tenham sido observados nesta pesquisa, é plausível que, em sistemas com maior carga orgânica ou ciclos de cultivo mais longos, os benefícios do biochar sobre a qualidade da água se tornem mais expressivos. Adicionalmente, destaca-se que as unidades de cultivo foram submetidas a limpezas diárias, com a remoção dos resíduos de ração e excretas. Esse manejo de higiene rigoroso reduziu substancialmente o acúmulo

de matéria orgânica no sistema, limitando assim a oportunidade para a manifestação do potencial adsorvente do biochar. Dessa forma, infere-se que, em sistemas de cultivo intensivo, caracterizados por maiores densidades de estocagem, menor manejo de limpeza ou períodos de produção mais longos, os efeitos benéficos do biochar na qualidade da água possam tornar-se mais evidentes.

A análise de componentes principais mostrou-se uma ferramenta eficaz para discriminar os tratamentos e identificar as variáveis que mais contribuíram para as diferenças observadas. No CP1, as variáveis bioquímicas e hematológicas - como TRIG, COL, ALB, GLI, CHCM, HCM, VCM, Hb, Ht e Et - foram as que mais influenciaram a separação dos grupos. No CP2, as variáveis relacionadas ao desempenho zootécnico, como crescimento, ganho de peso e eficiência alimentar, foram as principais responsáveis pela distinção entre os tratamentos.

De modo geral, os peixes diferenciam-se principalmente pelos parâmetros sanguíneos (indicadores metabólicos e fisiológicos), e em menor grau, pelo consumo de ração. Isso sugere que as alterações bioquímicas e hematológicas foram mais sensíveis para discriminar os efeitos dos tratamentos do que as métricas zootécnicas tradicionais. Essa predominância de parâmetros sanguíneos no CP1 indica que os tratamentos influenciaram primeiramente o metabolismo e a homeostase dos peixes, enquanto as variáveis de desempenho refletem respostas secundárias. Alinhados com Ranzani-Paiva; Tavares-Dias, (2024), tais resultados reforçam a utilidade de indicadores hematológicos como ferramentas sensíveis para detectar alterações sutis em estudos com aditivos alimentares.

No primeiro componente principal, o índice hepatossomático (IHS) agrupou-se próximo às variáveis bioquímicas COL e TRIG e as variáveis de desempenho CR30 e CR70. Essa relação pode ser explicada pelo papel central do fígado no metabolismo energético, sendo responsável pela síntese e armazenamento de triglicerídeos como forma de reserva energética, além da produção de colesterol. Assim, colesterol e triglicerídeos configuram-se como importantes indicadores da função hepática, refletindo de forma significativa na saúde geral e na imunidade do organismo (Mabe *et al.*, 2018). Por outro lado, essas variáveis (IHS, COL, TRIG, CR30, CR70) apresentam relação inversa com VCM, CHCM, ALB, HCM, GLI, Hb, Ht, Et e FC 30.

A relação direta entre GLI, contagem de eritrócitos (Et) e Ht pode ser explicada pelo fato de que, em situações de maior demanda metabólica ou de estresse, ocorre a mobilização das reservas hepáticas de glicogênio, resultando na elevação da glicose plasmática. Esse aumento na disponibilidade energética está associado à uma maior produção de eritrócitos e consequente elevação do hematócrito, favorecendo o transporte de oxigênio e a manutenção das funções fisiológicas. Em contrapartida, essa resposta apresenta relação inversa com o IHS, uma vez que a utilização das reservas hepáticas leva à redução relativa de sua massa do fígado, justificando a oposição observada entre essas variáveis. Resultados semelhantes foram evidenciados na análise univariada, na qual se observou aumento significativo nos níveis de hematócrito e glicose.

De acordo com Ranzani-Paiva e Tavares-Dias (2024), a glicose plasmática desempenha papel central no metabolismo dos peixes e pode ser utilizada como indicador de estresse fisiológico. Nesse contexto, o estresse caracteriza-se principalmente pela elevação dos níveis de glicose e hematócrito, em resposta à mobilização energética e às alterações hematológicas associadas a esse processo. Além disso, a elevação simultânea

da glicose e do hematócrito sugere uma resposta integrada do organismo para suprir demandas energéticas e de oxigenação em cenários de desafio fisiológico, alinhando-se ao conceito de alostase em peixes (Barcelos *et al.*, 2000).

Os valores de hematócrito obtidos nos três primeiros tratamentos (0, 1 e 2%), variando entre 33 e 36%, estão próximos ao intervalo considerado normal para espécies do gênero *Prochilodus*, que, de acordo com Tavares *et al.* (2008) é em torno de 39, 4%. Contudo, nos níveis de 3% ( $41,88 \pm 3,15$ ) e 4% ( $48,88 \pm 3,17$ ) os valores ficaram acima do esperado, o que pode indicar estresse, aumento na capacidade de transporte de oxigênio ou alterações fisiológicas temporárias. Alterações no hematócrito decorrentes de estresse podem resultar em hemoconcentração, fenômeno que ocorre tanto pela perda de fluidos corporais quanto pela liberação de eritrócitos armazenados no baço, elevando os valores deste parâmetro. Esse aumento permite que o sangue transporte mais oxigênio por unidade de volume, configurando uma resposta fisiológica adaptativa ao estresse (Ranzani-Paiva; Tavares-Dias, 2024). Portanto, a resposta dose-dependente observada tanto para hematócrito quanto para hemoglobina corrobora a eficácia do biochar em relação ao grupo controle. A suplementação com biochar demonstra efeito modulador positivo no sistema hematopoiético de curimatás, com melhorias significativas na capacidade de transporte de oxigênio e na qualidade do sangue a partir de 2% de inclusão na dieta.

