

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Farinha de moscas em dietas para Siluriformes: crescimento, eficiência de utilização dos nutrientes, metabolismo e status oxidativo

Juliana Rodrigues Gomes
Doctor Scientiae

VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024

JULIANA RODRIGUES GOMES

Farinha de moscas em dietas para Siluriformes: crescimento, eficiência de utilização dos nutrientes, metabolismo e status oxidativo

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Rodrigo Fortes da Silva

Coorientadores: Leandro Santos Costa
Jener A Sampaio Zuanon

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

G633f
2024
Gomes, Juliana Rodrigues, 1993-
Farinha de moscas em dietas para Siluriformes:
crescimento, eficiência de utilização dos nutrientes, metabolismo
e status oxidativo / Juliana Rodrigues Gomes. – Viçosa, MG,
2024.

1 tese eletrônica (71 f.): il.

Inclui anexos.

Orientador: Rodrigo Fortes da Silva.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Zootecnia, 2024.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.815>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Siluriformes - Nutrição. 2. Siluriformes - Alimentação e
rações. 3. Antioxidantes. 4. Alimentos alternativos.
5. Sustentabilidade. I. Silva, Rodrigo Fortes da, 1977-.
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Zootecnia.
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. III. Título.

CDD 22. ed. 639.3749

JULIANA RODRIGUES GOMES

Farinha de moscas em dietas para Siluriformes: crescimento, eficiência de utilização dos nutrientes, metabolismo e status oxidativo

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 26 de setembro de 2024.

Assentimento:

Juliana Rodrigues Gomes
Autora

Rodrigo Fortes da Silva
Orientador

Essa tese foi assinada digitalmente pela autora em 12/12/2024 às 12:35:33 e pelo orientador em 13/12/2024 às 17:03:05. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **4KCG.LDWN.WOJC** e clique no botão 'Validar documento'.

AGRADECIMENTOS

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

RESUMO

GOMES, Juliana Rodrigues, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2024. **Farinha de moscas em dietas para Siluriformes: crescimento, eficiência de utilização dos nutrientes, metabolismo e status oxidativo.** Orientador: Rodrigo Fortes da Silva. Coorientadores: Leandro Santos Costa e Jener Alexandre Sampaio Zuanon.

A intensificação dos sistemas de produção faz-se necessário para atender à crescente demanda por alimentos de origem animal e contribuir para a segurança alimentar. Nesses sistemas, o uso de rações de alta qualidade é essencial para proporcionar rápido crescimento dos peixes e minimizar os impactos ambientais. Nesse contexto, as farinhas de insetos apresentam-se como uma alternativa promissora para atender a demanda por ingredientes proteicos devido ao seu elevado teor de proteína, lipídios, vitaminas e minerais, além de exigir menos recursos em sua produção em comparação com ingredientes tradicionais. A farinha de mosca doméstica (FMD) e a farinha de mosca soldado negra (FMSN) têm demonstrado potencial pelos efeitos benéficos na produtividade, saúde intestinal e bem-estar dos peixes. Dessa forma, é essencial o desenvolvimento de rações mais sustentáveis ambientalmente e eficazes na produção dos peixes nativos da América do sul, como o pintado amazônico, *Pseudoplatystoma reticulatum* x *Leiarius marmoratus*, e o jundiá, *Rhamdia quelen*. Para tanto, foram realizados dois experimentos onde objetivamos avaliar a substituição da proteína da farinha de peixe (FP) pela proteína da FMD sobre o crescimento e a eficiência de utilização dos nutrientes do híbrido *Pseudoplatystoma reticulatum* x *Leiarius marmoratus*, no primeiro experimento, bem como avaliar a inclusão da FMSN sobre o crescimento, a eficiência de utilização dos nutrientes e status redox do jundiá, *Rhamdia quelen*, no segundo experimento. No primeiro experimento, juvenis de *P. reticulatum* x *L. marmoratus* foram distribuídos aleatoriamente em 25 aquários e alimentados com dietas contendo níveis crescentes de substituição da proteína da FP pela da FMD (0; 25; 50; 75 e 100%) durante 60 dias. Não foram observados efeitos significativos da substituição da proteína da FP pela da FMD para as variáveis de desempenho produtivo, índices corporais, variáveis metabólicas e status redox. Esses resultados indicam que a proteína da FMD pode substituir até 100% da proteína da FP em dietas para o híbrido *P. reticulatum* x *L. marmoratus* sem comprometer o crescimento e a saúde dos peixes. No segundo experimento, juvenis de jundiá foram distribuídos aleatoriamente em 25 aquários e alimentados com dietas contendo níveis crescentes de inclusão da FMSN (0; 5; 10; 15 e 20%) durante 80 dias. A inclusão da FMSN não influenciou as variáveis de desempenho produtivo e índices corporais, com exceção do rendimento da

carcaça e do índice viscerossomático. Os peixes alimentados com as dietas contendo 5, 15 e 20 % de inclusão da FMSN apresentaram maior rendimento de carcaça e menor índice viscerossomático que os peixes alimentados com dieta isenta de FMSN (controle). Da mesma forma, não houve efeito significativo da inclusão da FMSN para a composição química da carcaça e variáveis metabólicas, exceto para os níveis de glicose plasmática. Os peixes alimentados com as dietas contendo 15 e 20% de inclusão da FMSN apresentaram maior teor de glicose plasmática do que o controle (sem FMSN) e que o tratamento com 5% de inclusão de FMSN. Para as variáveis do status redox hepático, foram observados efeitos significativos da inclusão da FMSN apenas para a atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD) e glutathione-S-transferase (GST). Embora o tratamento com 20% de inclusão tenha apresentado atividade da SOD maior do que dos peixes alimentados com as dietas com 5 e 10% de inclusão, nenhum dos tratamentos com FMSN apresentou atividade da SOD diferente do controle. A atividade da GST no fígado dos peixes alimentados com dietas contendo 15 e 20% de inclusão de FMSN foi maior do que nos peixes do controle, o que indica maior proteção contra espécies reativas de oxigênio. Portanto, é possível incluir até 20% de FMSN em dietas para juvenis de jundiá sem prejuízos para o crescimento e a eficiência de utilização dos nutrientes, além de contribuir com maior rendimento de carcaça. Contudo, ainda são necessários novos estudos para avaliar níveis mais altos de inclusão da FMSN, uma vez que no presente estudo não foi possível estabelecer níveis máximos de inclusão para essa espécie. Dessa forma, as farinhas de moscas avaliadas se mostraram como ingredientes de alta qualidade e, portanto, podem ser utilizadas em rações para o híbrido *P. reticulatum* x *L. marmoratus* e *Rhamdia quelen*. Para avaliar a sustentabilidade de seu uso em dietas para peixes cultivados, ainda são necessários estudos que mostrem o impacto da utilização de farinha de moscas sobre a qualidade da água de cultivo e nos efluentes da criação.

Palavras-chave: antioxidantes; ingredientes alternativos; nutrição de peixes; sustentabilidade

ABSTRACT

GOMES, Juliana Rodrigues, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September, 2024. **Fly meals in diets for Siluriformes: growth, nutrient utilization efficiency, metabolism and oxidative status.** Adviser: Rodrigo Fortes da Silva. Co-advisers: Leandro Santos Costa and Jener Alexandre Sampaio Zuanon.

The intensification of production systems is necessary to meet the growing demand for animal-based food and contribute to food security. In these systems, the use of high-quality feeds is essential to ensure rapid fish growth and minimize environmental impacts. In this context, insect meals emerge as a promising alternative to meet the demand for protein ingredients due to their high content of protein, lipids, vitamins, and minerals, while requiring fewer resources for their production compared to traditional ingredients. Housefly meal (HFM) and black soldier fly meal (BSFM) have shown potential due to their beneficial effects on productivity, gut health, and fish welfare. Therefore, it is crucial to develop more environmentally sustainable and effective feeds for native South American fish, such as the Amazonian catfish hybrid *Pseudoplatystoma reticulatum* x *Leiarius marmoratus* and the silver catfish *Rhamdia quelen*. To this end, two experiments were conducted. The first aimed to evaluate the replacement of fish meal (FM) protein with HFM protein on growth and nutrient utilization efficiency of the hybrid *P. reticulatum* x *L. marmoratus*. The second experiment assessed the inclusion of BSFM on growth, nutrient utilization efficiency, and redox status of *R. quelen*. In the first experiment, juvenile *P. reticulatum* x *L. marmoratus* were randomly distributed in 25 tanks and fed diets containing increasing levels of FM protein replacement with HFM protein (0, 25, 50, 75, and 100%) for 60 days. No significant effects were observed for growth performance variables, body indices, metabolic parameters, or redox status. These results indicate that HFM protein can replace up to 100% of FM protein in diets for the hybrid *P. reticulatum* x *L. marmoratus* without compromising growth or health. In the second experiment, juvenile *R. quelen* were randomly distributed in 25 tanks and fed diets containing increasing levels of BSFM inclusion (0, 5, 10, 15, and 20%) for 80 days. BSFM inclusion did not influence growth performance variables or body indices, except for carcass yield and viscerosomatic index. Fish fed diets with 5, 15, and 20% BSFM inclusion showed higher carcass yield and lower viscerosomatic index than fish fed the BSFM-free control diet. Similarly, BSFM inclusion had no significant effect on carcass chemical composition or metabolic parameters, except for plasma glucose levels. Fish fed diets with 15 and 20% BSFM inclusion had higher plasma glucose levels than the control and the 5% BSFM

inclusion treatment. Regarding hepatic redox status, significant effects of BSFM inclusion were observed only for the activity of the enzymes superoxide dismutase (SOD) and glutathione S-transferase (GST). While the 20% inclusion treatment showed higher SOD activity than fish fed diets with 5 and 10% inclusion, none of the BSFM treatments differed from the control in terms of SOD activity. GST activity in the liver of fish fed diets with 15 and 20% BSFM inclusion was higher than in the control group, indicating greater protection against reactive oxygen species. Thus, it is possible to include up to 20% BSFM in diets for juvenile *R. quelen* without impairing growth or nutrient utilization efficiency while contributing to higher carcass yield. However, further studies are needed to evaluate higher levels of BSFM inclusion, as this study could not establish maximum inclusion levels for this species. In conclusion, the evaluated fly meals proved to be high-quality ingredients and can be used in feeds for the hybrid *P. reticulatum* x *L. marmoratus* and *R. quelen*. To assess the sustainability of their use in fish diets, further studies are required to evaluate the impact of fly meal utilization on water quality in cultivation systems and effluents.

Keywords: antioxidants; alternative ingredients; fish nutrition; sustainability

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

- Tabela 01.** Formulação e composição química das dietas experimentais contendo níveis crescentes de substituição da proteína da farinha de peixe (FP) pela da farinha de mosca doméstica, *Musca domestica* (FMD).....22
- Tabela 02.** Composição química e aminograma da farinha de mosca doméstica, *Musca domestica*.....23
- Tabela 03.** Valores médios, desvio padrão e p-valor das variáveis de desempenho produtivo de juvenis de pintado amazônico, *Pseudoplatystoma reticulatum* x *Leiarus marmoratus*, alimentados com dietas contendo níveis crescente de substituição da proteína da farinha de peixe (FP) pela farinha de larvas de mosca doméstica, *Musca domestica* (FMD).....29
- Tabela 04.** Valores médios, desvio padrão e p-valor das variáveis metabólicas de juvenis de pintado amazônico, *Pseudoplatystoma reticulatum* x *Leiarus marmoratus*, alimentados com dietas contendo níveis crescente de substituição da proteína da farinha de peixe (FP) pela farinha de larvas de mosca doméstica, *Musca domestica* (FMD).....30
- Tabela 05.** Valores médios, desvio padrão e p-valor da composição química da carcaça de juvenis de pintado amazônico, *Pseudoplatystoma reticulatum* x *Leiarus marmoratus*, alimentados com dietas contendo níveis crescente de substituição da proteína da farinha de peixe (FP) pela farinha de mosca doméstica, *Musca domestica* (FMD)..... 31
- Tabela 06.** Valores médios, desvio padrão e p-valor das variáveis de status redox hepático e intestinal de juvenis de pintado amazônico, *Pseudoplatystoma reticulatum* x *Leiarus marmoratus*, alimentados com dietas contendo níveis crescente de substituição da proteína da farinha de peixe (FP) pela farinha de mosca doméstica, *Musca domestica* (FMD)..... 32

CAPÍTULO 03

- Tabela 1:** Formulação e composição química das dietas experimentais contendo níveis crescentes de inclusão da farinha de mosca soldado negro (FMSN).....48
- Tabela 2:** Composição química e aminograma da farinha de mosca soldado negro (FMSN).....49
- Tabela 03.** Valores médios (\pm desvio padrão) do desempenho produtivo e índices corporais de juvenis de jundiá, *Rhamdia quelen*, alimentados com dietas contendo níveis crescentes de inclusão da farinha de mosca soldado negro, *Hermetia illucens* (FMSN)..... 55
- Tabela 04.** Valores médios (\pm desvio padrão) das variáveis metabólicas de juvenis de jundiá, *Rhamdia quelen*, alimentados com dietas contendo níveis crescentes de inclusão da farinha de mosca soldado negro, *Hermetia illucens* (FMSN)..... 56
- Tabela 05.** Valores médios (\pm desvio padrão) da composição química da carcaça de juvenis de jundiá, *Rhamdia quelen*, alimentados com dietas contendo níveis crescentes de inclusão da

farinha de mosca soldado negra, *Hermetia illucens* (FMSN)..... 57

Tabela 06. Valores médios (\pm desvio padrão) do status redox do fígado de juvenis de jundiá, *Rhamdia quelen*, alimentados com dietas contendo níveis crescentes de inclusão da farinha de mosca soldado negro, *Hermetia illucens* (FMSN).....58

SUMÁRIO

Lista de tabelas.....	07
Capítulo 1.....	10
Introdução geral.....	10
Referências.....	13
Capítulo 2.....	17
Substituição da proteína da farinha de peixe pela proteína da farinha de mosca doméstica, <i>Musca domestica</i>, em dietas para juvenis de <i>Pseudoplatystoma reticulatum</i> x <i>Leiarius marmoratus</i>.....	18
2.1. Resumo.....	18
2.2. Introdução.....	19
2.3. Material e métodos.....	21
2.3.1. Declaração de ética.....	21
2.3.2. Delineamento experimental.....	22
2.3.3. Animais e dietas experimentais.....	22
2.3.4. Coleta e preparação de amostra.....	24
2.3.5. Desempenho produtivo.....	25
2.3.6. Variáveis metabólicas.....	26
2.3.7. Composição química da carcaça.....	26
2.3.8. Status redox.....	27
2.3.9. Análise estatística.....	27
3.0. Resultados.....	28
4.0. Discussão.....	34
5.0. Conclusões.....	37
6.0. Referências.....	37
Capítulo 3.....	44
Farinha de mosca soldado negro, <i>Hermetia illucens</i>, em dietas para juvenis de jundiá, <i>Rhamdia quelen</i>.....	43
3.1. Resumo.....	44
3.2. Introdução.....	46

3.3. Material e métodos.....	47
2.3.1. Declaração de ética.....	47
3.3.2. Delineamento experimental.....	47
3.3.3. Animais e dietas experimentais.....	48
3.3.4. Coleta e preparação de amostra.....	50
3.3.5. Desempenho produtivo.....	51
3.3.6. Variáveis metabólicas.....	52
3.3.7. Composição bromatológica da carcaça.....	52
3.3.8. Status redox.....	52
3.3.8. Análise estatística.....	53
4.0. Resultados.....	53
5.0. Discussão.....	59
6.0 Conclusões.....	62
7.0. Referências.....	62
Capítulo 4.....	67
Considerações finais.....	67
Anexos.....	68

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL

Em 2024 a produção global da aquicultura alcançou cerca de 130,9 milhões de toneladas, marcando a primeira vez na história em que a aquicultura superou a pesca (FAO, 2024). O consumo per capita de produtos aquáticos aumentou de 9,1 kg para 20,6 kg, superando o crescimento de todas as carnes de origem terrestre (FAO, 2024). Assim, a aquicultura é o setor da produção animal com maior potencial para alimentar e nutrir a crescente população mundial, principalmente diante da preocupação com a insegurança alimentar (FAO, 2024). Para atender à crescente demanda por pescado, tornou-se necessária a intensificação dos sistemas de produção, aumentando a densidade de estocagem e a dependência de rações completas e balanceadas (Mitra, 2020). Nesses sistemas, é essencial que as rações sejam formuladas com ingredientes de alta qualidade nutricional e alta digestibilidade, de forma a otimizar o crescimento e minimizar os impactos sobre a qualidade da água de cultivo e o potencial poluidor da criação de peixes.

Dentre os ingredientes proteicos, principais responsáveis pelo crescimento dos peixes, a farinha de peixe destaca-se em função de sua alta palatabilidade, excelente teor proteico e composição aminoacídica, presença de ácidos graxos essenciais e boa digestibilidade (Hardy et al., 2010; Gatlin et al., 2007). As farinhas de peixes são produzidas principalmente a partir de duas fontes: peixes provenientes da pesca marinha que não são utilizados para a alimentação humana, e de resíduos do processamento de peixes cultivados. A primeira, de melhor qualidade nutricional, tem sua oferta cada vez menor, com custos mais altos, dificultando sua utilização em dietas para peixes cultivados (Naylor et al., 2021). Além disso, o impacto da sobrepesca nos oceanos tem tornado o uso dessa farinha de peixe ambientalmente insustentável (Naylor et al., 2021). A segunda, apesar de ser mais sustentável, sua produção ainda é insuficiente para atender a demanda do mercado produtor de rações. Portanto, a busca por ingredientes proteicos alternativos é essencial para formulação de rações mais sustentáveis sob os aspectos econômico e ambiental.

Embora a farinha de peixe seja frequentemente substituída por ingredientes proteicos de origem vegetal, como o farelo de soja, que oferece um bom custo-benefício (Hameed et al., 2022), essa alternativa apresenta algumas desvantagens. Entre elas estão a deficiência de alguns aminoácidos essenciais, risco de inflamação do trato digestório, baixa palatabilidade para algumas espécies de peixes e a presença de fatores antinutricionais (Cheng et al., 2013; Gatlin et al., 2007; Shiu et al., 2015; Aragão et al., 2022; Macusi et al., 2023). Além dos vegetais, os

ingredientes alternativos também podem ser produzidos a partir de algas, como a espirulina e clorela, de microrganismos, como a levedura, ou de origem animal como hidrolisados de vísceras e a farinha de inseto (Cottrel et al., 2020; Siddik et al 2021).

Os insetos são matérias primas promissoras para produção de rações pois são ricos em proteína, aminoácidos essenciais, lipídios, vitaminas e minerais (Nogales-Mérida et al., 2019), são amplamente encontrados na natureza e compõem a alimentação natural de peixes carnívoros e onívoros (Nogales-Mérida et al., 2019; Van Huis, 2020). Além disso, sua produção requer relativamente menores extensões de terra, aporte energético e volume de água (Ooninx e de Boer, 2012), bem como a possibilidade de utilização de resíduos da agroindústria como substrato para oviposição e crescimento das larvas e ninfas.