Em relação à glicose, observou-se um aumento significativo em função da elevação dos níveis de biochar na dieta. A concentração no tratamento controle (0% de biochar) foi de  $52,23 \pm 2,39$  mg/dL, valor próximo ao intervalo de referência para a espécie do gênero *Prochilodus* ( $51,3 \pm 22,9$  mg/dL), conforme estabelecido por Tavares *et al.* (2008). A partir da inclusão de 1% de biochar, os níveis de glicose aumentaram

significativamente, variando entre  $75,31 \pm 6,57$  e  $83,81 \pm 4,23$  mg/dL, valores acima dos limites de referência para a espécie. Esse padrão de elevação, observado mesmo sob menor consumo alimentar, especialmente na dieta com 4% de inclusão, indica que a hiperglicemia provavelmente não está associada ao maior aporte ou digestibilidade de glicose proveniente da ração.

Em vez disso, a resposta glicêmica parece refletir um aumento da produção endógena de glicose, possivelmente decorrente de um processo de gliconeogênese, em consonância com a redução observada no índice hepatossomático (IHS), um indicador compatível com mobilização energética e estresse fisiológico. Além disso, não se descarta a influência de componentes antinutricionais ou outros fatores associados ao biochar que possam ter desencadeado essa resposta metabólica. Esses resultados reforçam que mesmo baixas inclusões (1%) foram suficientes para provocar alterações fisiológicas relevantes.

Em relação à hemoglobina, os valores observados no controle ( $4,06 \pm 0,32$  g/dL) e no nível de 1% ( $4,11 \pm 0,30$  g/dL) permaneceram abaixo do intervalo de referência para a espécie. A partir do nível de 3% ( $7,39 \pm 0,66$  g/dL) e 4% ( $7,67 \pm 0,46$  g/dL) de biochar, os valores foram significativamente superiores aos do controle e do nível de 1%. Ressalta-se que, a partir de 3% de inclusão, os valores médios de hemoglobina aproximaram-se do intervalo de referência proposto por Parma *et al.* (2007), para espécies do mesmo gênero (aproximadamente  $7 \pm 1$  g/dL). Embora esses resultados sugiram que as maiores inclusões de biochar (3-4%) possa ter melhorado os níveis de hemoglobina, é importante considerar que esse benefício foi acompanhado por alterações metabólicas potencialmente adversas, como aumento simultâneo da glicose e do hematócrito, indicativo de possível estresse fisiológico ou desequilíbrio homeostático. Essa aparente contradição entre a melhoria em parâmetros hematológicos (hemoglobina) e sinais de

estresse metabólico (glicose elevada) reforça a necessidade de dosagens equilibradas de biochar, considerando tanto benefícios quanto potenciais custos fisiológicos.

Em relação aos índices hematimétricos, observou-se uma elevação progressiva da HCM e da CHCM com o aumento dos níveis de biochar na dieta, indicando uma melhoria qualitativa nas características dos eritrócitos. Contudo, apesar desse incremento, os valores permaneceram abaixo dos intervalos de referências descritos na literatura para a espécie (Tavares *et al.*, 2008; Cunha *et al.*, 2022). Isso sugere que, embora o biochar tenha exercido um efeito positivo na eritropoiese ou na maturação celular, sua suplementação não foi suficiente para normalizar completamente os parâmetros hematológicos esperados para a espécie.

As variáveis com cargas fortemente relacionadas ao segundo componente principal (CP2), como o GP (ganho de peso) aos 30 e 70 dias, PF (peso final) aos 30 e 70 dias, TRIG (triglicerídeos), COL (colesterol), IVS (índice viscerossomático) e TCE (taxa de crescimento específico) aos 30 e 70 dias agrupam-se no mesmo quadrante do biplot. Este agrupamento indica uma correlação positiva entre elas, sugerindo que tais variáveis variam de forma sincronizada, ou seja, o aumento de uma está associado ao aumento das outras. Em contrapartida, essas variáveis mostraram uma correlação negativa com o consumo de ração (CR 30) e o fator de condição (FC 30) que se posicionaram no quadrante oposto do CP2. Observou-se que, nas condições avaliadas, existe uma tendência de que, à medida que alguns indicadores de desempenho zootécnico (GP, PF, TCE) e parâmetros metabólicos (TRIG, COL) se elevam, o consumo de ração e o fator de condição apresentem redução, ou o inverso. Contudo, esse padrão deve ser interpretado com cautela, uma vez que o crescimento está diretamente relacionado ao aporte e à metabolização de nutrientes e energia provenientes da dieta. Assim, é esperado que o

desempenho pleno só ocorra quando o consumo de ração é adequado para suprir as exigências nutricionais da espécie.

Dessa forma, o que os resultados sugerem não é necessariamente que maior desempenho implique automaticamente menor consumo, mas que os peixes que apresentaram melhor crescimento e maiores reservas energéticas podem ter utilizado de forma mais eficiente os nutrientes ingeridos.

Os resultados desta análise multivariada reforçam as evidências de que a inclusão de biochar, como aditivo alimentar, promove alterações fisiológicas e zootécnicas dependente do nível de suplementação. Observou-se na distribuição dos tratamentos no gráfico, que o controle (0%) e os grupos com 1% e 2% de biochar se posicionaram próximos entre si, enquanto os tratamentos com 3% e 4% de biochar se posicionaram em regiões opostas. Isso indica que os níveis mais elevados de biochar provocaram respostas mais pronunciadas nos parâmetros sanguíneos, destacando a importância da dosagem na manifestação dos efeitos do aditivo.

Com base no biplot, a análise individual dos tratamentos mostrou que os níveis 0% e 2% apresentaram maior associação com o consumo de ração e fator de condição, indicando relação com maior ingestão alimentar e influência neste índice. O nível de 1%, esteve mais próximo das variáveis colesterol, índice hepatossomático, triglicerídeos e proteínas totais, sugerindo maior sobrecarga metabólica. O nível 3% associou-se principalmente às variáveis sanguíneas (albumina, hemoglobina corpuscular média, concentração de hemoglobina corpuscular média e volume corpuscular médio), além de estar relacionado ao rendimento de carcaça. Já o nível 4% destacou-se pelo hematócrito,

diferenciando-se dos demais tratamentos e mantendo maior distanciamento em relação às outras variáveis.

Tanto a análise multivariada quanto a univariada indicaram que a inclusão de biochar na dieta de curimatás exerceu efeitos distintos sobre o desempenho zootécnico e os parâmetros sanguíneos. Aos 30 e 70 dias, observou-se redução significativa no consumo de ração nos tratamentos com biochar, enquanto o grupo controle apresentou os maiores valores. Apesar da redução no consumo, não foram registradas diferenças expressivas no peso final e no ganho de peso, sugerindo que o biochar, nos níveis de inclusão avaliados, não compromete o crescimento dos peixes.

Mabe *et al.* (2018), ao analisarem o efeito da suplementação de biochar de bambu no crescimento e nos parâmetros bioquímicos da carpa comum (*Cyprinus carpio*), observaram que o biocarvão não exerceu efeito significativo sobre o crescimento dos peixes. No entanto, relataram diferenças nos níveis de proteína total, triglicerídeos, colesterol e glicose no nível de 4% de inclusão.

Embora alguns estudos indiquem que o biochar *pode* melhorar o desempenho, a conversão alimentar e a digestibilidade em peixes, esses efeitos dependem do tipo de biochar, da espécie e da fase de criação. Em *Catla catla*, biochar de resíduos de aves aumentou ganho de peso e taxa de crescimento específico (Khalid *et al.*, 2022), enquanto em tilápias, biochars de casca de arroz e bagaço de cana-de-açúcar favorecem crescimento, saúde geral e produtividade, sendo o bagaço de cana mais eficaz (Kara *et al.*, 2023). Resultados semelhantes foram observados em outros peixes exóticos, como truta marrom (*Salmo trutta*), linguado-oliva (*Paralichthys olivaceus*), carpa comum (*Cyprinus carpio*) e rohu (*Labeo rohita*), com diferentes fontes de biochar, como resíduos

de aves, bambu e sabugo de milho (Thu *et al.*, 2010; Khalid *et al.*, 2024; Amjad *et al.*, 2025). Esses achados são promissores, mas reforçam a necessidade de estudos com outras espécies nativas brasileiras, para avaliar possíveis respostas diferenciadas e ampliar o conhecimento sobre os efeitos dos diferentes tipos e níveis de inclusão do biochar em diferentes contextos de cultivo.

Os benefícios mencionados são atribuídos a múltiplos mecanismos, incluindo a capacidade do biochar de adsorver gases e compostos tóxicos no trato gastrointestinal, o que favorece um ambiente mais propício à digestão e a absorção de nutrientes (Khalid *et al.*, 2024). Além disso, há evidências de que o biochar facilita a formação de biofilmes microbianos no intestino, os quais podem atuar como catalisadores de reações digestivas e estimular a síntese proteica local, contribuindo para o crescimento dos animais (Leng, 2014). Esses biofilmes funcionam como microecossistemas simbióticos, promovendo a saúde intestinal e otimizando a eficiência alimentar, hipótese compatível com a redução no consumo de ração observada em nosso experimento nos grupos com maiores níveis de biochar.