O uso de farinha de inseto em rações na aquicultura foi recentemente regulamentado pela União Europeia através do *Regulamento (EU) 2017/893*, que autorizou o uso para sete espécies de insetos, incluindo grilo do campo, *Gryllus assimilis*, grilo doméstico, *Acheta domesticus*, grilo listrado, *Grylloides sigillatus*, larva da farinha, *Alphitobius diaperinus*, larva amarela, *Tenebrio molitor*, mosca doméstica, *Musca domestica* e mosca soldado negro, *Hermetia illucens*. Contudo, o volume de farinha de insetos produzido ainda é insuficiente para atender a demanda por ingredientes proteicos de alta qualidade nutricional e com custos poucos competitivos. Com a regulamentação, houve a expansão de sua produção industrial, com crescimento esperado em torno de 24,4% ao longo da década de 2020, e valores globais estimados de 730.000 toneladas até 2030 (EAAP, 2019).

A mosca doméstica e a mosca soldado negro destacam-se por seu potencial biológico e nutricional na produção de farinhas que atendam a formulação de dietas para peixes. Ambas apresentam altas taxas reprodutivas, rápido crescimento e baixas exigências nutricionais, o que facilita sua criação e produção de farinhas em larga escala (Veldkamp et al., 2022). A mosca doméstica ovoposita com maior frequência e maior número e desenvolvem-se mais rápido, porém, com peso inferior ao da mosca soldado negro (Van Huis, 2020). Por outro lado, as larvas de mosca soldado negro são altamente eficientes na decomposição de ampla variedade de resíduos orgânicos (Van Huis et al., 2020) como resíduos alimentares, esterco, polpa de café, diversos vegetais, palhadas, grãos secos de destilarias secas com solúveis (DDG) (Van Huis e Tomberlin, 2017), enquanto a mosca doméstica requer substratos específicos como o farelo de trigo com leite de vaca para a desova e para o crescimento das larvas (Van Huis et al., 2020).

Quanto à composição nutricional, a farinha de larvas de mosca doméstica (FMD) possui maior teor proteico e menor teor lipídico em comparação à farinha de larvas de mosca soldado negro (FMSN) contudo, ambas são ingredientes proteicos de alta qualidade nutricional (Makkar

et al., 2014), e boa atratividade para muitas espécies de peixes (Nogales-Mérida et al., 2019). A FMD, em termos de composição de aminoácidos, é a que mais se assemelha a farinha de peixe, contendo altos níveis de metionina e lisina, os aminoácidos que primeiro limitam a síntese proteica em peixes (Barroso et al., 2014; Van Huis et al., 2020). Dessa forma, ambas apresentam características promissoras, mas com vantagens e desvantagens que podem variar de acordo com as exigências nutricionais de cada espécie de peixe.

As farinhas de mosca doméstica (FMD) e de mosca soldado negro (FMSN) podem substituir parcialmente ou integralmente a farinha de peixe (FP) em dietas para peixes com diferentes hábitos alimentares como para os carnívoros salmão do atlântico, *Salmo salar* (Belgith et al., 2019), Barramundi, *Lates calcarifer* (Lin e Mui, 2017) e truta arco-íris, *Oncorhynchus mykiss* (Cho et al., 2022); onívoros com tendência carnívora como o *Clarias gariepinus* (Ipinmoroti et al., 2018; Fawole et al., 2020); e onívoros como a tilápia-do-Nilo *Oreochromis niloticus* (Agbohessou et al., 2021; Wang et al., 2017) e *Carassius auratus* (Khieokhajokhet et al., 2022). A grande variação nos níveis máximos de substituição da proteína da farinha de peixe pela proteína da farinha de moscas depende das exigências nutricionais de cada espécie, bem como da palatabilidade e da composição de aminoácidos (Kasumyan e Dovin, 2003). Além disso, o tipo do substrato na criação das larvas de moscas influencia a produtividade, a composição e o valor nutricional das larvas (Kouřimská & Adámková 2016). O teor de quitina nas farinhas, principal componente do exoesqueleto dos insetos (Abdel-Ghany et al., 2020; Jiménez-Gómez et al., 2020), também pode influenciar sua utilização em dietas para peixes, porém, com resultados contraditórios, onde alguns estudos relatam prejuízos à saúde intestinal (Tharanathan e Kittur, 2003), enquanto outros indicam efeitos probióticos (Terova et al., 2019).

A quitina, um polissacarídeo composto por unidades de N-acetil-D-glucosamina (GlcNAc) ligadas por ligações β -(1 \rightarrow 4), fonte de fibras insolúveis (Alishahi et al., 2012; Abdel-Ghany et al., 2020), pode reduzir a digestibilidade das farinhas de moscas e afetar negativamente o crescimento dos peixes como truta arco-íris tilápia do Nilo e salmão do atlântico (Karlsen et al., 2015; Eggink et al., 2022). Apesar de Gasco et al. (2019) afirmarem que a maioria das espécies de peixes não possui a enzima quitinase, necessária para digerir e quitina, diversos estudos demonstraram atividade quitinolítica em espécies como o bacalhau, *Gadus morhua* (Danulat, 1986), o bijupirá, *Rachycentron canadum* (Fines et al., 2010), o bacalhau-do-canal, *Sebastes alascanus*, o robalo-de-nariz-fendido, *Sebastes diploproa*, o bacalhau-preto, *Anoplopoma fimbria* (Gutowska et al., 2004), *Malapterurus electricus* (Fagbenro et al., 2001), *Mormyrus rume* (Odedeyi & Fagbenro, 2009) e *Clarias gariepinus*

(Rapatsa & Moyo, 2019). Por outro lado, estudos sugerem que a quitina pode atuar como prebiótico ao promover o aumento da diversidade bacteriana no intestino, contribuindo com a proliferação de bactérias benéficas e degradadoras de quitina, promovendo a saúde intestinal e o bem-estar geral dos peixes (Gasco et al., 2019; Jozefiak et al., 2017). Os efeitos positivos da FMD e FMSN sobre o desempenho produtivo de peixes tem sido atribuído a presença de quitina e quitosona, um produto parcial de sua digestão, com propriedades bactericida (Ido et al., 2015), antifúngica (Mousavi et al., 2020), imunomoduladora (Ido et al., 2015; Mousavi et al., 2020; Fawole et al., 2023) e antioxidante (Lin & Mui, 2017; Fawole et al., 2023; Mousavi et al., 2020). Contudo, os resultados variam em diferentes espécies de peixes, dependendo dos seus hábitos alimentares e da capacidade para digerir a quitina, seja por meio de quitinases endógenas ou da microbiota intestinal (Lin & Mui, 2017). Diante desse cenário de crescente busca por fontes proteicas alternativas sustentáveis, a FMD e FMSN mostram potencial para serem utilizadas como ingredientes proteicos em dietas para peixes cultivados que apresentem insetos em sua dieta natural.

Referências

- Abdel-Ghany, H. M., & Salem, M. E. S. (2020). Effects of dietary chitosan supplementation on farmed fish; a review. *Reviews in Aquaculture*, 12(1), 438-452
- Agbohessou, P. S., Mandiki, S. N., Gougbedji, A., Megido, R. C., Hossain, M. S., De Jaeger, P., ... & Kestemont, P. (2021). Total replacement of fish meal by enriched-fatty acid *Hermetia illucens* meal did not substantially affect growth parameters or innate immune status and improved whole body biochemical quality of Nile tilapia juveniles. *Aquaculture Nutrition*, 27(3), 880-896.
- Alishahi, A., & Aïder, M. (2012). Applications of chitosan in the seafood industry and aquaculture: a review. *Food and Bioprocess Technology*, 5, 817-830.
- Aragão, C., Gonçalves, A. T., Costas, B., Azeredo, R., Xavier, M. J., & Engrola, S. (2022). Alternative proteins for fish diets: Implications beyond growth. *Animals*, 12(9), 1211
- Barroso, F. G., de Haro, C., Sánchez-Muros, M. J., Venegas, E., Martínez-Sánchez, A., & Pérez-Bañón, C. (2014). The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture*, 422, 193-201.
- Cheng, W., Chiu, C. S., Guu, Y. K., Tsai, S. T., & Liu, C. H. (2013). Expression of recombinant phytase of *Bacillus subtilis* E 20 in *Escherichia coli* HMS 174 and improving the growth performance of white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, juveniles by using phytase-pretreated soybean meal-containing diet. *Aquaculture Nutrition*, 19(2), 117-127.
- Cottrell, R. S., Blanchard, J. L., Halpern, B. S., Metian, M., & Froehlich, H. E. (2020). Global adoption of novel aquaculture feeds could substantially reduce forage fish demand by 2030. *Nature Food*, 1(5), 301-308.

- Danulat, E. (1986). The effects of various diets on chitinase and β -glucosidase activities and the condition of cod, *Gadus morhua* (L.). *Journal of fish biology*, 28(2), 191-197
- EAAP (European Federation of Animal Science). 2019. Insects tipped to rival sushi as fashionable food for the future.
- Eggink, K. M., Pedersen, P. B., Lund, I., & Dalsgaard, J. (2022). Chitin digestibility and intestinal exochitinase activity in Nile tilapia and *rainbow trout* fed different black soldier fly larvae meal size fractions. *Aquaculture Research*, 53(16), 5536-5546.
- FAO. 2024. In Brief to The State of World Fisheries and Aquaculture 2024. Blue Transformation in action. Rome.
- Fawole, F. J., Shamna, N., Memudu, H. A., Abdullahi, N., Hassaan, M. S., & Gbadamosi, O. K. (2023). Housefly maggot meal complement soybean meal in a fish-free diet for hybrid catfish (*Clarias gariepinus*♀ x *Heterobranchus longifilis*♂): Effect on growth, body composition, blood biochemistry and antioxidant enzyme activity. *Animal Feed Science and Technology*, 295, 115543.
- Fines, B. C., & Holt, G. J. (2010). Chitinase and apparent digestibility of chitin in the digestive tract of juvenile coibia, *Rachycentron canadum*. *Aquaculture*, 303(1-4), 34-39.
- Gasco, L., Biasato, I., Dabbou, S., Schiavone, A., & Gai, F. (2019). Animals fed insect-based diets: State-of-the-art on digestibility, performance and product quality. *Animals*, 9(4), 170.
- Gatlin III, D. M., Barrows, F. T., Brown, P., Dabrowski, K., Gaylord, T. G., Hardy, R. W., ... & Wurtele, E. (2007). Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. *Aquaculture research*, 38(6), 551-579.
- Gutowska, M. A., Drazen, J. C., & Robison, B. H. (2004). Digestive chitinolytic activity in marine fishes of Monterey Bay, California. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 139(3), 351-358.
- Hameed, A., Majeed, W., Naveed, M., Ramzan, U., Bordiga, M., Hameed, M., ... & Rana, N. (2022). Success of aquaculture industry with new insights of using insects as feed: a review. *Fishes*, 7(6), 395
- Hardy, R. W. (2010). Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal. *Aquaculture research*, 41(5), 770-776.
- Hashizume, A., Ido, A., Ohta, T., Thiaw, S. T., Morita, R., Nishikawa, M., ... & Miura, T. (2019). Housefly (*Musca domestica*) larvae preparations after removing the hydrophobic fraction are effective alternatives to fish meal in aquaculture feed for red seabream (*Pagrus major*). *Fishes*, 4(3), 38.
- Ido, A., Iwai, T., Ito, K., Ohta, T., Mizushige, T., Kishida, T., ... & Miura, T. (2015). Dietary effects of housefly (*Musca domestica*) (Diptera: Muscidae) pupae on the growth performance and the resistance against bacterial pathogen in red sea bream (*Pagrus major*) (Perciformes: Sparidae). *Applied Entomology and Zoology*, 50, 213-221.

- Ipinmoroti, M. O., Akanmu, O. A., & Iyiola, A. O. (2019). Utilisation of house fly maggots (*Musca domestica*) as replacement for fish meal in the diets of *Clarias gariepinus* juveniles. *Journal of Insects as Food and Feed*, 5(2), 69-76.
- Jiménez-Gómez, C. P., & Cecilia, J. A. (2020). Chitosan: a natural biopolymer with a wide and varied range of applications. *Molecules*, 25(17), 3981.
- Jozefiak, A., & Engberg, R. M. (2017). Insect proteins as a potential source of antimicrobial peptides in livestock production. A review. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 26(2), 87-99.
- Karlsen, Ø., Amlund, H., Berg, A., & Olsen, R. E. (2017). The effect of dietary chitin on growth and nutrient digestibility in farmed *Atlantic cod*, *Atlantic salmon* and *Atlantic halibut*. *Aquaculture Research*, 48(1), 123-133.
- Kasumyan, A.O., Doving, K.B., 2003. Taste preferences in fishes. *Fish and fisheries*. 4(4), 289-347.
- Kouřimská, L., & Adámková, A. (2016). Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS journal*, 4, 22-26.
- Lin, Y. H., & Mui, J. J. (2017). Evaluation of dietary inclusion of housefly maggot (*Musca domestica*) meal on growth, fillet composition and physiological responses for barramundi, *Lates calcarifer*. *Aquaculture Research*, 48(5), 2478-2485.
- Macusi, E. D., Cayacay, M. A., Borazon, E. Q., Sales, A. C., Habib, A., Fadli, N., & Santos, M. D. (2023). Protein fishmeal replacement in aquaculture: A systematic review and implications on growth and adoption viability. *Sustainability*, 15(16), 12500.
- Makkar, H. P., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal feed science and technology*, 197, 1-33.
- Mitra, A. (2021, March). Thought of alternate aquafeed: conundrum in aquaculture sustainability?. In *Proceedings of the Zoological Society* (Vol. 74, No. 1, pp. 1-18). New Delhi: Springer India.
- Mousavi, S., Zahedinezhad, S., & Loh, J. Y. (2020). A review on insect meals in aquaculture: The immunomodulatory and physiological effects. *International Aquatic Research*, 12(2), 100-115.
- Naylor, R. L., Hardy, R. W., Buschmann, A. H., Bush, S. R., Cao, L., Klinger, D. H., ... & Troell, M. (2021). A 20-year retrospective review of global aquaculture. *Nature*, 591(7851), 551-563.
- Nogales-Mérida, S., Gobbi, P., Józefiak, D., Mazurkiewicz, J., Dudek, K., Rawski, M., ... & Józefiak, A. (2019). Insect meals in fish nutrition. *Reviews in Aquaculture*, 11(4), 1080-1103.
- Oonincx, D. G., & De Boer, I. J. (2012). Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans—a life cycle assessment. *PloS one*, 7(12), e51145.

- Shiu, Y. L., Wong, S. L., Guei, W. C., Shin, Y. C., & Liu, C. H. (2015). Increase in the plant protein ratio in the diet of white shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone), using *Bacillus subtilis* E20-fermented soybean meal as a replacement. *Aquaculture Research*, 46(2), 382-394.
- Siddik, M. A., Howieson, J., Fotedar, R., & Partridge, G. J. (2021). Enzymatic fish protein hydrolysates in finfish aquaculture: a review. *Reviews in Aquaculture*, 13(1), 406-430
- Terova, G., Rimoldi, S., Ascione, C., Gini, E., Ceccotti, C., & Gasco, L. (2019). Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) gut microbiota is modulated by insect meal from *Hermetia illucens* prepupae in the diet. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 29, 465-486.
- Tharanathan, R. N., & Kittur, F. S. (2003). Chitin—the undisputed biomolecule of great potential.
- Van Huis, A. (2020). Insects as food and feed, a new emerging agricultural sector: a review. *Journal of Insects as Food and Feed*, 6(1), 27-44.
- Van Huis, A., & Tomberlin, J. K. (Eds.). (2017). *Insects as food and feed: from production to consumption*. Wageningen Academic Publishers.
- Veldkamp, T., Meijer, N., Alleweldt, F., Deruytter, D., Van Campenhout, L., Gasco, L., ... & Van der Fels-Klerx, H. J. (2022). Overcoming technical and market barriers to enable sustainable large-scale production and consumption of insect proteins in Europe: A SUSINCHAIN perspective. *Insects*, 13(3), 281.
- Wang, L., Li, J., Jin, J. N., Zhu, F., Roffeis, M., & Zhang, X. Z. (2017). A comprehensive evaluation of replacing fishmeal with housefly (*Musca domestica*) maggot meal in the diet of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): growth performance, flesh quality, innate immunity and water environment. *Aquaculture Nutrition*, 23(5), 983-993.

CAPÍTULO 2

Substituição da proteína da farinha de peixe pela proteína da farinha de mosca doméstica, *Musca domestica*, em dietas para juvenis de *Pseudoplatystoma reticulatum* x *Leiarius marmoratus*

2.1. Resumo

As farinhas de insetos apresentam-se como ingredientes alternativos promissores para formulação de rações aquícolas por fornecerem proteínas e lipídios de alta qualidade, além de propriedades bactericida, antifúngica, imunomoduladora e antioxidante, que contribuem significativamente para a saúde e o crescimento e saúde dos peixes. Dessa forma, objetivamos avaliar os efeitos da substituição da proteína da farinha de peixe (FP) pela proteína da farinha de larvas de mosca doméstica (FMD) sobre o crescimento e a eficiência de utilização dos nutrientes do pintado amazônico, *Pseudoplatystoma reticulatum* x *Leiarius marmoratus*. Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos e cinco repetições. Foram utilizados 225 juvenis de pintado amazônico, peso inicial de $23,54 \pm 1,96$, distribuídos em 25 aquários (150L) em um sistema de recirculação, dotados de aeração, filtros mecânico e biológico, temperatura controlada por aquecedores e termostatos, em densidade de estocagem de 0,79g/L de água. O laboratório foi mantido em fotoperíodo de 12 h de luz. Os peixes foram alimentados com cinco dietas contendo níveis crescentes de substituição da proteína da FP pela da FMD (0; 25; 50; 75 e 100%) durante 60 dias. Não foram observados efeitos significativos da FMD sobre as variáveis de desempenho produtivo, rendimento de carcaça, índices corporais (viscerossomático, hepatossomático, gordurossomático) variáveis metabólicas (colesterol total, lipoproteínas de alta densidade, lipoproteínas de baixa densidade, triglicerídeos totais, glicose, e a atividade das enzimas aspartato aminotransferase, alanina aminotransferase) e o status redox (óxido nítrico, malondealdeído, proteína carbonilada, superóxido dismutase, catalase, glutathione S-transferase e capacidade de redução férrica). Esses resultados indicam que a FMD pode substituir 100% da proteína da farinha de peixe em dietas para o híbrido *P. reticulatum* x *L. marmoratus* sem comprometer o crescimento, a eficiência de utilização dos nutrientes, as reservas energéticas e o status redox, constituindo-se em um ingrediente de alto valor nutricional.