Diante da ausência de benefícios produtivos, recomenda-se a realização de estudos adicionais envolvendo outras espécies de peixes, diferentes fases de desenvolvimento e períodos experimentais prolongados, a fim de esclarecer os efeitos do biochar sobre o metabolismo, a imunidade e a produtividade. Investigações voltadas aos mecanismos de ação e às interações com outros aditivos alimentares são igualmente necessárias para subsidiar protocolos de uso mais seguros e eficientes.

## 5. Conclusão

O biochar de casca de arroz reduziu o consumo de ração sem promover melhorias no crescimento das curimatás (*Prochilodus* sp.), apresentando efeitos mais marcantes apenas nos parâmetros sanguíneos. Assim, seu uso não se mostrou vantajoso para a espécie nas condições avaliadas, uma vez que os benefícios foram restritos à esfera fisiológica, reforçando a necessidade estudos adicionais para esclarecer seus mecanismos de ação e definir protocolos de aplicação realmente eficazes e seguros em peixes nativos brasileiros.

## Referências

- Allaman, I. B.; Freitas, R. T. F.; Viveiros, A. T. M.; Nascimento, A. F.; Oliveira, G. R.; Reis-Neto, R. V. 2012. Efeito materno e paterno sobre as taxas de fertilização e eclosão em curimba (*Prochilodus lineatus*). *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v. 64, n. 6, p. 1584-1590.
- Amjad, M.; Hussain, S. M.; Ali, S.; Rizwan, M.; Ahmad, A.; Yong, J.W.H. 2025. Agro-Waste Biochar Conversion into a Fish Feed Additive: Assessing its Effects on the Health and Performance of *Cyprinus carpio*. *Waste and Biomass Valorization*, v. 16, n. 2, p. 901–910.
- Barcelos, L. J.; Souza, S. M. G.; Woehl, V. M. 2000. Estresse em peixes: Fisiologia da resposta ao estresse, causa e consequências (revisão). *Boletim do Instituto de Pesca*, v. 26 n. 1 p. 99-111.
- Bare, W. F. R. 2023. Controlling Eutrophication of Aquaculture Production Water Using Biochar: Correlation of Molecular Composition with Adsorption Characteristics as Revealed by FT-ICR Mass Spectrometry. *Processes*, v. 11, n. 10, p. 2883.
- Bomfim, M.A.D. et al. Proteína Bruta e Energia Digestível em dietas para alevinos de Curimbatá (*Prochilodus affinis*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, 34 (6), 1797-1800, 2005
- Cardoso, A. S.; El-Deir, S. G.; Cunha, M. C. C. 2016. Bases da sustentabilidade para atividade de piscicultura no semiárido de Pernambuco. *Interações* (Campo Grande), v. 17, p. 645-653.
- Côrrea, R.O.; Silva, R.S. 2022. Bases para o manejo alimentar sustentável na piscicultura. Brasília- DF, *Embrapa*.
- Cunha, D. M.; Calixto, F. A. A.; Takata, R.; Portugal, A. C. B.; Martins, G. R. F. C.; Uehara, S. A.; Fonseca, A. B. M.; Mesquita, E. F. M.; Alsmosny, N. R. P. 2022.

Influence of seasonality on hematological parameters of farmed streaked prochilod (*Prochilodus lineatus*). *Research, Society and Development*, v. 11, n. 12.

Gonçalves, A. F. N.; Takahashi, L. S.; Urbinati, E. C.; Biller, J. D.; Fernandes, J. B. K. 2010. Transporte de juvenis de curimatã *Prochilodus lineatus* em diferentes densidades. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 32, n. 2, p. 205-211.

Ituassú, D.R.; Porto, S.M.A.; Cavero, B.A.S.Da Fonseca, F.A.L. 2020. Cultivo de Curimatã (*Prochilodus* spp.). In: Espécies nativas para a piscicultura no Brasil. Bernardo Baldisserotto (Org), 3º ed. rev. Santa Maria, Ed.UFSM, 544p.

Khalid, M. A. Hussain, S.M.; Ali, S.; Ali, Q.; Rizwan, M.; Paray, B.A.; Sarker, P.K.; Naeem, A.2024. Impact of feeding biochar sources in rohu (*Labeo rohita*): Evaluating the growth, nutrient absorption, carcass composition, haematology and mineral status. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, v. 108, n. 4, p. 1028–1037, 11 jul.

Kara, T. Bharti, V. S.; Amal, C.T.; Shukla, S. P. manupati, A. A. R.; Sahul, N. P.2024. Sugarcane bagasse biochar enhances the growth parameters, haematological parameters, and enzyme activities of genetically improved farmed tilapia (GIFT) reared in inland saline water. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 31, n. 53, p. 62346–62357.

Khalid, M. A.; Hussain, S.M.; Mahboob, S.; Al-Gahnim, K.A.; Riaz, M.N. et al.2022. Biochar as a feed supplement for nutrient digestibility and growth performance of *Catla catla* fingerlings. *Saudi Journal of Biological Sciences*, v. 29, n. 12, p. 103453.

Leng, R. A. 2014. Interactions between microbial consortia in biofilms: a paradigm shift in rumen microbial ecology and enteric methane mitigation. *Animal Production Science*, v. 54, p. 519–543.

Mabe, L.T.; Su, S.; Tang, D.; Zhu, W.; Wang, S.; Dong, Z. 2018. The effect of dietary bamboo charcoal supplementation on growth and serum biochemical parameters of juvenile common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture Research*. v. 49, p.1142–1152.

Makino, L. C.; Faustino, F.; Paes, M. C.; Beraldo-Massoli, M. V.; Schocken-Iturrino, R. P.; Nakaghi, L. S. O. 2012. Morfologia e quantificação da microbiota intestinal do curimatã (*Prochilodus lineatus*) e do cascudo cinza (*Pterygoplichthys anisitsi*) cultivados em cativeiro. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v. 64, n. 4, p. 916-926.

Man, K.Y.; Chow, K.L.; Man, Y.B.; Mo, W. Y.; Wong, M.H. 2021. Use of biochar as feed supplements for animal farming. *Critical reviews in environmental science and technology*, 51, n. 2, 187-217.

Marchão, R.S.; Copatti, C.E.; Ribeiro, F.B.; Bomfim, M.A.D.; Lima, M.S.; Batista, V.F. et al., 2023. Evaluation of dietary tryptophan requirement on growth, whole-body composition, and hematobiochemical parameters of tambaqui (*Colossoma macropomum*) in the fattening phase. *Aquaculture International* v. 32, p. 633-652.

- Marchão, R.S.; Ribeiro, F. B.; Bomfim, M. A. D.; Pereira, G. A.; Rocha, A. S.; Vidal, L. V. O.; Copatti, C. E.; Melo, J. F. B. 2022. Digestible threonine requirement in tambaqui (*Colossoma macropomum*) diets: Growth, body deposition, haematology and metabolic variables. *Aquaculture Research*. p. 1-13.
- Murgas, L. D. S., Miliorini, A. B., Freitas, R. T. F.; Pereira, G. J. M. 2007. Criopreservação do sêmen de curimba (*Prochilodus lineatus*) mediante adição de diferentes diluidores, ativadores e crioprotetores. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 36, n. 3, p. 526-531.
- Pandão, M. R.; Lalitha, G. R.; Kishore, A. J.; Padhan, S. R.; Panotra, N.; Gulaiya, S.; Pandey, S. K. 2023. A Comprehensive Review on Biochar. *Int. J. Environ. Clim. Change*, v. 13, n. 11, p. 3453-3461.
- Parma, M. J.; Loteste, A.; Campana M.; Bacchetta, C. 2007. Changes of hematological parameters in *Prochilodus lineatus* (Pisces, Prochilodontidae) exposed to sublethal concentration of cypermethrin. *Journal of Environmental Biology* v. 28, n. 1, p. 147-149.
- Qi, X. Yin, H.; Zhu, M.; Yu, X.; Shao P.; Dang, Z.2022. MgO-loaded nitrogen and phosphorus self-doped biochar: High-efficient adsorption of aquatic Cu<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, and Pb<sup>2+</sup> and its remediation efficiency on heavy metal contaminated soil. *Chemosphere*, v. 294, p. 133733.
- Queiroz, J. F.; Alves, J.M.C.; Losekann, M.E.; Frascá-Scorvo, C.M.D.; Scorvo-Filho, J.D.; Ferri, G.H.; Ishikawa, M.M. 2021. Manejo alimentar e da qualidade da água na produção de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*). Brasília-DF, *Embrapa*.
- Ranzani-Paiva, M. J. T.; Tavares-Dias, M. 2024. Fish hematology in Brazil: A review. *Bol. Inst. Pesca*, v. 50, n. 914.
- Schmidt, H. P. Hagemann, N.; Drapper K.; Kammann, C.2019. The use of biochar in animal feeding. *PeerJ*, v. 7, p. e7373, 31.
- Tavares-Dias, M.; Moraes, F. R.; Imoto, M. E. 2008. Hematological parameters in two neotropical freshwater teleost, *Leporinus macrocephalus* (Anostomidae) and *Prochilodus lineatus* (Prochilodontidae). *Biosci. J.*, v. 24, n. 3, p. 96-101.
- Thu, M.; Koshio, S.; Ishikawa, M.; Yokoyama, S. 2010. Effects of Supplementation of Dietary Bamboo Charcoal on Growth Performance and Body Composition of Juvenile Japanese Flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, v. 41, n. s2, p. 255–262.
- Yang, P.; Sun, D.; Liu, W.; Liu, K.; Yang, H.; Tong, C.et al.2025. Use of biochar derived from *Spartina alterniflora* to reduce sediment methane (CH<sub>4</sub>) production potential during non-farming period in earthen aquaculture ponds. *Environmental Pollution*, v. 367, p. 125575.

## **ANEXOS**

### **NORMAS DA REVISTA ACTA AMAZÔNICA**

Os manuscritos devem ser escritos em inglês. A veracidade das informações contidas numa submissão é de responsabilidade exclusiva dos autores.

A extensão máxima para artigos e revisões é de 30 páginas (ou 7500 palavras, excluindo a folha de rosto), dez páginas (2500 palavras) para Notas Científicas e cinco páginas para outros tipos de contribuições.