Palavras chaves: farinha de insetos, ingredientes alternativos, Siluriformes, sustentabilidade ambiental

2.2. Introdução

A aquicultura tem se destacado como uma das atividades mais promissoras na produção de proteína animal de alta qualidade, principalmente pela elevada produtividade por área, quando comparada com outras criações animais. Dessa forma, a aquicultura desempenha um papel crucial na alimentação e nutrição da crescente população mundial, sendo uma alternativa relevante para enfrentar o desafio da insegurança alimentar (FAO, 2024). Contudo, a aquicultura ainda enfrenta desafios consideráveis para reduzir os custos e aumentar a sustentabilidade da produção. O uso excessivo da farinha de peixe em rações para organismos aquáticos exerce grande pressão sobre os estoques pesqueiros, sendo responsável por considerável impacto ambiental (Mitra, 2020). Diante disso, torna-se essencial a busca por fontes proteicas alternativa mais sustentáveis e ambientalmente responsáveis.

Para que um ingrediente alternativo seja considerado viável, ele deve apresentar boa disponibilidade no mercado, facilidade de processamento, transporte e armazenamento, além de boas qualidades nutricionais como sua composição química, suprimento de nutrientes essenciais, palatabilidade e digestibilidade dos nutrientes (Hashim, 2006; Aragão et al., 2022). Diante disso, a viabilidade do uso de fontes alternativas à farinha de peixe em dietas para organismos aquáticos necessita passar por avaliações das limitações quanto a possíveis efeitos deletérios ao crescimento ou à saúde dos animais, bem como sobre a influência na capacidade dos animais de tolerar desafios ambientais como elevadas densidades de estocagem, os manejos relacionados com classificação, vacinação e transporte, e a presença de organismo patogênicos (Aragão et al., 2022).

As farinhas de insetos têm sido consideradas como alternativas promissoras à farinha de peixe em rações para peixes, devido ao seu alto teor proteico, boa qualidade aminoacídica, presença de ácidos graxos essenciais, bem como fonte de minerais e vitaminas (Nogales-Mérida et al., 2019). A produção de insetos exige menos espaço e água em comparação com outras fontes proteicas, e a maioria dos insetos possuem a capacidade em bioconverter resíduos orgânicos em proteína animal de alta qualidade, destacando-se como ingredientes sustentáveis ambientalmente (Ramos-Elorduy et al., 1997; Van Huis e Oonincx, 2017; Sogari et al., 2019).

Os insetos fazem parte da dieta natural de muitas espécies de peixes (Henry et al., 2015), o que favorece sua ingestão, digestão e utilização eficiente dos nutrientes. A farinha de larvas de mosca doméstica, *Musca domestica* (FMD), destaca-se por sua alta qualidade nutricional, com elevado teor de proteínas e lipídios (Makkar et al., 2014; Saleh, 2020) e composição de aminoácidos essenciais comparável à da farinha de peixe (Saleh, 2020). Além disso, pode ser considerado um alimento funcional por apresentar propriedades antioxidantes (Lin & Mui,

2017; Fawole et al., 2023) antifúngicas (Ai et al., 2012), bactericidas (Ido et al., 2015) e imunomoduladoras (Ido et al., 2015; Fawole et al., 2023). Devido ao curto ciclo de vida, baixas exigências nutricionais e pequeno espaço para criação, sua criação em larga escala é viável e rentável (Cadinu et al., 2020). Contudo, a utilização da FMD apresenta resultados muito variados em diferentes espécies de peixes. Resultados contraditórios podem estar relacionados ao alto teor de quitina presente no exoesqueleto e diferentes hábitos alimentares dos peixes, o que influencia sua capacidade para digerir a quitina por meio de quitinases endógenas ou da microbiota intestinal (Lin & Mui, 2017;).

O *Pseudoplatystoma reticulatum* x *Leiarius marmoratus* é uma espécie com hábito alimentar onívoro e que apresenta crescente importância na aquicultura brasileira (Campos, 2010). As espécies que dão origem ao cruzamento têm os insetos como parte de suas dietas naturais (Hardy, 2010), porém, apresentam diferenças quanto a velocidade de crescimento e exigência quanto a palatabilidade das dietas. O *Pseudoplatystoma reticulatum* apresenta rápido crescimento, no entanto, é mais exigente quanto a palatabilidade dos alimentos (Lundstedt et al., 2004) necessitando de altos níveis de ingredientes de origem animal em suas dietas, enquanto o *Leiarius marmoratus* apresenta crescimento um pouco mais lento, contudo, aceita bem dietas processadas, formuladas com ingredientes alternativos (Sánchez et al., 2009). Diante disso, objetivamos avaliar a substituição da proteína da farinha de peixe pela da farinha de larvas de mosca doméstica sobre o crescimento, a eficiência de utilização dos nutrientes e status redox do híbrido *Pseudoplatystoma reticulatum* x *Leiarius marmoratus*.

2.3. Material e métodos

2.3.1. Declaração de ética

O presente estudo foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais de Produção da Universidade Federal de Viçosa (CEUAP/UFV), Minas Gerais, Brasil (protocolo nº 22/2023), de acordo com os princípios éticos da experimentação animal, estabelecido pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA) e com a legislação vigente.

2.3.2. Delineamento experimental

Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos e cinco repetições. Cada aquário contendo cinco peixes foi considerado uma unidade experimental.

Foram formuladas cinco dietas com níveis crescentes de substituição da proteína da farinha de peixe pela da farinha de larvas de mosca doméstica, *Musca domestica* (0; 25; 50; 75 e 100%).

2.3.3. Animais e dietas experimentais

Juvenis de pintado amazônico, *Pseudoplatystoma reticulatum x Leiarus marmoratus*, com peso inicial $23,54 \pm 1,96$, foram mantidos em 25 aquários (150L) em um sistema de recirculação, dotado de aeração, filtros mecânico e biológico, temperatura controlada por aquecedores e termostatos, em densidade de estocagem de 0,79g/L de água. O laboratório foi mantido em fotoperíodo de 12 h de luz.

As dietas foram formuladas com base nas exigências nutricionais do *Pseudoplatystoma reticulatum x Leiarus marmoratus* (Barros et. al., 2020). Para a preparação da farinha foram utilizadas larvas de mosca doméstica, obtidas no moscário da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. As moscas domésticas foram atraídas para oviposição utilizando farelo de trigo umedecido com leite de vaca. Após o período de incubação, as larvas foram coletadas, liofilizadas e armazenadas a 4°C. Para a confecção das rações experimentais, as larvas foram liofilizadas e moídas em moinho de bola e a farinha de mosca doméstica (FMD) foi adicionada de forma uniforme aos demais ingredientes da ração. A mistura foi homogeneizada, umedecida, peletizada, seca em estufa de ventilação forçada (55°C por 24h), e estocada em freezer a -20°C até o momento da alimentação. As dietas experimentais (Tabela 1) e a FMD (Tabela 2) foram avaliadas quanto aos teores de matéria seca, proteína bruta, lipídios totais, matéria mineral, cálcio e fósforo de acordo com os métodos descritos pela *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 2006) e Detmann et al. (2012). A composição aminoacídica da FMD foi analisada pelo laboratório CBO análises laboratoriais (Valinhos, SP, Brasil) (Tabela 2).

Tabela 1: Formulação e composição química das dietas experimentais contendo níveis crescentes de substituição da proteína da farinha de peixe (FP) pela da farinha de mosca doméstica, *Musca domestica* (FMD)

Ingredientes	Substituição da proteína da FP pela da FMD				
	(%)				
	0	25	50	75	100
Farelo de soja	448,40	451,70	455,00	458,30	461,60
Farinha de peixe	300,00	225,00	150,00	75,00	0,00
Farinha de mosca doméstica	0,00	93,00	186,00	279,00	372,00
Fubá de milho	175,80	158,90	142,10	125,20	108,40
Óleo de soja	68,50	64,00	59,50	55,10	50,60
Fosfato bicálcico	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Suplemento mineral	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Suplemento vitamínico	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
BHT	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Composição química da ração					
EB	4623,54	4704,98	4704,98	4858,86	4943,33
MS	950,10	948,80	946,60	942,90	947,30
PB	433,80	418,90	430,40	425,00	409,80
LT	43,10	43,30	44,00	64,20	79,20
FB	2,00	3,30	3,40	3,80	3,80
P	17,00	15,30	15,50	12,90	9,90
Ca	25,50	20,30	18,30	12,90	8,40
MM	102,40	97,20	89,50	79,90	77,90

¹ Valores calculados; EB, energia bruta (kcal kg^{-1}); MS, matéria seca (g kg^{-1}); PB, proteína bruta (g kg^{-1} da MS); LT, lipídios totais (g kg^{-1} da MS); FB, fibra bruta (g kg^{-1} da MS); P, fósforo total (g kg^{-1} da MS); Ca, cálcio (g kg^{-1} da MS); MM, matéria mineral (g kg^{-1} da MS)

Tabela 2: Composição química e aminograma da farinha de mosca doméstica, *Musca domestica*

Composição química e aminoacídica da farinha de larvas de mosca doméstica, <i>Musca domestica</i>	
MS	91,02
PB	55,29
LT	17,83
MM	8,47
Composição aminoacídica	(g/100g da farinha na matéria seca)
Ácido aspártico	4,35
Ácido glutâmico	6,00
Serina	1,67
Glicina	2,13
Histidina	1,18
Taurina	0,07
Arginina	2,32
Treonina	1,96
Alanina	3,18
Prolina	1,97
Tirosina	2,87
Valina	2,31
Metionina	1,16
Cistina	0,49
Isoleucina	1,88
Leucina	2,88
Fenilalanina	2,61
Lisina	3,41
Hidroxiprolina	0,03
Triptofano	0,51

MS, matéria seca (g kg^{-1}); PB, proteína bruta (g kg^{-1} da MS); LT, lipídios totais (g kg^{-1} da MS); MM, matéria mineral (g kg^{-1} da MS)

Os peixes foram alimentados até a saciedade aparente, duas vezes ao dia (8:00am e 16:00pm), durante 60 dias. Diariamente foi avaliada a temperatura da água (T °C) e semanalmente foram avaliadas as seguintes variáveis de qualidade da água: pH e oxigênio dissolvido (OD mg L^{-1}) por meio do medidor multiparâmetros (AKROM – Produtos eletrônicos) e amônia total (AT mg L^{-1}) por meio de kit colorimétrico (Labcon® kits análises, Florianópolis, SC, Brazil). A amônia não ionizada (ANI mg L^{-1}) foi calculada de acordo com a equação proposta por Emerson et al. (1975).

$$\text{Amônia não ionizada} = \frac{\text{Amônia total}}{1 + 10^{(0.0902 - \text{pH}) + \left[\frac{2730}{273.2 + \text{Temperatura da água}} \right]}}$$

Estas variáveis mantiveram-se dentro dos limites adequados para o cultivo de peixes de água doce (Popma and Masser, 1999) com valores médios (\pm desvio padrão) de temperatura $28,70 \pm 0,37$ °C, pH de $7,03 \pm 0,21$, OD $6,99 \pm 0,26$ mg L^{-1} e ANI de $0,0009 \pm 0,0013$ mg L^{-1} .

2.3.4 Coleta e preparação de amostra

Ao final do período experimental, os peixes ($n = 25$ por tratamento) foram capturados, contados, pesados individualmente para cálculo das variáveis de desempenho produtivo. Para coleta da análise de sangue, os peixes foram sedados (200mg/L de óleo de cravo) e amostras de sangue de três peixes por caixa foram obtidas com o auxílio de uma seringa heparinizada através da venopunção. As amostras de sangue de cada peixe ($n = 15$ por tratamento) foram centrifugadas por 15 minutos a 15000 rpm (4° C) para obtenção do plasma. Após a coleta de sangue, os peixes foram eutanasiados (400mg/L de óleo de cravo) e dissecados em bandeja resfriada com gelo, obtendo-se o peso das vísceras, fígado, gordura visceral e carcaça. Para a determinação do glicogênio foram utilizados 100 mg dos tecidos hepático e muscular de dois peixes por caixa ($n=10$ peixes por tratamento). Para avaliar o status redox, 100 mg de fígado ($n=10$ peixes por tratamento) e intestino anterior ($n= 5$ peixes por tratamento) foram homogeneizadas com auxílio de um homogeneizador de amostras (Tissue Master – OMNI) em solução tampão fosfato 0,1M gelado em pH 7,4. Os homogenatos foram centrifugados a 12.000 rpm, a 4°C, por 10 minutos, resultando em sobrenadante e pellets que foram utilizados para análise de status redox. Para a avaliação da composição corporal, todos os peixes de cada unidade experimental ($n = 25$ por tratamento), foram eviscerados com a cabeça, pesadas, liofilizadas para redução do teor de umidade (Labconco, Kansas City, MO, EUA) e moídas em liquidificador para obtenção de material homogêneo, para posterior análise química

2.3.5. Desempenho produtivo

O cálculo da taxa de sobrevivência (TS, %), ganho de peso (GP, g), consumo de ração aparente (CRap, g), consumo de proteína aparente (CPap, g), eficiência alimentar aparente (EAap, %), taxa de crescimento específico (TCE, %/dia), taxa de eficiência proteica (TEP, %), eficiência de retenção proteica (ERP, %), rendimento de carcaça (RC, %), índice visceromático (IVS), índice hepatossomático (IHS) e índice gordurossomático (IGS), conforme as Equações (1–13):

$$TS = (\text{Número final de peixes} \div \text{Número inicial de peixes}) \times 100 \quad (1)$$

$$GP = \text{Peso final} - \text{Peso inicial} \quad (2)$$

$$CRap = \text{Peso da ração inicial} - \text{Peso da ração final} \quad (3)$$

$$CPap = \text{Consumo de ração aparente} \times \text{Proteína bruta da ração} \quad (4)$$

$$EAap = \text{Ganho de peso} \div \text{Consumo de ração aparente} \quad (5)$$

Taxa de crescimento específico (TCE) utilizando, a equação proposta por Ricker (1979), apresentada a seguir:

$$TCE = \frac{\ln PF(g) - \ln PI(g)}{\text{tempo (dias)}} \times 100; \quad (6)$$

em que: PI = peso inicial médio dos peixes (g) e PF = peso final médio dos peixes (g);

Taxa de eficiência proteica (TEP) e eficiência de retenção proteica (ERP) utilizando as

equações propostas por Jauncey & Ross (1982), apresentadas a seguir:

$$TEP = \frac{GP}{CP} \quad (7)$$

em que: GP = ganho de peso (g) e CP = consumo de proteína (g) calculado de acordo com a expressão $CP = CRap \times \% \text{ proteína bruta da dieta}$;

$$ERP = \frac{PBf \cdot Pf - PBi \cdot Pi}{CP} \times 100; \quad (8)$$

em que: PBf = proteína bruta da carcaça ao final do experimento (%); Pf = peso final (g); PBi = proteína bruta da carcaça no início do experimento (%); Pi = peso inicial (g) e CP = consumo de proteína (g).

$$RC = (\text{Peso da carcaça} \div \text{Peso vivo}) \times 100 \quad (9)$$

$$\text{IVS} = (\text{Peso das vísceras} \div \text{Peso vivo}) \times 100 \quad (10)$$

$$\text{IHS} = (\text{Peso do fígado} \div \text{Peso vivo}) \times 100 \quad (11)$$

$$\text{IGS} = (\text{Peso da gordura visceral} \div \text{Peso vivo}) \times 100 \quad (13)$$

2.3.6 Variáveis metabólicas

A determinação dos teores de colesterol total (CT), lipoproteínas de alta densidade (HDL), lipoproteínas de baixa densidade (LDL), triglicerídeos totais (TRIG), glicose (GLIC), e a atividade das enzimas aspartato aminotransferase (AST), alanina aminotransferase (ALT) foi realizada utilizando kits comerciais Bioclin® (Quibasa - Química Básica, Belo Horizonte, MG, Brasil), em analisador automático de bioquímica (BS200, MINDRAY®, Shenzhen, China), seguindo as especificações do fabricante.

Para a determinação do glicogênio foi utilizada metodologia proposta por Van Handel (1965). Amostras de fígado e músculo foram colocadas separadamente em ependorfs contendo KOH 30 %. Após 20h os tecidos foram hidrolisados em banho-maria por uma hora. Em seguida foram acrescentadas cinco gotas de Na₂SO₄ saturado e 9,0 mL de álcool absoluto (99,9 %). Os tubos foram então aquecidos (15 s) e centrifugados (2000 rpm/10 min), sendo descartado o sobrenadante, e adicionado ao precipitado 5 mL de água destilada. A solução contendo o glicogênio foi transferida para uma proveta e completada para 10 mL com água destilada. Para a leitura da solução acrescentou-se o reagente de antrona à alíquota da amostra, sendo que a leitura foi realizada dez minutos após o início da reação, em espectrofotômetro com comprimento de onda de 620 µm.

2.3.7. Composição química da carcaça

Os teores de proteína bruta, lipídios totais, matéria mineral, total das carcaças foram analisadas segundo AOAC (2005) e Detmann et al. (2012). Para avaliar a eficiência de retenção proteica, foi coletada uma amostra inicial de cinco peixes e ao final do experimento todos os peixes de cada unidade experimental (25 peixes/tratamento) para as análises do teor de proteína bruta pelo método AOAC (2006) e Detmann et al. (2012).

2.3.8. Status redox

Amostras contendo 100 mg de tecidos foram homogeneizadas com auxílio de um homogeneizador de amostras (Tissue Master – OMNI) em solução tampão fosfato 0,1M gelado em pH 7,4. Após a homogeneização, os homogenatos foram centrifugados a 12.000 rpm, a 4°C, por 10 minutos, resultando em sobrenadante e pellets. Foram analisados a atividade das enzimas antioxidantes superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), glutathione S-transferase (GST), a capacidade de redução férrica (FRAP) e dos marcadores do estresse oxidativo e nitrosativo, malondialdeído (MDA), o óxido nítrico (ON). Com os pellets foi mensurado o teor de proteínas carboniladas (PC). A atividade das enzimas foi normalizada pelo conteúdo total de proteínas.

A atividade da SOD foi determinada pelo método que utiliza a redução do superóxido (O₂⁻) em peróxido de hidrogênio, diminuindo assim a auto-oxidação do pirogalol, conforme descrito por Dieterich et al. (2000) A atividade da CAT foi determinada pela taxa de decomposição da reação peróxido de hidrogênio, seguido da mobilização do peróxido de hidrogênio não consumido com molibdato de amônio (Hadwan & Abed 2016). A atividade da glutathione-S-transferase (GST) foi determinada pela taxa de formação do conjugado de glutathione com o substrato 1-cloro-2,4-dinitrobenzeno (Habig et al. 1974). Os resultados foram expressos em Unidade por miligrama de proteína (U/mg ptn)

O conteúdo do MDA foi avaliado pelo método substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (Buege & Aust 1978) e a concentração total de proteínas em cada amostra foi verificada utilizando o método Bradford's (Bradford, 1976). As concentrações do NO foram analisadas utilizando o método indireto de Greiss (Tsikas 2007). O conteúdo de PC é determinado pela derivatização dos grupos carbonil com dinitrofenilhidrazina (DNPH) conforme descrito por Levine et al. (1994).