Os manuscritos formatados conforme as Instruções aos Autores são enviados aos editores associados para pré-avaliação. Neste primeiro julgamento são levados em consideração a relevância científica, a inteligibilidade do manuscrito e o escopo no contexto amazônico. Nesta fase, contribuições fora do escopo da Revista ou de pouca relevância científica são rejeitadas. Manuscritos aprovados na pré-avaliação são enviados para revisores (pelo menos dois), especialistas de instituições diferentes daquelas dos autores, para uma análise mais detalhada.

A aprovação dos manuscritos está fundamentada no conteúdo científico e na sua apresentação conforme as Normas da Revista.

Os manuscritos que necessitam correções são encaminhados aos autores para revisão. A versão corrigida deve ser encaminhada ao Editor, via sistema da Revista, no prazo de DUAS semanas. Uma carta de encaminhamento deve ser também carregada no sistema da Revista, detalhando as correções efetuadas. Nessa carta, recomendações não incorporadas ao manuscrito devem ser explicadas. Todo o processo de avaliação pode ser acompanhado no endereço, <http://mc04.manuscriptcentral.com/aa-scielo>.

Seguir estas instruções para preparar e carregar o manuscrito:

Folha de rosto (Title page): Esta página deve conter o título, nomes (com último sobrenome em maiúscula), endereços institucionais completos dos autores e endereço eletrônico do autor correspondente. Os nomes das instituições não devem ser abreviados. Usar um asterisco (\*) para indicar o autor correspondente.

Carregar este arquivo selecionando a opção: "Title page"

Corpo do manuscrito (main document). O corpo do manuscrito deve ser organizado da seguinte forma: Título, Resumo, Palavras-Chave, Introdução, Material e Métodos, Resultados, Discussão, Conclusões, Agradecimentos, Bibliografia Citada, Legendas de figuras e Tabelas. Além do “main document” em inglês, o manuscrito deve ter “Título, Resumo e Palavras-chave” em português ou espanhol.

Carregar este arquivo como "Main document".

Figuras. São limitadas a sete em artigos. Cada figura deve ser carregada em arquivo separado e estar em formato gráfico (JPG ou TIFF). Deve ser em alta qualidade e com resolução de 300 dpi. Para ilustrações em bitmap, utilizar 600 dpi.

Carregar cada um destes arquivos como "Figure".

Tabelas. São permitidas até cinco tabelas por artigo. Utilizar espaço simples e a função "tabela" para digitar a tabela. As tabelas devem ser inseridas ao final do corpo do manuscrito (main document), após as legendas das figuras.

As Notas Científicas são redigidas separando os tópicos: Introdução, Material e Métodos, Resultados, Discussão e Conclusões em parágrafos, mas sem incluir os títulos das seções. Os outros tópicos da Nota Científica devem seguir o formato do artigo completo. São permitidas até três figuras e duas tabelas. Carregar as diferentes partes do manuscrito como descrito no Item 8.

Nomes dos autores e endereço institucional completo, incluindo endereço electrónico DEVEM ser cadastrados no sistema da Revista no ato da submissão.

**IMPORTANTE:** Os manuscritos não formatados conforme as Normas da Revista NÃO são aceitos para publicação.

## FORMATO E ESTILO

Os manuscritos devem ser preparados usando editor de texto (e.g. doc ou docx), utilizando fonte "Times New Roman", tamanho 12 pt, espaçamento duplo, com margens

de 3 cm. As páginas e as linhas devem ser numeradas de forma contínua. Para tabelas ver Item 8d.

**Título.** Justificado à esquerda, com a primeira letra maiúscula. O título deve ser conciso evitando-se o uso de nomes científicos.

**Resumo.** Deve conter até 250 palavras (150 palavras no caso de Notas Científicas). Iniciar o Resumo com uma breve introdução, logo a seguir informar os objetivos de forma clara. De forma sucinta informar a metodologia, os resultados e as conclusões enfatizando aspectos importantes do estudo. O resumo deve ser autossuficiente para a sua compreensão. Os nomes científicos das espécies e demais termos em latim devem ser escritos em *itálico*. Siglas devem ser evitadas nesta seção; porém, se necessárias, o significado deve ser incluído. Não utilizar referências bibliográficas no resumo.

**Palavras-chave.** Devem ser em número de quatro a cinco. Cada palavra-chave pode conter dois ou mais termos. Porém, não devem ser repetidas palavras utilizadas no título.

**Introdução.** Enfatizar o propósito do trabalho e fornecer, de forma sucinta, o estado do conhecimento sobre o tema em estudo. Especificar claramente os objetivos ou hipóteses a serem testados. Esta seção não deve exceder de 35 linhas. Não incluir resultados ou conclusões e não utilizar subtítulos na Introdução. Encerrar esta seção com os objetivos.