2.3.9. Análise estatística

A avaliação da substituição da proteína da farinha de peixe pela da farinha de larvas de mosca doméstica sobre o desempenho produtivo, variáveis metabólicas, composição química da carcaça e status redox foi realizada por meio da análise de variância ao nível de significância de 5%. Os testes de Shapiro-Wilk e Levene foram aplicados para avaliar os pressupostos de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias, respectivamente. Todas as análises foram realizadas no software R (R Core Team 2018). Os valores são apresentados como média ± desvio padrão.

3.0. Resultados

Não houve efeito significativo ($p>0,05$) da substituição da proteína da farinha de peixe pela proteína da farinha de larvas de mosca doméstica para as variáveis de desempenho produtivo (Tabela 3).

Não houve efeito significativo ($p>0,05$) da substituição da proteína da farinha de peixe pela proteína da farinha de larvas de mosca doméstica para as variáveis metabólicas (Tabela 4), composição química da carcaça (Tabela 5) e status redox hepático e intestinal (Tabela 6).

Tabela 03. Valores médios, desvio padrão e p-valor das variáveis de desempenho produtivo de juvenis de pintado amazônico, *Pseudoplatystoma reticulatum* x *Leiarus marmoratus*, alimentados com dietas contendo níveis crescente de substituição da proteína da farinha de peixe (FP) pela farinha de larvas de mosca doméstica, *Musca domestica* (FMD).

	Substituição da proteína da FP pela da FMD (%)					P-valor
	0	25	50	75	100	
TS	100±0,0	96±8,94	96±8,94	96±8,94	96±8,94	0,906
GP	88,23±20,34	84,10±41,18	79,84±17,90	69,50±21,35	87,09±21,62	0,787
PF	97,11±40,13	107,39±41,68	103,28±18,49	84,81±14,14	110,99±23,17	0,669
CRap	80,86±14,47	78,66±29,65	72,00±9,25	65,11±13,68	76,55±18,53	0,686
CPap	33,83±6,06	32,95±12,42	30,99±3,98	27,67±5,81	31,37±7,60	0,758
EAap	1,08±0,10	1,12±0,08	1,09±0,13	1,05±0,12	1,13±0,10	0,754
TCE	2,54±0,24	2,69±0,41	2,45±0,31	2,24±0,29	2,53±0,27	0,276
RC	93,17±1,40	93,77±0,62	93,32±0,91	93,34±1,48	93,49±0,63	0,992
ERP	2,53±0,89	1,58±0,63	1,71±0,27	1,79±0,74	1,66±0,42	0,155
TEP	2,55±0,23	2,44±0,54	2,55±0,30	2,47±0,27	2,78±0,25	0,559
IVS	6,22±1,35	5,55±0,48	6,05±0,94	6,08±1,42	5,85±0,58	0,865
IHS	1,73±0,36	1,46±0,15	1,73±0,31	1,57±0,36	1,67±0,37	0,624
IGS	0,60±0,10	0,67±0,26	0,62±0,14	0,57±0,10	0,66±0,24	0,922

TS, taxa de sobrevivência (%); GP, ganho de peso (g); PF, peso final (g); CR, consumo de ração (g); CPap, consumo de proteína aparente; EAap, eficiência alimentar aparente; TCE, taxa de crescimento específico (%/dia); RC, rendimento de carcaça; ERP, eficiência de retenção proteica; TEP, taxa de eficiência proteica; IVS, índice viscerossomático; IHS, índice hepatossomático; IGS, índice gordura mesentérica.

Tabela 04. Valores médios, desvio padrão e p-valor das variáveis metabólicas de juvenis de pintado amazônico, *Pseudoplatystoma reticulatum* x *Leiurus marmoratus*, alimentados com dietas contendo níveis crescente de substituição da proteína da farinha de peixe (FP) pela farinha de larvas de mosca doméstica, *Musca domestica* (FMD).

	Substituição da proteína da FP pela da FMD (%)					P-valor
	0	25	50	75	100	
GLIC	91,44±18,74	90,84±27,69	84,16±10,22	77,10±9,87	82,00±14,12	0,671
COL	110,19±12,95	112,19±22,01	110,76±11,12	110,18±5,95	117,92±16,33	0,905
TRG	133,27±19,48	153,78±27,66	159,45±34,36	167,09±32,80	172,19±44,04	0,399
HDL	18,51±5,07	21,71±5,57	19,68±3,55	20,76±4,82	22,15±2,99	0,703
LDL	10,86±3,02	10,75±3,17	8,83±3,36	9,50±1,64	11,61±2,94	0,567
AST	16,96±11,58	25,64±9,24	28,76±12,15	20,43±10,04	28,016±11,75	0,397
ALT	0,65±0,26	0,81±0,37	0,88±0,19	0,96±0,48	0,92±0,41	0,675
VLDL	26,65±3,89	30,75±5,53	31,89±6,87	33,42±6,56	40,09±15,40	0,211
GlicH	1,61±0,79	2,02±1,48	0,80±0,48	2,54±1,53	2,02±0,54	0,162
GlicM	2,39±1,55	1,70±0,73	2,37±1,92	2,95±2,03	1,90±1,62	0,776

GLIC, glicose (mg. dl⁻¹); COL (mg. dl⁻¹); colesterol; TRG (mg. dl⁻¹), triglicerídeos; HDL, lipoproteínas de alta densidade (mg. dl⁻¹); VLDL (mg. dl⁻¹); lipoproteínas de muito baixa densidade; LDL (mg. dl⁻¹), lipoproteínas de baixa densidade; AST (U.L⁻¹), aspartato aminotransferase; ALT (U.L⁻¹), alanina aminotransferase.

Tabela 05. Valores médios, desvio padrão e p-valor da composição química da carcaça de juvenis de pintado amazônico, *Pseudoplatystoma reticulatum* x *Leiarus marmoratus*, alimentados com dietas contendo níveis crescente de substituição da proteína da farinha de peixe (FP) pela farinha de mosca doméstica, *Musca domestica* (FMD)

	Substituição da proteína da FP pela da FMD (%)					P-valor
	0	25	50	75	100	
MS	91,34±1,78	91,66±1,16	91,28±0,93	91,16±1,07	92,06±1,25	0,799
PB	63,77±1,77	62,38±2,28	62,74±1,74	63,95±1,82	60,48±3,93	0,212
LT	23,01±0,35	24,55±0,15	24,37±1,52	22,92±1,25	24,28±1,83	0,116
MM	12,21±1,47	11,27±0,76	11,30±0,58	11,51±0,54	10,63±0,66	0,121

MS, matéria seca (g kg⁻¹); PB, proteína bruta (g kg⁻¹ da MS); LT, lipídios totais (g kg⁻¹ da MS); MM, matéria mineral (g kg⁻¹ da MS).

Tabela 06. Valores médios, desvio padrão e p-valor das variáveis de status redox hepático e intestinal de juvenis de pintado amazônico, *Pseudoplatystoma reticulatum* x *Leiarus marmoratus*, alimentados com dietas contendo níveis crescente de substituição da proteína da farinha de peixe (FP) pela farinha de mosca doméstica, *Musca domestica* (FMD).

	Substituição da proteína da FP pela da FMD (%)					P-valor
	0	25	50	75	100	
<i>Status redox hepático</i>						
ON	24,80±0,87	24,82±0,79	24,96±0,55	24,87±1,08	25,07±0,72	0,985
MDA	0,69±0,13	0,71±0,19	0,61±0,07	0,70±0,12	0,73±0,20	0,729
PC	1,02±0,28	0,80±0,05	0,86±0,27	0,95±0,32	0,95±0,13	0,631
SOD	2,33±0,57	3,26±0,70	2,77±0,95	2,38±0,79	2,31±0,34	0,185
CAT	631,33±190,93	514,74±65,57	530,59±150,45	519,89±123,94	585,12±107,47	0,598
GST	2,56±0,14	2,53±0,32	2,51±0,17	2,73±0,17	2,45±0,16	0,289
FRAP	0,74±0,16	0,73±0,16	0,59±0,08	0,75±0,19	0,79±0,14	0,324
<i>Status redox intestinal</i>						
ON	4,93±1,01	4,34±0,60	4,16±0,71	4,01±0,16	4,42±0,43	0,401
MDA	0,59±0,10	0,55±0,12	0,56±0,12	0,49±0,04	0,58±0,07	0,723
PC	1,64±0,23	2,10±0,90	2,26±0,68	1,99±0,20	1,69±0,48	0,472
SOD	10,00±1,60	11,80±4,23	10,00±3,95	8,08±1,11	9,19±0,69	0,508
CAT	9,77±3,63	11,20±4,34	12,52±5,29	11,96±2,68	8,50±2,64	0,602
GST	15,05±1,18	13,85±6,06	17,40±4,53	14,20±2,42	10,72±1,84	0,190

FRAP	0,27±0,14	0,18±0,07	0,20±0,06	0,26±0,07	0,19±0,11	0,682
------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-------

ON (μM), óxido nítrico; MDA ($\mu\text{M MDA mg}^{-1}$ de tecido), malondealdeido; PC (nmol mL^{-1}), proteína carbonilada; SOD (U SOD mg^{-1} de tecido), superóxido dismutase; CAT ($\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ de tecido), catalase; FRAP(μM), capacidade de redução férrica; GST ($\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ de tecido), glutathiona S- transferase.

4.0. Discussão

A ausência de efeitos significativos da substituição da proteína da farinha de peixe (FP) pela proteína da farinha de larvas de mosca doméstica (FMD) sobre o consumo de ração, indica que até mesmo as dietas com teores mais altos de FMD apresentaram boa palatabilidade para o híbrido *P. reticulatum x L. marmoratus*. Em geral, as espécies carnívoras, como o *P. reticulatum* (Barbarino et al., 2003; Rodrigues et al., 2009) são mais exigentes quanto a palatabilidade das dietas (Lundstedt et al., 2004), enquanto as onívoras como o *L. marmoratus*, aceitam bem dietas processadas, sem a necessidade de treinamento (Sánchez et al., 2009), o que indica menor exigência quanto a atratividade das dietas. Portanto, a criação do *P. reticulatum x L. marmoratus* apresenta vantagens, devido ao vigor híbrido, que contribui para o rápido crescimento e tolerância a condições adversas (rusticidade) e maior aceitação de dietas secas, o que contribui para a redução dos custos de produção. Jimoh et al. (2022) observaram que *Clarias gariepinus*, uma espécie também onívora, da Ordem Siluriformes, alimentados com dietas com proporções mais altas de substituição da FP pela FMD ($\geq 75\%$ de substituição) apresentaram menor consumo de ração do que os peixes alimentados com a dieta controle, sem FMD. Contudo, os *C. gariepinus* alimentados com as dietas com substituição maior ou igual 50% da FP pela FMD apresentaram maior taxa de crescimento que os peixes alimentados com a dieta controle, o que indica a alta qualidade nutricional da FMD para peixes. Lin & Mui (2017) também não observaram diferenças significativas para o crescimento e consumo de ração contendo até 30% de FMD para *Lates calcarifer*, uma espécie também insetívora/piscívora.

A palatabilidade dos insetos determina como este pode ser utilizado como ingrediente em dietas para peixes (Nogales-Mérida et al., 2019). Dietas a base de farinha de insetos podem ter sua palatabilidade prejudicada em função de sabores amargos, ácidos ou odores provenientes de compostos voláteis (Nogales-Mérida et al., 2019; Perez-Santaescolastica et al., 2022), como os feromônios (Ramos-Elorduy 1998). Outros fatores que podem influenciar a palatabilidade das farinhas de insetos são os métodos de secagem e congelamento (Nogales-Mérida et al., 2019), bem como o substrato utilizado no cultivo dos insetos (Kouřimská & Adámková 2016). A composição de aminoácidos é outro fator que pode influenciar a palatabilidade das farinhas de insetos, uma vez que peixes apresentam alta sensibilidade aos aminoácidos, com respostas espécie- específica (Kasumyan e Dovin, 2003). A concentração e a disponibilidade de aminoácidos em farinhas de insetos também dependem do substrato de cultivo e do tipo de processamento (Finke, 2002; Lalander et al 2019; Nogales-Mérida et al., 2019). Ogawa & Caprio (2010) observaram que alanina, arginina e prolina foram os aminoácidos que mais estimularam tanto receptores gustativos orais como extraorais no bagre do canal, uma espécie

da mesma ordem (Siluriformes) que o *P. reticulatum* e o *L. marmoratus*. Como a FMD apresenta altas concentrações destes aminoácidos, é possível que estes sejam responsáveis por promover consumo de ração equivalente ao consumo da ração com farinha de peixe para *P. reticulatum* x *L. marmoratus*. Apesar da importância da palatabilidade de um ingrediente para formulação de dietas para peixes, não foram encontrados estudos que avaliaram a palatabilidade de farinhas de insetos, submetidos a diferentes processamentos (Nogales-Mérida et al., 2019).

A ausência de efeitos significativos da substituição da proteína da FP pela da FMD sobre as variáveis metabólicas indica que o *P. reticulatum* x *L. marmoratus* utiliza bem a tanto a fração lipídica quanto a proteica da FMD. Como os peixes alimentados com as dietas contendo FMD apresentam teores de triglicérides, colesterol, HDL, LDL e VLDL semelhantes aos peixes alimentados com farinha de peixe, tanto tecidos periféricos como o fígado metabolizam bem os lipídios absorvidos da FMD. Da mesma forma, a eficiência de utilização de aminoácidos para síntese proteica foi semelhante entre os peixes alimentados com FMD e FP, pois os peixes apresentam atividades das enzimas ALT e AST semelhantes entre si. Como ALT e AST são enzimas transaminases que participam do catabolismo de aminoácidos excedentes não utilizados na síntese proteica (Moriles e Azer, 2020), a semelhança na atividade destas enzimas entre peixes alimentados com FP e FMD indica a boa qualidade nutricional da farinha de insetos utilizada neste estudo. A semelhança para taxa de eficiência proteica e a eficiência de retenção proteica entre os peixes alimentados com as dietas contendo FMD e os alimentados com dietas contendo FP corrobora a hipótese de que os aminoácidos de ambas as farinhas são utilizados com a mesma eficiência pelo *P. reticulatum* x *L. marmoratus*.

A semelhança entre as reservas energéticas de glicogênio hepático e muscular entre os peixes alimentados com dietas com níveis crescentes de substituição da FP pela FMD também indica que o *P. reticulatum* x *L. marmoratus* utiliza a fração proteica da farinha de moscas com a mesma eficiência que utiliza a da farinha de peixe, pois muitos aminoácidos, quando não utilizados para a síntese proteica, são convertidos em glicose pelo processo de gliconeogênese, e são armazenados como glicogênio no fígado e/ou nos músculos dos peixes (Lovell, 1998). Quando a demanda energética é plenamente atendida, parte dos aminoácidos que não foi utilizada para a síntese proteica pode ser convertida em ácidos graxos e armazenada como triglicerídeos no tecido adiposo (Beitz, 1996; Walton, 1985). Portanto, o fato dos peixes alimentados com FMD apresentarem teor de lipídios totais na carcaça semelhante aos peixes alimentados com farinha de peixe, também indica a boa eficiência de utilização da fração proteica da FMD pelo *P. reticulatum* x *L. marmoratus*. A semelhança dos valores do IHS entre os peixes alimentados com farinha de peixes e de moscas indica que a FMD não causou

deposição excessiva de gordura no fígado e, portanto, o metabolismo de aminoácidos e lipídios não foi afetado pela substituição da FP pela FMD, como observado por Mastoraki et al., (2020) em *Dicentrarchus labrax*, Mastoraki et al. (2022) em *Sparus aurata*, e Wang et al. (2017) em *Oreochromis niloticus*. Apesar da farinha de mosca doméstica apresentar alto teor lipídico, a substituição total da FP pela FMD não causou maior deposição de gordura na carcaça de *P. reticulatum x L. marmoratus*, o que indica boa capacidade de utilização da fração lipídica da dieta por este híbrido.

A completa substituição da FP pela FMD não causou alterações no status redox no fígado e intestino dos peixes, o que pode ser considerado mais um indicador da boa eficiência de utilização tanto da fração proteica quanto da lipídica da FMD pelo *P. reticulatum x L. marmoratus*. As espécies reativas de oxigênio (EROs), causadoras de estresse oxidativo, são geradas principalmente durante a fosforilação oxidativa nas mitocôndrias (síntese de ATP), onde uma pequena fração do oxigênio não forma água, e sim, o ânion radical superóxido (O_2^-), que pode desencadear a formação de outras formas de espécies reativas (Koury e Donangelo et al., 2003; Green et al., 2004). Dessa forma, a FMD provavelmente não proporcionou maior oxidação de aminoácidos e ácidos graxos nas mitocôndrias, quando comparado com a FP. As enzimas antioxidantes desempenham um papel crucial na defesa contra o estresse oxidativo pela neutralização das EROs, contribuindo assim para minimizar os danos em lipídios, proteínas e ácidos nucleicos (Sies, 1993). Em *P. reticulatum x L. marmoratus* a atividade das enzimas CAT, GST e SOD não apresentaram diferenças significativas, demonstrando que a FMD não aumentou as EROs e, dessa forma, as enzimas mantiveram o equilíbrio saudável entre a produção e a neutralização de EROs, sem prejuízos às proteínas e membranas celulares. A presença de quitina, principal componente do exoesqueleto de insetos, na FMD também pode ter influenciado o status redox no fígado e intestino devido a possível presença de quitosana que apresenta propriedade antioxidante (Ngo and Kim, et al 2014).

A quitosana é um produto parcial da digestão da quitina, composta por unidades de N-acetil-D-glucosamina ligadas por ligações β -(1 \rightarrow 4) (Alishahi et al., 2012; Abdel-Ghany et al., 2020) e, portanto, sua presença no intestino dos peixes depende da ação de quitinase endógena ou microbiana (Fines & Holt 2010; Karlsen et al., 2015; Fontes et al., 2019; Rangel et al., 2022). Contudo, ainda não foi demonstrada a atividade quitinolítica no intestino do híbrido *P. reticulatum x L. marmoratus*, assim como nas espécies parentais. Apesar da maioria dos estudos que demonstraram a presença da quitinase ter sido realizado em espécies marinhas (Danulat, 1986; Gutowska et al., 2004; Fines & Holt 2010), a mesma já foi identificada no estômago dos Siluriformes *Malapterurus electricus* (Fagbenro et al., 2001) e *Mormyrus rume*

(Odedeyi & Fagbenro, 2009) e *Clarias gariepinus* (Rapatsa & Moyo, 2019), bem como em outras espécies de água doce como a tilápia do Nilo (Molinari et al. 2007) e a truta arco-íris (Eggink et al., 2022). Além disso, os efeitos da quitina em dietas para peixes ainda são controversos, uma vez que alguns resultados demonstram efeitos benéficos sobre o crescimento e a saúde intestinal (Karlsen et al., 2015; Eggink et al., 2022) devido sua capacidade de modular a microbiota apresentando efeito prebiótico (Terova et al., 2019; Salam et al., 2021), enquanto outros mostram prejuízos à digestibilidade e ao crescimento (Belghit et al., 2018; Hu et al., 2017).

5.0. Conclusões

A substituição da proteína da farinha de peixe pela da farinha de mosca doméstica não afetou o crescimento, a eficiência de utilização dos nutrientes e o status redox de juvenis de *P. reticulatum* x *L. marmoratus*. Portanto, toda farinha de peixe pode ser substituída pela farinha de moscas domésticas em dietas para este híbrido.

6.0. Referências bibliográficas

- Abdel-Ghany, H. M., & Salem, M. E. S. (2020). Effects of dietary chitosan supplementation on farmed fish; a review. *Reviews in Aquaculture*, 12(1), 438-452
- Ai, H., Wang, F., Xia, Y., Chen, X., & Lei, C. (2012). Antioxidant, antifungal and antiviral activities of chitosan from the larvae of housefly, *Musca domestica* L. *Food chemistry*, 132(1), 493-498.
- Alishahi, A., & Aïder, M. (2012). Applications of chitosan in the seafood industry and aquaculture: a review. *Food and Bioprocess Technology*, 5, 817-830.
- AOAC (2005). *Official methods of analysis of the Association Analytical Chemists*. 18.ed. Gaithersburg, Maryland, USA.
- Aragão, C., Gonçalves, A. T., Costas, B., Azeredo, R., Xavier, M. J., & Engrola, S. (2022). Alternative proteins for fish diets: Implications beyond growth. *Animals*, 12(9), 1211.
- Barbarino Duque, A., & Winemiller, K. O. (2003). Dietary segregation among large catfishes of the Apure and Arauca Rivers, Venezuela. *Journal of Fish Biology*, 63(2), 410-427.
- Barros, R. P., Luz, J. R., de Souza Ramos, A. P., Costa, D. S., & Braga, L. G. T. (2020). Crude protein requirements in feeding for hybrid jundiara (*Pseudoplatystoma fasciatum* x *Leiarius marmoratus*). *Research, Society and Development*, 9(8), e978986866-e978986866.
- Beitz, D. C. (2006). *Metabolismo de proteínas e aminoácidos*. REECE, WO Fisiologia dos animais domésticos. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 493-509.
- Belghit, I., Liland, N. S., Gjesdal, P., Biancarosa, I., Menchetti, E., Li, Y., ... & Lock, E. J. (2019). Black soldier fly larvae meal can replace fish meal in diets of sea-water phase Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 503, 609-619

- Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. *Analytical biochemistry*, 239(1), 70-76.
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, 72(1-2), 248-254.
- Buege, J.A., Aust, S.D., 1978. Microsomal lipid peroxidation. *Methods in Enzymology*. 52, 302-310
- Cadinu, L. A., Barra, P., Torre, F., Delogu, F., & Madau, F. A. (2020). Insect rearing: Potential, challenges, and circularity. *Sustainability*, 12(11), 4567.
- Campos, J. L. (2010). O cultivo do pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*, Spix; Agassiz, 1829), outras espécies do gênero *Pseudoplatystoma* e seus híbridos. *Espécies nativas para a piscicultura no Brasil*, 2.
- Danulat, E. (1986). The effects of various diets on chitinase and β -glucosidase activities and the condition of cod, *Gadus morhua* (L.). *Journal of fish biology*, 28(2), 191-197.
- Detmann, E., Souza, M.D., Valadares Filho, S.D.C., De Queiroz, A.C., Berchielli, T.T., Saliba, E.O.S., Cabral, L.S., Pina, D.S., Ladeira, M.M., Azevedo, J. A.G., 2012. Métodos para análise de alimentos. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema, 214p.
- Dieterich, S., Bieligk, U., Beulich, K., Hasenfuss, G., Prestle, J., 2000. Gene expression of antioxidative enzymes in the human heart: increased expression of catalase in the end-stage failing heart. *Circulation*. 101(1), 33-39.
- Eggink, K. M., Pedersen, P. B., Lund, I., & Dalsgaard, J. (2022). Chitin digestibility and intestinal exochitinase activity in Nile tilapia and rainbow trout fed different black soldier fly larvae meal size fractions. *Aquaculture Research*, 53(16), 5536-5546.
- Fagbenro, O. A., Adedire, C. O., & Aiyegbeni, M. L. (2001). Food composition and digestive enzymes in the gut of the African electric catfish, *Malapterurus electricus* (Gmelin 1789) (Malapteruridae). *Tropical Zoology*, 14(1), 1-6.
- FAO. 2024. In Brief to The State of World Fisheries and Aquaculture 2024. Blue Transformation in action. Rome.
- Fawole, F. J., Shamna, N., Memudu, H. A., Abdullahi, N., Hassaan, M. S., & Gbadamosi, O. K. (2023). Housefly maggot meal complement soybean meal in a fish-free diet for hybrid catfish (*Clarias gariepinus* ♀ x *Heterobranchus longifilis* ♂): Effect on growth, body composition, blood biochemistry and antioxidant enzyme activity. *Animal Feed Science and Technology*, 295, 115543.
- Fines, B. C., & Holt, G. J. (2010). Chitinase and apparent digestibility of chitin in the digestive tract of juvenile cobia, *Rachycentron canadum*. *Aquaculture*, 303(1-4), 34-39.
- Finke, M. D. (2002). Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo biology: published in affiliation with the American zoo and aquarium association*, 21(3), 269-285.
- Fontes, T. V., de Oliveira, K. R. B., Gomes Almeida, I. L., Orlando, T. M., Rodrigues, P. B., da Costa, D. V., & Rosa, P. V. E. (2019). Digestibility of insect meals for Nile tilapia fingerlings. *Animals*, 9(4), 181.

- Ganda, H., Zannou, E. T., Kenis, M., Abihona, H. A., Houndonougbo, F. M., Chrysostome, C. A. A. M., ... & Mensah, G. A. (2022). Effect of four rearing substrates on the yield and the chemical composition of housefly larvae, *Musca domestica* L. 1758 (Diptera: Muscidae). *International Journal of Tropical Insect Science*, 1-9.
- Gutowska, M. A., Drazen, J. C., & Robison, B. H. (2004). Digestive chitinolytic activity in marine fishes of Monterey Bay, California. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 139(3), 351-358.
- Habig, W.H., Pabst, M. J., Jakoby, W.B., 1974. Glutathione S-transferase: the first enzymatic step in mercapturic acid formation. *J Biol Chem.* 249, 7130-7139
- Hadwan, M.H., Abed, H.N., 2016. Data supporting the spectrophotometric method for the estimation of catalase activity. *Data in brief*, 6, 194-199.
- Hardy, R. W. (2010). Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal. *Aquaculture research*, 41(5), 770-776.
- Hashim, R. (2006). Alternative ingredients for aquafeeds: the feasibility and economic equation. In Paper presented as Guest Speaker at the National Fisheries Symposium (NaFIS), Kuching, Sarawak, Malaysia.
- Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G., & Fountoulaki, E. (2015). Review on the use of insects in the diet of farmed fish: past and future. *Animal Feed Science and Technology*, 203, 1-22.
- Hua, K. (2021). A meta-analysis of the effects of replacing fish meals with insect meals on growth performance of fish. *Aquaculture*, 530, 735732.
- Hussein, M., Pillai, V. V., Goddard, J. M., Park, H. G., Kothapalli, K. S., Ross, D. A., ... & Selvaraj, V. (2017). Sustainable production of housefly (*Musca domestica*) larvae as a protein-rich feed ingredient by utilizing cattle manure. *PloS one*, 12(2), e0171708.
- Ido, A., Iwai, T., Ito, K., Ohta, T., Mizushige, T., Kishida, T., ... & Miura, T. (2015). Dietary effects of housefly (*Musca domestica*) (Diptera: Muscidae) pupae on the growth performance and the resistance against bacterial pathogen in red sea bream (*Pagrus major*)(Perciformes: Sparidae). *Applied Entomology and Zoology*, 50, 213-221.
- Jauncey, K., 1982. The effects of varying dietary protein level on the growth, food conversion, protein utilization and body composition of juvenile tilapias (*Sarotherodon mossambicus*). *Aquaculture*, 27(1), 43-54.
- Jimoh, A. A., Yusuf, O. A., Lanre-Bhadmos, H. Y. O., & Ashaolu, E. T. (2022). Growth, Haematology, Nutrient Retention and Histology of African Catfish, *Clarias gariepinus* Fingerlings Fed Larvae of *Musca domestica*. *Ife Journal of Agriculture*, 34(1), 122-142.
- Karlsen, Ø., Amlund, H., Berg, A., & Olsen, R. E. (2017). The effect of dietary chitin on growth and nutrient digestibility in farmed *Atlantic cod*, *Atlantic salmon* and *Atlantic halibut*. *Aquaculture Research*, 48(1), 123-133.
- Kasumyan, A.O., Doving, K.B., 2003. Taste preferences in fishes. *Fish and fisheries*. 4(4), 289-347.
- Kouřimská, L., & Adámková, A. (2016). Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS journal*, 4, 22-26
- Koury, J. C., Donangelo, C. M., 2003. Zinco, estresse oxidativo e atividade física. *Revista de Nutrição*. 16(4), 433-441.

- Lalander, C. D. S. Z., Diener, S., Zurbrügg, C., & Vinnerås, B. (2019). Effects of feedstock on larval development and process efficiency in waste treatment with black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Journal of cleaner production*, 208, 211-219.
- Lall, S. P., & Kaushik, S. J. (2021). Nutrition and metabolism of minerals in fish. *Animals*, 11(09), 2711.
- Levine, R.L., Williams, J.A., Stadtman, E. P., Shacter, E., 1994. [37] Carbonyl assays for determination of oxidatively modified proteins. In *Methods in enzymology* (Vol. 233, pp. 346-357). Academic Press.
- Lin, Y. H., & Mui, J. J. (2017). Evaluation of dietary inclusion of housefly maggot (*Musca domestica*) meal on growth, fillet composition and physiological responses for barramundi, *Lates calcarifer*. *Aquaculture Research*, 48(5), 2478-2485
- Lovell, T. (1998). Fish nutrition and feeding experiments. In *Nutrition and feeding of fish* (pp. 123-134). Boston, MA: Springer US.
- Lundstedt, L. M., Melo, J. F. B., & Moraes, G. (2004). Digestive enzymes and metabolic profile of *Pseudoplatystoma corruscans* (Teleostei: Siluriformes) in response to diet composition. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 137(3), 331-339.
- Makkar, H. P., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal feed science and technology*, 197, 1-33.
- Mastoraki, M., Ferrándiz, P. M., Vardali, S. C., Kontodimas, D. C., Kotzamanis, Y. P., Gasco, L., ... & Antonopoulou, E. (2020). A comparative study on the effect of fish meal substitution with three different insect meals on growth, body composition and metabolism of European sea bass (*Dicentrarchus labrax L.*). *Aquaculture*, 528, 735511.
- Mastoraki, M., Katsika, L., Enes, P., Guerreiro, I., Kotzamanis, Y. P., Gasco, L., ... & Antonopoulou, E. (2022). Insect meals in feeds for juvenile gilthead seabream (*Sparus aurata*): Effects on growth, blood chemistry, hepatic metabolic enzymes, body composition and nutrient utilization. *Aquaculture*, 561, 738674.
- Molinari, L. M., Pedroso, R. B., de Oliveira Scoaris, D., Ueda-Nakamura, T., Nakamura, C. V., & Dias Filho, B. P. (2007). Identification and partial characterisation of a chitinase from Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 146(1), 81-87.
- Ngo, D. H., & Kim, S. K. (2014). Antioxidant effects of chitin, chitosan, and their derivatives. *Advances in food and nutrition research*, 73, 15-31.
- Nogales-Mérida, S., Gobbi, P., Józefiak, D., Mazurkiewicz, J., Dudek, K., Rawski, M., ... & Józefiak, A. (2019). Insect meals in fish nutrition. *Reviews in Aquaculture*, 11(4), 1080-1103.
- Odedeyi, D. O., & Fagbenro, O. A. (2009). Digestive enzymes in the gut of the elephant snout fish, *Mormyrus rume* (Valenciennes, 1846) (Osteichthys: Mormyridae). *Zoologist (The)*, 7.
- Ogawa, K., & Caprio, J. (2010). Major differences in the proportion of amino acid fiber types transmitting taste information from oral and extraoral regions in the channel catfish. *Journal of neurophysiology*, 103(4), 2062-2073

- Perez-Santaescolastica, C., De Winne, A., Devaere, J., & Fraeye, I. (2022). The flavour of edible insects: A comprehensive review on volatile compounds and their analytical assessment. *Trends in Food Science & Technology*, 127, 352-367.
- Popma, T., Masser, M., 1999. *Tilapia life history and biology*. United States Department of Agriculture. 283, 4p.
- Ramos-Elorduy, J. (1997). Insects: a sustainable source of food?. *Ecology of food and nutrition*, 36(2-4), 247-276.
- Rangel, F., Santos, R. A., Monteiro, M., Lavrador, A. S., Gasco, L., Gai, F., ... & Serra, R. (2022). Isolation of chitinolytic bacteria from European sea bass gut microbiota fed diets with distinct insect meals. *Biology*, 11(7), 964.
- Rapatsa, M. M., & Moyo, N. A. (2019). Enzyme activity and histological analysis of *Clarias gariepinus* fed on *Imbrasia belina* meal used for partial replacement of fishmeal. *Fish Physiology and Biochemistry*, 45, 1309-1320.
- Ricker, W.E., 1979. Growth rates and models In: Hoar, W.S., Randall, D.J., Brett, J.R. (Eds), *Fish Physiology*, v.8: Bioenergetics and Growth. Academic Press, London, 677- 743.
- Robinson, E. H., Rawles, S. D., Brown, P. B., Yette, H. E., & Greene, L. W. (1986). Dietary calcium requirement of channel catfish *Ictalurus punctatus*, reared in calcium-free water. *Aquaculture*, 53(3-4), 263-270.
- Rodrigues, A. P. O., Pauletti, P., Kindlein, L., Cyrino, J. E. P., Delgado, E. F., & Machado- Neto, R. (2009). Intestinal morphology and histology of the striped catfish *Pseudoplatystoma fasciatum* (Linnaeus, 1766) fed dry diets. *Aquaculture Nutrition*, 15(6), 559-563.
- Salam, M. A., Rahman, M. A., Paul, S. I., Islam, F., Barman, A. K., Rahman, Z., ... & Islam, T. (2021). Dietary chitosan promotes the growth, biochemical composition, gut microbiota, hematological parameters and internal organ morphology of juvenile *Barbonymus gonionotus*. *PLoS One*, 16(11), e0260192.
- Saleh, H. H. (2020). Review on using of housefly maggots (*Musca domestica*) in fish diets. *Journal of Zoological Research*, 2(4), 39-46.
- Sánchez, J. A. M., Moyetones, F., & Cerdá, M. J. (2009). Effect of dietary protein level on growth performance of fingerlings of catfish yaque, *Leiarius marmoratus*, fed with three commercial diets. *Zootecnia Tropical*, 27(2), 187-194.
- Sogari, G., Amato, M., Biasato, I., Chiesa, S., & Gasco, L. (2019). The potential role of insects as feed: A multi-perspective review. *Animals*, 9(4), 119.
- Terova, G., Rimoldi, S., Ascione, C., Gini, E., Ceccotti, C., & Gasco, L. (2019). Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) gut microbiota is modulated by insect meal from *Hermetia illucens* prepupae in the diet. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 29, 465-486.
- Tsikis, D. (2007). Analysis of nitrite and nitrate in biological fluids by assays based on the Griess reaction: appraisal of the Griess reaction in the L-arginine/nitric oxide area of research. *Journal of Chromatography B*, 851(1-2), 51-70.
- Van Handel, E. (1965). Estimation of glycogen in small amounts of tissue. *Analytical biochemistry*, 11(2), 256-265.
- Van Huis, A., & Oonincx, D. G. (2017). The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37, 1-14.

- Walton, M. J. (1985). Aspects of amino acid metabolism in teleost fish. *Nutrition and feeding in fish*, 47-67.
- Wang, L., Li, J., Jin, J. N., Zhu, F., Roffeis, M., & Zhang, X. Z. (2017). A comprehensive evaluation of replacing fishmeal with housefly (*Musca domestica*) maggot meal in the diet of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): growth performance, flesh quality, innate immunity and water environment. *Aquaculture Nutrition*, 23(5), 983-993.
- Wilson, R. P., Robinson, E. H., Gatlin III, D. M., & Poe, W. E. (1982). Dietary phosphorus requirement of channel catfish. *The Journal of nutrition*, 112(6), 1197-1202.

CAPÍTULO 3

**Farinha de mosca soldado negro, *Hermetia illucens*, em dietas para juvenis de jundiá,
*Rhamdia quelen***

3.1. Resumo

Na busca por ingredientes alternativos que melhorem a sustentabilidade ambiental da criação de peixes, as farinhas de insetos ganham destaque em função do reaproveitamento de resíduos da agroindústria e reduzido consumo de água em sua produção. Nesse contexto, a farinha de mosca soldado negro (FMSN) surge como uma alternativa promissora como ingrediente proteico em rações para peixes em função de sua boa composição química e propriedades imunomoduladora, bactericida e antioxidante. Dessa forma, objetivamos avaliar o efeito da farinha de mosca soldado negro sobre o crescimento, eficiência de utilização dos nutrientes e status redox em juvenis de jundiá, *Rhamdia quelen*. Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos e cinco repetições. Foram utilizados 225 juvenis de jundiá, peso inicial de $18,36 \pm 0,08$, distribuídos em 25 aquários (150L) em um sistema de recirculação, dotados de aeração, filtros mecânico e biológico, temperatura controlada por aquecedores e termostatos, em densidade de estocagem de $0,122\text{g/L}$ de água. O laboratório foi mantido em fotoperíodo de 12 h de luz. Os peixes foram alimentados com cinco dietas contendo níveis crescentes de inclusão da FMSN (0; 5; 10; 15 e 20%) durante 80 dias. A inclusão da FMSN não influenciou as variáveis de desempenho produtivo e índices corporais ($P > 0,05$), com exceção do rendimento da carcaça e do índice viscerossomático ($P < 0,05$). Os peixes alimentados com as dietas contendo 5, 15 e 20 % de inclusão da FMSN apresentaram maior rendimento de carcaça e menor índice viscerossomático que os peixes alimentados com dieta isenta de FMSN (controle), mas não diferiram entre si. Da mesma forma, não houve efeito significativo ($P > 0,05$) da inclusão da FMSN para a composição química da carcaça e as variáveis metabólicas, exceto para os níveis de glicose. Os peixes alimentados com as dietas contendo 15 e 20 % de inclusão da FMSN apresentaram maior teor de glicose plasmática do que o controle (sem FMSN) e que o tratamento com 5 % de inclusão, mas não diferiram entre si. Para o status redox hepático houve efeito da inclusão de FMSN apenas sobre a atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD) e glutathiona-S-transferase (GST). Embora o tratamento com 20% de inclusão tenha apresentado atividade da SOD maior do que dos peixes alimentados com as dietas com 5 e 10% de inclusão, nenhum dos tratamentos com inclusão de FMSN apresentou atividade da SOD diferente do controle. A atividade da GST no fígado dos peixes alimentados com dietas contendo 15 e 20% de inclusão de FMSN foi maior do que nos peixes do controle, o que indica maior proteção contra espécies reativas de oxigênio. Portanto, é possível incluir até 20% de FMSN em dietas para juvenis de jundiá sem prejuízos para o crescimento e a eficiência de utilização dos nutrientes, além de contribuir com maior rendimento de carcaça. Contudo, ainda

são necessários novos estudos para avaliar níveis mais altos de inclusão da FMSN, uma vez que no presente estudo não foi possível estabelecer níveis máximos de inclusão para essa espécie.