**Material e Métodos.** Esta seção deve ser organizada cronologicamente e explicar os procedimentos realizados, de tal modo que outros pesquisadores possam repetir o estudo. O procedimento estatístico utilizado deve ser descrito nesta seção. O tipo de análise estatística aplicada aos dados deve ser descrita. Procedimentos-padrão devem ser apenas referenciados. As unidades de medidas e as suas abreviações devem seguir o Sistema Internacional e, quando necessário, deve constar uma lista com as abreviaturas utilizadas. Equipamento específico utilizado no estudo deve ser descrito (modelo, fabricante, cidade e país de fabricação, entre parênteses). Por exemplo: "A fotossíntese foi determinada usando um sistema portátil de trocas gasosas (Li-6400, Li-Cor, Lincoln, NE, USA)". Material testemunho (amostra para referência futura) deve ser depositado em uma ou mais coleções científicas e informado no manuscrito. NÃO utilizar sub-subtítulos nesta seção. Utilizar **negrito**, porém não *itálico* ou letras maiúsculas para os subtítulos.

Aspectos éticos e legais. Para estudos que exigem autorizações especiais (e.g. Comitê de Ética/Comissão Nacional de Ética em Pesquisa - CONEP, IBAMA, SISBIO, CNPq, CNTBio, INCRA/FUNAI, EIA/RIMA, outros) informar o número do protocolo e a data de aprovação. É responsabilidade dos autores o cumprimento da legislação específica relacionada a estes aspectos.

Resultados. Os resultados devem apresentar os dados obtidos com o mínimo julgamento pessoal. Não repetir no texto toda a informação contida em tabelas e figuras. Não apresentar a mesma informação (dados) em tabelas e figuras simultaneamente. Não utilizar sub-subtítulos nesta seção. Algarismos devem estar separados de unidades. Por exemplo, 60 °C e NÃO 60° C, exceto para percentagem (e.g., 5% e NÃO 5 %).

Unidades: Utilizar unidades e símbolos do Sistema Internacional e simbologia exponencial. Por exemplo, cmol kg<sup>-1</sup> em vez de meq/100g; m s<sup>-1</sup> no lugar de m/s. Use espaço no lugar de ponto entre os símbolos: m s<sup>-1</sup> e não m.s<sup>-1</sup>; use “-” e não “-” para indicar número negativo. Por exemplo: -2 no lugar de -2. Use kg e não Kg; km no lugar de Km.

Discussão. A discussão deve ter como alvo os resultados obtidos. Evitar mera especulação. Entretanto, hipóteses bem fundamentadas podem ser incorporadas. Apenas referências relevantes devem ser incluídas.

Conclusões. Esta seção (um parágrafo) deve conter uma interpretação sucinta dos resultados e uma mensagem final que destaque as implicações científicas do trabalho.

Agradecimentos devem ser breves e concisos. Incluir agência(s) de fomento. NÃO abreviar nomes de instituições.

Bibliografia Citada. Pelo menos 70% das referências devem ser artigos de periódicos científicos. As referências devem ser preferencialmente dos últimos 10 anos, evitando-se exceder 40 citações. Esta seção deve ser organizada em ordem alfabética e deve incluir apenas citações mencionadas no manuscrito. Para referências com mais de dez autores, relacionar os seis primeiros seguido de *et al.* Nesta seção, o título do periódico NÃO deve ser abreviado.

Observar os exemplos abaixo:

a) Artigos de periódicos:

Villa Nova, N.A.; Salati, E.; Matsui, E. 1976. Estimativa da evapotranspiração na Bacia Amazônica. *Acta Amazonica*, 6: 215-228.

Artigos de periódicos que não seguem o sistema tradicional de paginação:

Ozanne, C.M.P.; Cabral, C.; Shaw, P.J. 2014. Variation in indigenous forest resource use in Central Guyana. *PLoS ONE*, 9: e102952.

b) Dissertações e teses:

Ribeiro, M.C.L.B. 1983. *As migrações dos jaraquis (Pisces: Prochilodontidae) no rio Negro, Amazonas, Brasil*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/ Fundação Universidade do Amazonas, Manaus, Amazonas. 192p.

c) Livros:

Steel, R.G.D.; Torrie, J.H. 1980. *Principles and procedures of statistics: a biometrical approach*. 2da ed. McGraw-Hill, New York, 1980, 633p.

d) Capítulos de livros:

Absy, M.L. 1993. Mudanças da vegetação e clima da Amazônia durante o Quaternário. In: Ferreira, E.J.G.; Santos, G.M.; Leão, E.L.M.; Oliveira, L.A. (Ed.). *Bases científicas para estratégias de preservação e desenvolvimento da Amazônia*. v.2. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, p.3-10.

e) Citação de fonte eletrônica:

CPTEC, 1999. Climanalise, 14: 1-2 ([www.cptec.inpe.br/products/climanalise](http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise)). Acesso em 19/05/1999.

f) Citações com mais de dez autores:

Tseng, Y.-H.; Kokkotou, E.; Schulz, T.J.; Huang, T.L.; Winnay, J.N.; Taniguchi, C.M.; *et al.* 2008. New role of bone morphogenetic protein 7 in brown adipogenesis and energy expenditure. *Nature* 454:1000-1004.