Palavras chaves: nutrição de peixes, ingredientes alternativos, insetos

3.2. Introdução

Frente a crescente demanda por proteína de alta qualidade, a aquicultura vem se expandindo principalmente por meio da intensificação dos sistemas de produção (Mitra et al., 2021). Contudo, as altas densidades de estocagem e os frequentes manejos de classificação desencadeiam respostas de estresse nos peixes, que podem reduzir a eficiência de utilização dos nutrientes, comprometer o crescimento, diminuir a atividade do sistema imune e aumentar as perdas por mortalidade (Dara et al., 2023; Paital, 2013). A principal forma de minimizar tais efeitos é pela utilização de rações completas e balanceadas com ingredientes de alta digestibilidade, que atuem como alimentos funcionais ou nutracêuticos. Para tanto, é preciso avaliar ingredientes alternativos que apresentem componentes bioativos que possam modular processos fisiológicos que aprimorem a capacidade dos peixes enfrentarem condições adversas.

Nesse contexto, as farinhas de insetos se destacam em função de serem ricas em proteína e lipídios, com altas concentrações de aminoácidos essenciais, minerais e vitaminas (Nogales-Mérida et al., 2019). Além disso, a criação de insetos é considerada mais sustentável do que a de outros animais utilizados na produção de ingredientes para rações em função de exigir menos recursos como terra e água (Lu et al., 2020). A criação de insetos gera menor emissão de gases poluentes e permite a reciclagem de resíduos orgânicos provenientes da agroindústria como cama de frango, esterco bovino, ovino e de galinha poedeira e resíduos alimentares e de abatedouros (Nguyen et al., 2015; Meneguz et al., 2018; Liu et al., 2022).

A mosca soldado negro é uma das principais espécies de insetos utilizada para a produção de farinhas pela facilidade na criação (Gougbedji et al., 2021), boa digestibilidade e composição nutricional (Makkar et al., 2014; Henry et al., 2015; Tran et al., 2015), além da presença de peptídeos bioativos que lhe conferem as propriedades imunomoduladora, bactericida e antioxidante (Mousavi et al., 2020). Assim, a farinha de mosca soldado negro apresenta grande potencial para ser utilizada na alimentação de peixes em condições intensivas de criação por contribuir para maior resistência a situações adversas (Pereira-da-Silva e Oliveira, 2016; Wilhelm et al., 2005; Gao et al., 2013), como os manejos relacionados com a classificação, vacinação e transporte. Portanto, objetivamos avaliar a inclusão da farinha de mosca soldado negro sobre o crescimento, eficiência de utilização dos nutrientes e status redox em juvenis de jundiá, *Rhamdia quelen*, uma espécie de grande relevância para a piscicultura sul-americana, especialmente no centro da Argentina, sul do México e sul do Brasil (Gomes et al., 2000) por apresentar boa adaptação a diferentes ambientes de criação, por ser onívora, aceitar dietas processadas e boa resistência ao manejo (Fracalossi et al., 2004).

3.3. Material e métodos

3.3.1. Declaração de ética

O presente estudo foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais de Produção da Universidade Federal de Viçosa (CEUAP/UFV), Minas Gerais, Brasil (protocolo nº 14/2023), de acordo com os princípios éticos da experimentação animal, estabelecidos pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA) e com a legislação vigente.

3.3.2 Delineamento experimental

Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos e cinco repetições. Cada aquário contendo cinco peixes foi considerado uma unidade experimental. Foram formuladas cinco dietas em níveis crescentes de substituição da proteína do farelo de soja pela da farinha de mosca soldado negro (0; 5; 10; 15 e 20%).

3.3.3. Animais e dietas experimentais

Juvenis de jundiá cinza, *Rhamdia quellen*, foram mantidos em 25 aquários (150L) em um sistema de recirculação, dotados de aeração, filtros mecânico e biológico, temperatura controlada por aquecedores e termostatos em densidade de estocagem de 0,033 peixes/L de água. O laboratório foi mantido em fotoperíodo de 12 h de luz.

As dietas foram formuladas com base nas exigências nutricionais do *Rhamdia quellen* (Meyer e Fracalossi, 2004). Para atender as necessidades da espécie, foi realizado a suplementação com os aminoácidos sintéticos lisina e metionina, devido a deficiência desses aminoácidos essenciais nas principais fontes proteicas utilizadas, como a farinha de mosca soldado negro e o farelo de soja. A farinha de mosca soldado negro (FMSN) foi adicionada de forma uniforme aos demais ingredientes da ração. A mistura foi homogeneizada e extrusada, seca em estufa de ventilação forçada (55°C por 24h), e estocada em freezer a -20°C até o momento da alimentação. As dietas experimentais (Tabela 1) e a FMSN (Tabela 2) foram avaliadas quanto aos teores de matéria seca, proteína bruta, lipídios totais, matéria mineral, cálcio e fósforo de acordo com os métodos descritos pela *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 2006) e Detmann et al. (2012). A composição aminoacídica da FMD foi analisada pelo laboratório CBO análises laboratoriais (Valinhos, SP, Brasil) (Tabela 2).

Tabela 1: Formulação e composição química das dietas experimentais contendo níveis crescentes de inclusão da farinha de mosca soldado negro (FMSN)

Ingredientes	Inclusão da FMSN (%)				
	0	5	10	15	20
Farelo de soja	41,99	36,89	31,78	26,67	21,46
Farinha de vísceras de aves	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00
Farinha de mosca soldado negro	0,00	5,00	10,00	15,00	20,00
Fubá de milho	25,58	26,28	26,99	27,69	28,48
Óleo de soja	5,05	4,31	3,57	2,83	2,11
Fosfato bicálcico	0,16	0,12	0,08	0,04	0,00
Sal	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Suplemento mineral	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
suplemento vitamínico	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Calcário	1,75	1,82	1,89	1,96	2,03
DL- Metionina	1,28	1,28	1,31	1,34	1,36
L- Lisina	0,16	0,36	0,42	0,48	0,55
Treonina	0,62	0,68	0,70	0,73	0,75
Óxido de cromo	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
BHT	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Composição química da ração					
Energia bruta (Mcal kg ⁻¹) ¹	3400,00	3400,00	3400,00	3400,00	3400,00
Matéria seca (g kg ⁻¹)	865,2	86,52	87,35	91,14	91,41
Proteína bruta (g kg ⁻¹ da MS)	369,9	338,3	344,6	357,6	351,6
Lipídios totais (g kg ⁻¹ da MS)	77,8	76,6	74,7	70,6	72,3
Fibra bruta (g kg ⁻¹ da MS)	9,3	9,7	8,5	7,5	7,9
Fósforo total (g kg ⁻¹ da MS) ¹	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
Cálcio (g kg ⁻¹ da MS) ¹	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0

¹ Valores calculados; EB, energia bruta (kcal kg⁻¹)¹MS, matéria seca (g kg⁻¹); PB, proteína bruta (g kg⁻¹ da MS); LT, lipídios totais (g kg⁻¹ da MS); FB, fibra bruta (g kg⁻¹ da MS); P, fósforo total (g kg⁻¹ da MS); Ca, cálcio (g kg⁻¹ da MS); MM, matéria mineral (g kg⁻¹ da MS)

Tabela 2: Composição química e aminograma da farinha de mosca soldado negro (FMSN)

Composição química	
Matéria seca (g kg ⁻¹ da MS)	965,1
Proteína bruta (g kg ⁻¹ da MS)	383,9
Lipídios totais (g kg ⁻¹ da MS)	165,7
Matéria mineral (g kg ⁻¹ da MS)	155,2
Composição aminoacídica	Totais (g/100g)
Ácido aspártico	2,02
Ácido glutâmico	3,08
Serina	1,08
Glicina	1,53
Histidina	0,69
Taurina	0,03
Arginina	1,40
Treonina	1,07
Alanina	2,05
Prolina	1,73
Tirosina	1,68
Valina	1,65
Metionina	0,47
Cistina	0,26
Isoleucina	1,31
Leucina	1,94
Fenilalanina	1,06
Lisina	1,75
Hidroxirolina	0,11
Triptofano	0,35

MS, matéria seca (g kg⁻¹); PB, proteína bruta (g kg⁻¹ da MS); LT, lipídios totais (g kg⁻¹ da MS); MM, matéria mineral (g kg⁻¹ da MS)

Os peixes foram alimentados até a saciedade aparente, duas vezes ao dia (8:00am e 16:00pm), durante 80 dias. Diariamente foi avaliada a temperatura da água e semanalmente foram avaliadas as seguintes variáveis de qualidade da água: pH e oxigênio dissolvido por meio do medidor multiparâmetro (AKROM – Produtos eletrônicos) e amônia total por meio de kit colorimétrico (LabconTest). A amônia não ionizada (ANI) foi calculada de acordo com Emerson et al. (1975), pela equação:

$$\text{Amônia não ionizada} = \frac{\text{Amônia total}}{1 + 10^{(0,0902 - \text{pH}) + \left[\frac{2730}{273,2 + \text{temperatura da água}} \right]}}$$

Essas variáveis mantiveram-se dentro dos limites adequados para o cultivo de peixes de água doce (Popma and Masser, 1999) durante todo o período experimental com valores médios (\pm desvio padrão) de temperatura $27,60 \pm 0,7^\circ\text{C}$, pH de $7,09 \pm 0,47$, oxigênio dissolvido $7,01 \pm 0,16 \text{ mg L}^{-1}$ e amônia não ionizada de $0,0006 \pm 0,0009 \text{ mg/L}^{-1}$.

Ao final do período experimental todos os peixes foram eutanasiados por excesso de anestésico (400 mg/L de óleo de cravo) para a coleta de amostras para as análises laboratoriais.

3.3.4 Coleta e preparação de amostra

Ao final do período experimental, os peixes ($n = 25$ por tratamento) foram capturados, contados, pesados individualmente para cálculo das variáveis de desempenho produtivo. Para coleta da análise de sangue, os peixes foram sedados (200mg/L de óleo de cravo) e amostras de sangue de três peixes por caixa foram obtidas com o auxílio de uma seringa heparinizada através da venopunção. As amostras de sangue de cada peixe ($n = 15$ por tratamento) foram centrifugadas por 15 minutos a 15000 rpm (4°C) para obtenção do plasma. Após a coleta de sangue, os peixes foram eutanasiados (400mg/L de óleo de cravo) e dissecados em bandeja resfriada com gelo, obtendo-se o peso das vísceras, fígado, gordura visceral e carcaça. Para avaliar o status redox, 100 mg de fígado ($n=10$ peixes) foram homogeneizadas com auxílio de um homogeneizador de amostras (Tissue Master – OMNI) em solução tampão fosfato 0,1M gelado em pH 7,4. Os homogenatos foram centrifugados a 12.000 rpm, a 4°C , por 10 minutos, resultando em sobrenadante e pellets que foram utilizados para análise de status redox. Para a avaliação da composição corporal, todos os peixes de cada unidade experimental ($n = 25$ por tratamento), foram eviscerados com a cabeça, pesadas, liofilizadas para redução do teor de umidade (Labconco, Kansas City, MO, EUA) e moídas em liquidificador para obtenção de material homogêneo, para posterior análise química

3.3.5. Desempenho produtivo

O cálculo da taxa de sobrevivência (TS, %), ganho de peso (GP, g), consumo de ração aparente (CRap, g), consumo de proteína aparente (CPap, g), eficiência alimentar aparente (EAap, %), taxa de crescimento específico (TCE, %/dia), taxa de eficiência proteica (TEP, %), eficiência de retenção proteica (ERP, %), rendimento de carcaça (RC, %), índice visceromático (IVS), índice hepatossomático (IHS) e índice gordurosomático (IGS), conforme as Equações (1–13):

$$TS = (\text{Número final de peixes} \div \text{Número inicial de peixes}) \times 100 \quad (1)$$

$$GP = \text{Peso final} - \text{Peso inicial} \quad (2)$$

$$CRap = \text{Peso da ração inicial} - \text{Peso da ração final} \quad (3)$$

$$CPap = \text{Consumo de ração aparente} \times \text{Proteína bruta da ração} \quad (4)$$

$$EAap = \text{Ganho de peso} \div \text{Consumo de ração aparente} \quad (5)$$

Taxa de crescimento específico (TCE) utilizando, a equação proposta por Ricker (1979), apresentada a seguir:

$$TCE = \frac{\ln PF(g) - \ln PI(g)}{\text{tempo (dias)}} \times 100; \quad (6)$$

em que: PI = peso inicial médio dos peixes (g) e PF = peso final médio dos peixes (g);

Taxa de eficiência proteica (TEP) e eficiência de retenção proteica (ERP) utilizando as equações propostas por Jauncey & Ross (1982), apresentadas a seguir:

$$TEP = \frac{GP}{CP} \quad (7)$$

em que: GP = ganho de peso (g) e CP = consumo de proteína (g) calculado de acordo com a expressão $CP = CRap \times \% \text{ proteína bruta da dieta}$;

$$ERP = \frac{PBf \cdot Pf - PBi \cdot Pi}{CP} \times 100; \quad (8)$$

em que: PBf = proteína bruta da carcaça ao final do experimento (%); Pf = peso final (g); PBi = proteína bruta da carcaça no início do experimento (%); Pi = peso inicial (g) e CP = consumo de proteína (g).

$$RC = (\text{Peso da carcaça} \div \text{Peso vivo}) \times 100 \quad (9)$$

$$\text{IVS} = (\text{Peso das vísceras} \div \text{Peso vivo}) \times 100 \quad (10)$$

$$\text{IHS} = (\text{Peso do fígado} \div \text{Peso vivo}) \times 100 \quad (11)$$

$$\text{IGS} = (\text{Peso da gordura visceral} \div \text{Peso vivo}) \times 100 \quad (13)$$

3.3.6. Variáveis metabólicas

A determinação dos teores de colesterol total (CT), lipoproteínas de alta densidade (HDL), lipoproteínas de baixa densidade (LDL), triglicerídeos totais (TRIG), glicose (GLIC), e a atividade das enzimas aspartato aminotransferase (AST), alanina aminotransferase (ALT) foi realizada utilizando kits comerciais Bioclin® (Quibasa - Química Básica, Belo Horizonte, MG, Brasil), em analisador automático de bioquímica (BS200, MINDRAY®, Shenzhen, China), seguindo as especificações do fabricante.

3.3.7. Composição bromatológica da carcaça

Os teores de proteína bruta, lipídios totais, matéria mineral, das carcaças foram analisadas segundo as metodologias descritas para as análises das dietas de acordo com AOAC (2005) e Detmann et al. (2012). Para avaliar a eficiência de retenção proteica, foi coletada uma amostra inicial de cinco peixes e ao final do experimento todos os peixes de cada unidade experimental (25 peixes/tratamento) para as análises do teor de proteína bruta pelo método AOAC (2005) e Detmann et al. (2012).

3.3.8. Status redox

Amostras contendo 100 mg de tecido foram homogeneizadas com auxílio de um homogeneizador de amostras (Tissue Master – OMNI) em solução tampão fosfato 0,1M gelado em pH 7,4. Após a homogeneização, os homogenatos foram centrifugados a 12.000 rpm, a 4°C, por 10 minutos, resultando em sobrenadante e pellets. Foram analisados a atividade das enzimas antioxidantes superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), glutathione S-transferase (GST), a capacidade de redução férrica (FRAP) e dos marcadores do estresse oxidativo e nitrosativo, malondialdeído (MDA), o óxido nítrico (ON). Com os pellets foi mensurado o teor de proteínas carboniladas (PC). A atividade das enzimas foi normalizada pelo conteúdo total de proteínas.

A atividade da SOD foi determinada pelo método que utiliza a redução do superóxido (O₂⁻) em peróxido de hidrogênio, diminuindo assim a auto-oxidação do pirogalol, conforme descrito por Dieterich et al. (2000) A atividade da CAT foi determinada pela taxa de decomposição da reação peróxido de hidrogênio, seguido da mobilização do peróxido de hidrogênio não consumido com molibdato de amônio (Hadwan & Abed 2016). A atividade da glutathione-S-transferase (GST) foi determinada pela taxa de formação do conjugado de

glutaciona com o substrato 1-cloro-2,4-dinitrobenzeno (Habig et al. 1974). Os resultados foram expressos em Unidade por miligrama de proteína (U/mg ptn)

O conteúdo do MDA foi avaliado pelo método substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (Buege & Aust 1978) e a concentração total de proteínas em cada amostra foi verificada utilizando o método Bradford's (Bradford, 1976). As concentrações do NO foram analisadas utilizando o método indireto de Greiss (Tsikas 2007). O conteúdo de PC é determinado pela derivatização dos grupos carbonil com dinitrofenilhidrazina (DNPH) conforme descrito por Levine et al. (1994).

3.3.8. Análise estatística

Os efeitos da inclusão da farinha de mosca soldado negro sobre o desempenho produtivo, variáveis metabólicas, status redox e composição bromatológica da carcaça foi realizada por meio da análise de variância e teste Duncan ao nível de significância de 5%. Os testes de Shapiro-Wilk e Levene foram aplicados para avaliar os pressupostos de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias, respectivamente. Todas as análises foram realizadas no software R (R Core Team 2018). Os valores são apresentados como média \pm desvio padrão.

4.0. Resultados

A inclusão da farinha de mosca soldado negro não apresentou efeito significativo ($p > 0,05$) para a maioria das variáveis de desempenho produtivo e índices corporais, com exceção do rendimento da carcaça e do índice viscerossomático. Os peixes alimentados com as dietas contendo 5, 10 e 20 % de inclusão da FMSN apresentaram maior rendimento de carcaça e menor índice viscerossomático que os peixes alimentados com dieta isenta de FMSN (controle), mas não diferiram entre si. Os peixes alimentados com a dieta com 15 % de inclusão da FMSN não diferiram do controle e dos demais tratamentos (Tabela 3).

Da mesma forma, não houve efeito significativo ($p > 0,05$) da inclusão da farinha de mosca soldado negro para a maioria das variáveis metabólicas, exceto para os níveis de glicose (Tabela 4). Os peixes alimentados com as dietas contendo 15 e 20 % de inclusão da FMSN apresentaram maior teor de glicose plasmática do que o controle (sem FMSN) e que o tratamento com 5 % de inclusão, mas não diferiram entre si. Além disso, os tratamentos com 5 e 10 % de inclusão da FMSN não diferiram do controle. Também não foram observadas diferenças significativas na composição química da carcaça (Tabela 5). Para o status redox hepático (Tabela 6) houve efeito significativo da inclusão da FMSN apenas sobre a atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD) e glutaciona-S-transferase (GST). Apesar do

tratamento com 20% de inclusão apresentar maior atividade da SOD do que os tratamentos com 5 e 10 % de inclusão, estes não diferiram do tratamento com 15 % de inclusão e do controle. O tratamento com maior atividade da enzima GST foi observado no fígado dos peixes que receberam a dieta com 20 % de inclusão, seguido pelos tratamentos com 15 e 5 %. Já os peixes dos tratamentos 5 e 10 % de inclusão, não diferiram do controle.

Tabela 03. Valores médios (\pm desvio padrão) do desempenho produtivo e índices corporais de juvenis de jundiá, *Rhamdia quelen*, alimentados com dietas contendo níveis crescentes de inclusão da farinha de mosca soldado negro, *Hermetia illucens* (FMSN).

	Inclusão da FMSN (%)					P-Valor
	0	5	10	15	20	
TS	96 \pm 8,94	100 \pm 0,00	92 \pm 17,89	100 \pm 0,00	92 \pm 17,89	0,70
GP	26,78 \pm 5,76	25,67 \pm 10,08	28,52 \pm 10,09	26,31 \pm 5,87	26,44 \pm 4,19	0,97
PF	45,15 \pm 5,98	43,94 \pm 7,20	46,94 \pm 10,38	44,57 \pm 5,66	44,91 \pm 4,59	0,97
CRap	30,41 \pm 2,81	36,67 \pm 9,54	34,58 \pm 4,22	36,99 \pm 6,66	35,05 \pm 2,64	0,41
CPap	11,25 \pm 1,04	12,40 \pm 3,23	10,88 \pm 1,33	13,23 \pm 2,38	12,33 \pm 0,93	0,37
EA	0,89 \pm 0,24	0,72 \pm 0,21	0,85 \pm 0,35	0,75 \pm 0,27	0,75 \pm 0,08	0,78
TCE	1,49 \pm 0,20	1,45 \pm 0,28	1,53 \pm 0,33	1,48 \pm 0,24	1,47 \pm 0,14	0,99
RC*	83,74 \pm 3,01b	89,43 \pm 1,45a	87,03 \pm 3,58ab	88,32 \pm 2,37a	87,83 \pm 2,36a	0,03
ERP	1,53 \pm 0,50	1,32 \pm 0,35	1,60 \pm 0,63	1,20 \pm 0,46	1,37 \pm 0,13	0,64
TEP	2,41 \pm 0,64	2,14 \pm 0,63	2,70 \pm 1,10	2,09 \pm 0,76	2,14 \pm 0,22	0,65
IVS*	16,26 \pm 3,01a	10,57 \pm 1,45b	12,97 \pm 3,58ab	11,68 \pm 2,37b	12,17 \pm 2,36b	0,03
IHS	2,01 \pm 0,19	1,79 \pm 0,24	1,98 \pm 0,32	1,91 \pm 0,36	1,90 \pm 0,23	0,74
IGS	1,44 \pm 0,86	1,86 \pm 0,58	1,08 \pm 0,37	1,93 \pm 0,94	1,72 \pm 0,48	0,296

* p-Valor < 0,05 representa efeito significativo dos tratamentos. TS, taxa de sobrevivência (%); GP, ganho de peso (g); PI, peso inicial (g); PF, peso final (g); CR, consumo de ração (g); CPap, consumo de proteína aparente; EA, eficiência alimentar; CA, conversão alimentar; TCE, taxa de crescimento específico (%/dia); RC, rendimento de carcaça; ERP, eficiência de retenção proteica; TEP, taxa de eficiência proteica; IVS, índice viscerossomático; IHS, Índice hepatossomático; IGS, índice gordurossomático.

Tabela 04. Valores médios (\pm desvio padrão) das variáveis metabólicas de juvenis de jundiá, *Rhamdia quelen*, alimentados com dietas contendo níveis crescentes de inclusão da farinha de mosca soldado negro, *Hermetia illucens* (FMSN).

	Inclusão da FMSN (%)					P-Valor
	0	5	10	15	20	
GLIC*	66,71 \pm 6,43b	66,72 \pm 13,67b	75,97 \pm 4,50ab	80,91 \pm 8,94a	82,11 \pm 7,89a	0,02
COL	163,50 \pm 23,54	192,45 \pm 23,25	184,54 \pm 43,53	203,13 \pm 24,88	192,46 \pm 20,21	0,28
TRG	303,60 \pm 102,86	305,70 \pm 66,10	299,38 \pm 86,55	374,54 \pm 47,97	371,38 \pm 140,99	0,52
HDL	23,92 \pm 11,98	41,84 \pm 12,75	35,58 \pm 9,88	33,06 \pm 6,79	32,20 \pm 2,81	0,09
LDL	78,86 \pm 14,28	65,22 \pm 28,25	89,09 \pm 30,82	88,87 \pm 31,10	86,00 \pm 16,83	0,55
VLDL	60,72 \pm 20,57	61,14 \pm 13,22	59,88 \pm 17,30	86,45 \pm 27,54	74,25 \pm 28,22	0,27
AST	96,89 \pm 39,67	113,09 \pm 46,51	71,89 \pm 13,19	133,14 \pm 51,90	87,32 \pm 18,82	0,13
ALT	27,79 \pm 18,29	38,61 \pm 25,78	27,93 \pm 20,36	30,98 \pm 6,57	25,89 \pm 15,61	0,83

* p-Valor < 0,05 representa efeito significativo dos tratamentos GLIC, glicose (mg. dl⁻¹); COL (mg. dl⁻¹); colesterol; TRG (mg. dl⁻¹), triglicerídeos; HDL, lipoproteínas de alta densidade (mg. dl⁻¹); VLDL (mg. dl⁻¹); lipoproteínas de muito baixa densidade; LDL (mg. dl⁻¹), lipoproteínas de baixa densidade; AST (U.L⁻¹), aspartato aminotransferase; ALT (U.L⁻¹), alanina aminotransferase.

Tabela 05. Valores médios (\pm desvio padrão) da composição química da carcaça de juvenis de jundiá, *Rhamdia quelen*, alimentados com dietas contendo níveis crescentes de inclusão da farinha de mosca soldado negra, *Hermetia illucens* (FMSN).

	Inclusão da FMSN (%)					P-valor
	0	5	10	15	20	
MS	92,30 \pm 0,57	92,09 \pm 0,76	92,75 \pm 0,71	92,61 \pm 0,18	92,64 \pm 0,44	0,37
PB	61,05 \pm 3,42	60,33 \pm 1,37	59,32 \pm 4,12	57,79 \pm 2,50	61,58 \pm 1,68	0,26
LT	22,05 \pm 3,82	21,80 \pm 3,22	22,79 \pm 2,35	22,66 \pm 1,28a	21,40 \pm 1,65	0,91
MN	12,43 \pm 0,90	12,05 \pm 0,81	12,07 \pm 0,67	12,18 \pm 0,80	12,13 \pm 0,60	0,94

MS, matéria seca (g kg^{-1}); PB, proteína bruta (g kg^{-1} da MS); LT, lipídios totais (g kg^{-1} da MS); MN, matéria mineral (g kg^{-1} da MS).

Tabela 06. Valores médios (\pm desvio padrão) do status redox do fígado de juvenis de jundiá, *Rhamdia quelen*, alimentados com dietas contendo níveis crescentes de inclusão da farinha de mosca soldado negro, *Hermetia illucens* (FMSN).

	Inclusão da FMSN (%)					P-Valor
	0	5	10	15	20	
ON	3,69 \pm 3,24	2,38 \pm 2,24	4,23 \pm 2,80	2,50 \pm 1,54	3,15 \pm 0,62	0,67
MDA	0,59 \pm 0,29	0,34 \pm 0,11	0,40 \pm 0,19	0,51 \pm 0,24	0,47 \pm 0,18	0,40
PC	16,23 \pm 14,03	28,70 \pm 11,66	15,99 \pm 4,82	25,77 \pm 12,30	35,50 \pm 13,91	0,07
SOD*	0,80 \pm 0,09ab	0,70 \pm 0,13b	0,51 \pm 0,22b	0,80 \pm 0,27ab	1,03 \pm 0,28a	0,02
CAT	1,35 \pm 0,37	0,86 \pm 0,22	1,15 \pm 0,43	1,14 \pm 0,46	1,31 \pm 0,49	0,36
GST*	121,07 \pm 18,52c	165,65 \pm 15,27bc	128,28 \pm 54,46c	177,69 \pm 45,39b	229,55 \pm 19,62a	0,00

* p-Valor < 0,05 representa efeito significativo dos tratamentos pelo teste Duncan. ON (μ M), óxido nítrico; MDA (μ M MDA mg^{-1} de tecido), malondealdeído; PC (nmol mL^{-1}), proteínas carboniladas; SOD (U SOD mg^{-1} de tecido), superóxido dismutase; CAT ($\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ de tecido), catalase; GST ($\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ de tecido), glutathion S- transferase

5.0. Discussão

Apesar de não terem sido observados efeitos significativos da inclusão da FMSN para as variáveis de crescimento e eficiência de utilização dos nutrientes, os efeitos positivos observados no rendimento de carcaça indicam que a FMSN melhorou a retenção de nutrientes e a produção de carne. O maior rendimento de carcaça observado nos peixes alimentados com as dietas contendo 5, 15 e 20 % de inclusão da FMSN pode estar relacionado à presença de peptídeos bioativos com ação bactericida (Rangel et al., 2022), que podem modular a microbiota intestinal, favorecendo o crescimento de bactérias benéficas ao hospedeiro (Rangel et al., 2022), que frequentemente melhoram a eficiência de utilização dos nutrientes e sua retenção na carcaça (Llewellyn et al., 2012; Nwanna et al., 2017).

Outra hipótese para explicar o maior rendimento de carcaça observado nos peixes alimentados com as dietas contendo 5, 15 e 20 % de inclusão da FMSN seria a presença de quitina (Caligiani et al., 2018; Finke, 2013), o principal componente do exoesqueleto das moscas (Abdel-Ghany et al., 2020; Jiménez-Gómez et al., 2020). A quitina é um polissacarídeo composto por unidades de N-acetil-D-glucosamina (GlcNAc) ligadas por ligações β -(1 \rightarrow 4), que quando hidrolisada, produz quitosana, um produto parcial de sua digestão (Rangel et al., 2022), que atua como um prebiótico e melhora a digestibilidade pela modulação da microbiota intestinal (Terova et al., 2019; Salam et al., 2021). Em espécies como *Oncorhynchus mykiss* e *Dicentrarchus labrax*, a inclusão de FMSN contribuiu para o aumento das bactérias do filo Firmicutes (Rangel et al., 2022), que incluem bactérias quitinolíticas. Apesar de não existirem estudos demonstrando a presença de quitinase em *Rhamdia quelen*, a mesma já foi observada em outras espécies da mesma ordem (Siluriformes), como em *Mormyrus rume* (Odedeyi & Fagbenro, 2009), *Malapterurus electricus* (Fagbenro et al., 2001) e *Clarias gariepinus* (Rapatsa & Moyo, 2019). Além da ação prebiótica, a digestão da quitina, poderia contribuir para o suprimento do monossacarídeo N-acetil-D-glucosamina (GlcNAc) (Chen et al., 2010), um importante constituinte do tecido cartilaginoso e da matriz extracelular do tecido conjuntivo (Kierszenbaum & Tres, 2015). Assim, a GlcNAc proveniente da digestão da quitina poderia fornecer nutrientes para a formação de tecidos relacionados com o crescimento ósseo e a sustentação da musculatura, além de resistência mecânica da cartilagem, lubrificação e absorção de impactos, promovendo uma boa sustentação do corpo (Turley et al., 1985; Chen et al., 2010; Ghosh e Kline, 2019)

O menor índice viscerossomático (IVS) nos peixes alimentados com 5, 15 e 20 % de inclusão da FMSN corrobora os resultados observados para o rendimento de carcaça, uma vez que quanto menor a proporção de vísceras, maior é a proporção de partes comestíveis. Como

não houve diferença entre tratamentos para os índices gordurosossomático e hepatossomático, as diferenças observadas para o IVS estão diretamente relacionadas com o peso do trato gastrointestinal. Esses resultados indicam que a FMSN melhorou a eficiência de digestão e absorção dos nutrientes, pois com vísceras com peso relativamente menor, apresentaram crescimento semelhante aos peixes alimentados com a dieta controle, bem como maior rendimento de carcaça. Takakuwa et al. (2022) também observaram redução do índice viscerossomático em *Pagrus major* que receberam dietas com altos níveis de inclusão da proteína da farinha de peixe pela FMSN.

A ausência de efeito significativo da inclusão da FMSN para as variáveis de metabolismo lipídico e nitrogenado, bem como composição química da carcaça indica que o jundiá utilizou as frações lipídica e proteica da FMSN com a mesma eficiência que utiliza as da dieta controle. O maior teor de glicose no plasma dos peixes alimentados com as dietas contendo os maiores teores de farinha de mosca soldado negro pode estar relacionado com o teor de carboidratos solúveis no ingrediente utilizado. Apesar da maioria dos estudos não apresentar a composição de carboidratos solúveis, Spranghers et al. (2017) observaram grande variação no teor de carboidratos não fibrosos (7 – 618 g/kg) na farinha de moscas soldado negro cultivadas em diferentes substratos (ração para poedeiras, resíduos vegetais, digestato de biogás e resíduos de restaurantes). A ausência de efeito significativo da inclusão da FMSN para as variáveis do metabolismo lipídico (COL, TRG, HDL, LDL e VLDL) já era esperado uma vez que as dietas foram formuladas para serem isoenergéticas e isolipídicas. As diferenças na composição aminoacídica entre as fontes de proteína utilizadas poderia influenciar o teor de triglicerídeos plasmáticos, uma vez que alguns aminoácidos, quando não utilizados para a síntese proteica podem ser convertidos em ácidos graxos (Bombardelli et al, 2003) e armazenados como triglicerídeos. Porém, a ausência de efeitos sobre a eficiência de retenção proteica, taxa de retenção proteica e a atividade das enzimas transaminases ALT e AST mostra que o jundiá utilizou a proteína da farinha de moscas soldado negro com boa eficiência.

Apesar da quitina apresentar atividade antioxidante (Ngo & Kim, 2014), não foram observados efeitos da FMSN sobre o teor de espécies reativas de nitrogênio (ON) e danos em lipídios (malondialdeído) e em proteínas (proteínas carboniladas) no fígado de jundiá. Embora o tratamento com 20% de inclusão tenha apresentado atividade da SOD maior do que dos peixes alimentados com as dietas com 5 e 10% de inclusão, nenhum dos tratamentos com inclusão de FMSN apresentou atividade da SOD diferente do controle. A SOD representa a primeira linha de defesa antioxidante do organismo por meio da catalisação da dismutação do radical superóxido (O_2^-) em peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e oxigênio molecular (O_2) (Kiron, 2012;

Halliwell & Gutteridge, 2015; Hoseinifar et al., 2020). A maior atividade da enzima antioxidante glutathione S-transferase (GST) nos peixes alimentados com maiores teores de FMSN (15 – 20%), poderia indicar que esta atuou como alimento funcional devido a maior capacidade de proteção contra danos oxidativos e, portanto, maior resistência dos peixes a fatores causadores de estresse e estresse oxidativo como manejos de classificação, vacinação e transporte (Pereira-da-Silva & Oliveira, 2016; Welker et al., 2013). O aumento nos níveis do hormônio cortisol em peixes estressados causa aumento do metabolismo e da frequência respiratória (Luz & Portella, 2005), que desencadeiam desequilíbrio entre a formação e neutralização de espécies reativas de oxigênio, causando estresse oxidativo (Welker et al., 2013). A GST, além de proteger a célula contra espécies reativas, desempenha papel crucial na neutralização de xenobióticos e compostos endógenos tóxicos por meio da conjugação da glutathione (GSH) com compostos eletrofílicos (Valko, 2007), transformando-os em produtos mais solúveis, que são mais facilmente excretados pelos peixes (Valko, 2007).

6.0. Conclusões

A inclusão da farinha de moscas soldado negro em até 20% não afetou o crescimento e a eficiência de utilização dos nutrientes, além de contribuir com maior rendimento de carcaça e proteção contra danos oxidativos, pelo aumento das enzimas antioxidantes, evidenciando que a farinha de mosca soldado negro pode ser utilizada como fonte proteica para juvenis de jundiá, *Rhamdia quelen*.