23. Citações de referências no texto. As referências devem seguir ordem cronológica. Para duas ou mais referências do mesmo ano citar conforme a ordem alfabética. Exemplos:

a) Um autor:

Pereira (1995) ou (Pereira 1995).

b) Dois autores:

Oliveira e Souza (2003) ou (Oliveira e Souza 2003).

c) Três ou mais autores:

Rezende *et al.* (2002) ou (Rezende *et al.* 2002).

d) Citações de anos diferentes (ordem cronológica):

Silva (1991), Castro (1998) e Alves (2010) ou (Silva 1991; Castro 1998; Alves 2010).

e) Citações no mesmo ano (ordem alfabética):

Ferreira *et al.* (2001) e Fonseca *et al.* (2001); ou (Ferreira *et al.* 2001; Fonseca *et al.* 2001).

## FIGURAS

Fotografias, desenhos e gráficos devem ser de alta resolução, em preto e branco com alto contraste, numerados sequencialmente em algarismos arábicos. NÃO usar tonalidades de cinza em gráficos de dispersão (linhas ou símbolos) ou gráficos de barra. Em gráfico de dispersão usar símbolos abertos ou sólidos (círculos, quadrados, triângulos ou losangos) e linhas em preto (contínuas, pontilhadas ou tracejadas). Para gráfico de barra, usar barras pretas, bordas pretas, barras listradas ou pontilhadas. Na borda da área de plotagem utilizar uma linha contínua e fina, porém NÃO usar uma linha de borda na área do gráfico.

Em figuras compostas cada uma das imagens individuais deve ser identificada com uma letra maiúscula posicionada no canto superior direito, dentro da área de plotagem.

Evitar legendas desnecessárias na área de plotagem. Nos títulos dos eixos ou na área de plotagem NÃO usar letras muito pequenas (< tamanho 10 pt). Nos eixos usar marcas de escala internas. NÃO usar linhas de grade horizontais ou verticais, exceto em mapas ou ilustrações similares. O significado das siglas utilizadas deve ser descrito na legenda da figura. Cada eixo do gráfico deve ter o seu título e a unidade. Evitar muitas subdivisões nos eixos (cinco a seis seriam suficientes). Em mapas incluir escala e pelo menos um ponto cardeal.

As figuras devem ser elaboradas de forma compatível com as dimensões da Revista, ou seja, largura de uma coluna (8 cm) ou de uma página 17 cm e permitir espaço para a legenda. As ilustrações podem ser redimensionadas durante o processo de produção para adequação ao espaço da Revista. Na figura, quando for o caso, a escala deve ser indicada por uma barra (horizontal) e, se necessário, referenciadas na legenda da figura. Por exemplo, barra = 1 mm.

Citação de figuras no texto. As figuras devem ser citadas com letra inicial maiúscula, na forma direta ou indireta (entre parêntesis). Por exemplo: Figura 1 ou (Figura 1). Na legenda, a figura deve ser numerada seguida de ponto antes do título. Por exemplo: "Figura 1. Análise...". Definir na legenda o significado de símbolos e siglas usados. Figuras devem ser autoexplicativas.

Figuras de outras autorias. Para figuras de outras autorias ou publicadas anteriormente, os autores devem informar explicitamente no manuscrito que a permissão para reprodução foi concedida. Carregar no sistema da Revista (não para revisão), como documento suplementar, o comprovante outorgado pelo detentor dos direitos autorais.

Adicionalmente às figuras inseridas no sistema em formato TIFF ou JPG, os gráficos preparados usando Excel ou SigmaPlot podem ser carregados como arquivos suplementares (selecionando a opção Not for review).

Ilustrações coloridas. Fotografias e outras ilustrações devem ser preferencialmente em preto e branco. Ilustrações coloridas são aceitas, mas o custo de impressão é por conta

dos autores. Sem custo para os autores, podem ser usadas ilustrações em preto e branco na versão impressa e coloridas na versão eletrônica. Nesse caso, isso deve ser informado na legenda da figura. Por exemplo, adicionando a sentença: " this figure is in color in the electronic version". Esta última informação é para os leitores da versão impressa.

Os autores podem ser convidados a enviar uma fotografia colorida, para ilustrar a capa da Revista. Nesse caso, não há custos para os autores.

## TABELAS

As tabelas devem ser organizadas e numeradas sequencialmente com algarismos arábicos. A numeração e o título (legenda) devem estar em posição superior à tabela. A tabela pode ter notas de rodapé. O significado das siglas e dos símbolos utilizados na tabela (cabeçalhos, etc.) devem ser descritos no título. Usar linhas horizontais acima e abaixo da tabela e para separar o cabeçalho do corpo da tabela. Não usar linhas verticais.

As tabelas devem ser elaboradas em editor de texto (e.g. doc ou docx) e não devem ser inseridas no texto como imagem (e.g. no formato JPG).

A citação das tabelas no texto pode ser na forma direta ou indireta (entre parêntesis), por extenso, com a letra inicial maiúscula. Por exemplo: Tabela 1 ou (Tabela 1). Na legenda, a tabela deve ser numerada seguida de ponto antes do título: Por exemplo: "Tabela 1. Análise...". Tabelas devem ser autoexplicativas.