7.0. Referências bibliográficas

- Abdel-Ghany, H. M., & Salem, M. E. S. (2020). Effects of dietary chitosan supplementation on farmed fish; a review. *Reviews in Aquaculture*, 12(1), 438-452
- AOAC (2005). Official methods of analysis of the Association Analytical Chemists. 18.ed. Gaithersburg, Maryland, USA.
- Barroso, F. G., de Haro, C., Sánchez-Muros, M. J., Venegas, E., Martínez-Sánchez, A., & Pérez-Bañón, C. (2014). The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture*, 422, 193-201.
- Birnie-Gauvin, K., Costantini, D., Cooke, S. J., & Willmore, W. G. (2017). A comparative and evolutionary approach to oxidative stress in fish: a review. *Fish and Fisheries*, 18(5), 928-942.
- Bombardelli, R. A., Meurer, F., & Syperreck, M. A. (2004). Metabolismo proteico em peixes. *Arq. ciênc. vet. zool. UNIPAR*, 69-79.
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, 72(1-2), 248-254.
- Buege, J.A., Aust, S.D., 1978. Microsomal lipid peroxidation. *Methods in Enzymology*. 52, 302-310
- Caligiani, A., Marseglia, A., Leni, G., Baldassarre, S., Maistrello, L., Dossena, A., & Sforza, S. (2018). Composition of black soldier fly prepupae and systematic approaches for extraction and fractionation of proteins, lipids and chitin. *Food research international*, 105, 812-820.
- Chen, J. K., Shen, C. R., & Liu, C. L. (2010). N-acetylglucosamine: production and applications. *Marine drugs*, 8(9), 2493-2516.
- Dara, M., Carbonara, P., La Corte, C., Parrinello, D., Cammarata, M., & Parisi, M. G. (2023). Fish welfare in aquaculture: Physiological and immunological activities for diets, social and spatial stress on Mediterranean aqua cultured species. *Fishes*, 8(8), 414.
- Detmann, E., Souza, M.D., Valadares Filho, S.D.C., De Queiroz, A.C., Berchielli, T.T., Saliba, E.O.S., Cabral, L.S., Pina, D.S., Ladeira, M.M., Azevedo, J. A.G., 2012. Métodos para análise de alimentos. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema, 214p

- Dieterich, S., Bieligk, U., Beulich, K., Hasenfuss, G., Prestle, J., 2000. Gene expression of antioxidative enzymes in the human heart: increased expression of catalase in the end-stage failing heart. *Circulation*. 101(1), 33-39.
- Finke, M. D. (2013). Complete nutrient content of four species of feeder insects. *Zoo biology*, 32(1), 27-36.
- Fagbenro, O. A., Adedire, C. O., & Aiyegbeni, M. L. (2001). Food composition and digestive enzymes in the gut of the African electric catfish, *Malapterurus electricus* (Gmelin 1789) (Malapteruridae). *Tropical Zoology*, 14(1), 1-6.
- FAO. 2024. In Brief to The State of World Fisheries and Aquaculture 2024. Blue Transformation in action. Rome.
- Fracalossi, D. M., Meyer, G., Santamaria, F. M., Weingartner, M., & Zaniboni-Filho, E. (2004). Desempenho do jundiá, *Rhamdia quelen*, e do dourado, *Salminus brasiliensis*, em viveiros de terra na região sul do Brasil. *Acta Scientiarum*, 26(3), 345-352.
- Gao, J., Koshio, S., Ishikawa, M., Yokoyama, S., Nguyen, B. T., Mamauag, R. E., 2013. Effect of dietary oxidized fish oil and vitamin C supplementation on growth performance and reduction of oxidative stress in Red Sea Bream *Pagrus major*. *Aquaculture Nutrition*. 19(1), 35-44.
- Ghosh, R., & Kline, P. (2019). HPLC with charged aerosol detector (CAD) as a quality control platform for analysis of carbohydrate polymers. *BMC Research Notes*, 12(1), 1-7.
- Gomes, L. D. C., Golombieski, J. I., Gomes, A. R. C., & Baldisserotto, B. (2000). Biologia do jundiá *Rhamdia quelen* (TELEOSTEI, PIMELODIDAE). *Ciência Rural*, 30, 179-185.
- Gougbedji, A., Agbohessou, P., Lalèyè, P. A., Francis, F., & Megido, R. C. (2021). Technical basis for the small-scale production of black soldier fly, *Hermetia illucens* (L. 1758), meal as fish feed in Benin. *Journal of Agriculture and Food Research*, 4, 100153.
- Habig, W.H., Pabst, M. J., Jakoby, W.B., 1974. Glutathione S-transferase: the first enzymatic step in mercapturic acid formation. *J Biol Chem*. 249, 7130-7139
- Hadwan, M.H., Abed, H.N., 2016. Data supporting the spectrophotometric method for the estimation of catalase activity. *Data in brief*, 6, 194-199.
- Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. (2015). *Free radicals in biology and medicine*. Oxford university press, USA.
- Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G., & Fountoulaki, E. (2015). Review on the use of insects in the diet of farmed fish: past and future. *Animal Feed Science and Technology*, 203, 1-22.
- Hoseinifar, S. H., Yousefi, S., Van Doan, H., Ashouri, G., Gioacchini, G., Maradonna, F., & Carnevali, O. (2020). Oxidative stress and antioxidant defense in fish: the implications of probiotic, prebiotic, and synbiotics. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 29(2), 198-217.

- Jauncey, K., 1982. The effects of varying dietary protein level on the growth, food conversion, protein utilization and body composition of juvenile tilapias (*Sarotherodon mossambicus*). *Aquaculture*, 27(1), 43-54.
- Jiménez-Gómez, C. P., & Cecilia, J. A. (2020). Chitosan: a natural biopolymer with a wide and varied range of applications. *Molecules*, 25(17), 3981.
- Kierszenbaum, A. L., & Tres, L. (2015). *Histology and Cell Biology: an introduction to pathology* E-Book. Elsevier Health Sciences.
- Kiron, V. (2012). Fish immune system and its nutritional modulation for preventive health care. *Animal feed science and technology*, 173(1-2), 111-133.
- Levine, R.L., Williams, J.A., Stadtman, E. P., Shacter, E., 1994. [37] Carbonyl assays for determination of oxidatively modified proteins. In *Methods in enzymology* (Vol. 233, pp. 346-357). Academic Press.
- Lim, H.K., Hur, J.W., 2018. Effects of Acute and Chronic Air Exposure on Growth and Stress Response of Juvenile Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 18(1), 143-151
- Liu, T., Klammsteiner, T., Dregulo, A. M., Kumar, V., Zhou, Y., Zhang, Z., & Awasthi, M. K. (2022). Black soldier fly larvae for organic manure recycling and its potential for a circular bioeconomy: A review. *Science of the Total Environment*, 833, 155122.
- Llewellyn, M. S., Boutin, S., Hoseinifar, S. H., & Derome, N. (2014). Teleost microbiomes: the state of the art in their characterization, manipulation and importance in aquaculture and fisheries. *Frontiers in microbiology*, 5, 207.
- Lu, R., Chen, Y., Yu, W., Lin, M., Yang, G., Qin, C., ... & Nie, G. (2020). Defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal can replace soybean meal in juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) diets. *Aquaculture Reports*, 18, 100520.
- Lu, S., Taethaisong, N., Meethip, W., Surakhunthod, J., Sinpru, B., Sroichak, T., ... & Paengkoum, P. (2022). Nutritional composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) and its potential uses as alternative protein sources in animal diets: A review. *Insects*, 13(9), 831.
- Luz, R. K., & Portella, M. C. (2005). Tolerance to the air exposition test of *Hoplias lacerdae* larvae and juvenile during its initial development. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 48, 567-573.
- Makkar, H. P., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal feed science and technology*, 197, 1-33.
- Meneguz, M., Schiavone, A., Gai, F., Dama, A., Lussiana, C., Renna, M., & Gasco, L. (2018). Effect of rearing substrate on growth performance, waste reduction efficiency and chemical composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(15), 5776-5784.
- Meyer, G., & Fracalossi, D. M. (2004). Protein requirement of jundia fingerlings, *Rhamdia quelen*, at two dietary energy concentrations. *Aquaculture*, 240(1-4), 331-343.

- Mousavi, S., Zahedinezhad, S., & Loh, J. Y. (2020). A review on insect meals in aquaculture: The immunomodulatory and physiological effects. *International Aquatic Research*, 12(2), 100-115.
- Nairuti, R. N., Musyoka, S. N., Yegon, M. J., & Opiyo, M. A. (2021). Utilization of black soldier fly (*Hermetia illucens* Linnaeus) larvae as a protein source for fish feed—a review. *Aquaculture Studies*, 22(2).
- Ngo, D. H., & Kim, S. K. (2014). Antioxidant effects of chitin, chitosan, and their derivatives. *Advances in food and nutrition research*, 73, 15-31.
- Nguyen, T. T., Tomberlin, J. K., & Vanlaerhoven, S. (2015). Ability of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae to recycle food waste. *Environmental entomology*, 44(2), 406-410.
- Niu, J., Lin, H. Z., Jiang, S. G., Chen, X., Wu, K. C., Liu, Y. J., ... & Tian, L. X. (2013). Comparison of effect of chitin, chitosan, chitosan oligosaccharide and N-acetyl-d-glucosamine on growth performance, antioxidant defenses and oxidative stress status of *Penaeus monodon*. *Aquaculture*, 372, 1-8.
- Nogales-Mérida, S., Gobbi, P., Józefiak, D., Mazurkiewicz, J., Dudek, K., Rawski, M., ... & Józefiak, A. (2019). Insect meals in fish nutrition. *Reviews in Aquaculture*, 11(4), 1080-1103.
- Nwanna, L. C., & Tope-Jegede, H. (2017). Effects of dietary *Lactobacillus plantarum* on the growth, carcass quality, and immune response of African catfish (*Clarias gariepinus*) challenged with *Salmonella typhi*. *Journal of Applied Aquaculture*, 29(1), 62-80.
- Odedeyi, D. O., & Fagbenro, O. A. (2009). Digestive enzymes in the gut of the elephant snout fish, *Mormyrus rume* (Valenciennes, 1846) (Osteichthys: Mormyridae). *Zoologist (The)*, 7.
- Paital, B. (2013). Antioxidant and oxidative stress parameters in brain of *Heteropneustes fossilis* under air exposure condition; role of mitochondrial electron transport chain. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 95, 69-77.
- Pereira-da-Silva, E. M., & Oliveira, R. H. F. (2016). Physiological responses of lambari *Astyanax altiparanae* (Garutti & Britski 2000) to air exposure. *Aquaculture Research*, 48(6).
- Popma, T., Masser, M., 1999. Tilapia, life history and biology. Southern Regional Aquaculture Center (SRAC) Publication. United States Department of Agriculture. n.283. 4p.
- R Core Team, 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>
- Rangel, F., Santos, R. A., Monteiro, M., Lavrador, A. S., Gasco, L., Gai, F., ... & Serra, C. R. (2022). Isolation of chitinolytic bacteria from *European sea* bass gut microbiota fed diets with distinct insect meals. *Biology*, 11(7), 964.
- Rapatsa, M. M., & Moyo, N. A. (2019). Enzyme activity and histological analysis of *Clarias gariepinus* fed on *Imbrasia belina* meal used for partial replacement of fishmeal. *Fish Physiology and Biochemistry*, 45, 1309-1320.

- Ricker, W.E., 1979. Growth rates and models In: Hoar, W.S., Randall, D.J., Brett, J.R. (Eds), Fish Physiology, v.8: Bioenergetics and Growth. Academic Press, London, 677- 743.
- Salam, M. A., Rahman, M. A., Paul, S. I., Islam, F., Barman, A. K., Rahman, Z., ... & Islam, T. (2021). Dietary chitosan promotes the growth, biochemical composition, gut microbiota, hematological parameters and internal organ morphology of juvenile *Barbonymus gonionotus*. PLoS One, 16(11), e0260192.
- Spranghers, T., Ottoboni, M., Klootwijk, C., Ovyne, A., Deboosere, S., De Meulenaer, B., ... & De Smet, S. (2017). Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. Journal of the Science of Food and Agriculture, 97(8), 2594-2600.
- Takakuwa, F., Tanabe, R., Nomura, S., Inui, T., Yamada, S., Biswas, A., & Tanaka, H. (2022). Availability of black soldier fly meal as an alternative protein source to fish meal in red sea bream (*Pagrus major*, Temminck & Schlegel) fingerling diets. Aquaculture Research, 53(1), 36-49.
- Terova, G., Rimoldi, S., Ascione, C., Gini, E., Ceccotti, C., & Gasco, L. (2019). Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) gut microbiota is modulated by insect meal from *Hermetia illucens* prepupae in the diet. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 29, 465-486
- Tran, G., Heuzé, V., & Makkar, H. P. (2015). Insects in fish diets. Animal frontiers, 5(2), 37-44.
- Tsikas, D. (2007). Analysis of nitrite and nitrate in biological fluids by assays based on the Griess reaction: appraisal of the Griess reaction in the L-arginine/nitric oxide area of research. Journal of Chromatography B, 851(1-2), 51-70.
- Turley, E. A., Bowman, P., & Kytryk, M. A. (1985). Effects of hyaluronate and hyaluronate binding proteins on cell motile and contact behaviour. Journal of cell science, 78(1), 133-145.
- Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M. T., Mazur, M., & Telser, J. (2007). Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. The international journal of biochemistry & cell biology, 39(1), 44-84.
- Wilhelm Filho, D., Torres, M.A., Zaniboni-Filho, E., Pedrosa, R.C., 2005. Effect of different oxygen tensions on weight gain, feed conversion, and antioxidant status in piapara, *Leporinus elongatus* (Valenciennes, 1847). Aquaculture. 244(1-4), 349-357.
- Welker, A.F., Moreira, D.C., Campos, E.G., Hermes-Lima, M., 2013. Role of redox metabolism for adaptation of aquatic animals to drastic changes in oxygen availability. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology, 165(4), 384-404.

CAPÍTULO 4

Considerações finais

As farinhas de mosca avaliadas se mostraram como ingredientes alternativos viáveis para serem utilizados em dietas para peixes Siluriformes com tendência a onivoria por promoverem bom crescimento e ótima eficiência de utilização de nutrientes. Contudo, como a maior porcentagem de inclusão da FMSN não diferiu do controle para a maioria das variáveis avaliadas, não foi possível estabelecer um nível máximo de inclusão, sendo necessário novos estudos que avaliem maiores proporções de inclusão da FMSN.

Os benefícios para a manutenção do status oxidativo precisam ser melhor avaliados, particularmente quando os peixes são expostos a manejos que os expõem ao ar, ou mesmo sob condições intensivas de cultivos como altas densidade de estocagem. Experimentos que submetam os peixes a desafios por bactérias patogênicas também são importantes para elucidar os mecanismos pelos quais as farinhas de mosca podem controlar bactérias indesejáveis e estimular o sistema imune dos peixes. A identificação de quais peptídeos apresentam propriedades antioxidante, bactericida e imunoestimulante também poderia permitir seu isolamento e uso como aditivo em dietas para peixes.

A avaliação dos efeitos das farinhas de mosca sobre o controle de bactérias indesejáveis no intestino dos peixes também poderia contribuir para a elucidação dos mecanismos de ação dos peptídeos bioativos e sua contribuição na saúde intestinal, na digestibilidade e retenção dos nutrientes. A realização de experimentos que avaliem o efeito das farinhas de mosca sobre a atividade das enzimas digestivas, a digestibilidade dos nutrientes e presença de quitinase endógena ou microbiana também poderá contribuir para a compreensão dos mecanismos de ação dos compostos presentes nessas farinhas.

A avaliação dos limites de inclusão de farinhas de mosca em dietas para peixes carnívoros também é necessária, uma vez que esses são mais exigentes quanto a palatabilidade das rações. A possibilidade de substituir a farinha de peixe por farinhas de moscas ou de outros insetos representa importante avanço no aumento da sustentabilidade ambiental da criação de peixes pela facilidade de criação, utilização de reduzidas áreas de cultivo e reaproveitamento de resíduos da agroindústria, bem como menor uso da água e emissão de gases causadores de efeito estufa.

Anexos



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
 COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS DE PRODUÇÃO
 CEUAP/UFV

Campus Universitário – Viçosa, MG – 36570-900 – Telefone:(31) 3899.3275 – e-mail: ceuap@ufv.br – site: www.ceuap.ufv.br

Viçosa, 18 de Setembro de 2023

CERTIFICADO

Certificamos que o projeto intitulado "**Substituição da farinha de peixe por farinha de larva de mosca doméstica, musca doméstica, em dietas para pintado amazônico**", protocolo nº **022/2023**, sob a responsabilidade de **Rodrigo Fortes da Silva** - que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo chordata, subfilo vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da lei nº 11.794, de 8 de outubro de 2008, do decreto nº 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo conselho nacional de controle da experimentação animal (concea), e foi apreciado pela comissão de ética no uso de animais de produção da universidade federal de viçosa (ceuap-ufv) em reunião de **18 de Abril de 2023**.

Finalidade: ()Pesquisa ()Ensino

Vigência do Projeto: de **01 de Abril de 2023** a **01 de Junho de 2024**

Espécie/linhagem: **Pintado Amazônico (Pseudoplatystoma fasciatum x Leiarius marmoratus)** Nº de animais: **405**

Peso: **10 - 50g** Idade: **2 meses** Sexo: **Macho/Fêmea** Origem: **Piscicultura Ferreira, Cnpj: 48.890.247/0001-57 Fazenda Babilônia. Responsável : Renato Braga Ferreira**

Data de Aprovação: **18 de Setembro de 2023**

CERTIFICATE

We certify that the project entitled "**Replacement of fish meal with housefly larvae meal, musca domestica, in diets for Amazonic Catfish.**", protocol nº **022/2023**, under the responsibility of **Rodrigo Fortes da Silva** - which involves the production, maintenance and/or use of animals belonging to the phylum chordata, subphylum vertebrata (except man), for scientific research purposes (or education) - is in accordance with the law nº. 11.794, of October 8, 2008, Decree nº. 6899 of July 15, 2009, and the rules issued by the Brazilian National Council for Animal Experimentation Control (CONCEA), and was approved by the Ethics Commission on the use of farm animals of Universidade Federal de Viçosa (CEUAP-UFV) in its meeting on **Apr. 18Th of 2023**.

Finality: ()Research ()Education

Duration of the Project: from **Apr. 01Th of 2023** to **Jun. 01Th of 2024**.

Species / strain: **Amazonic Catfish (Pseudoplatystoma fasciatum x Leiarius marmoratus)** Nº of animals: **405**

Weight: **10 - 50g** Age: **2 months** Sex: **Male/Female** Source: **Piscicultura Ferreira, Cnpj: 48.890.247/0001-57 Fazenda Babilônia. Responsável : Renato Braga Ferreira**

Approval date: **Sep. 18Th of 2023**

Luciana Navajas Rennó
 Luciana Navajas Rennó



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
 COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS DE PRODUÇÃO
 CEUAP/UFV

Campus Universitário – Viçosa, MG – 36570-900 – Telefone:(31) 3899.3275 – e-mail: ceuap@ufv.br – site: www.ceuap.ufv.br

Viçosa, 11 de Março de 2024

CERTIFICADO

Certificamos que o projeto intitulado "**Substituição da farinha de peixe por farinha de mosca soldado negro, *Hermetia illucens*, em dietas para jundiá cinza, *Rhamdia quelen***", protocolo n° **014/2024**, sob a responsabilidade de **Rodrigo Fortes da Silva** - que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo chordata, subfilo vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da lei n° 11.794, de 8 de outubro de 2008, do decreto n° 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), e foi apreciado pela Comissão de Ética no Uso de Animais de Produção da Universidade Federal de Viçosa (CEUAP-UFV) em reunião de **11 de Março de 2024**.

Data de Aprovação: 11 de Março de 2024 Finalidade: () **Pesquisa** () **Ensino** Vigência do Projeto: de **01 de Abril de 2024 a 01 de Junho de 2025** Espécie/linhagem: **Jundiá cinza (*Rhamdia quelen*)** N° de animais: **405**

Peso: **10g, 15g, 50g** Idade: **02 meses** Sexo: **Macho/Fêmea** Origem: **Piscicultura Ferreira, Cnpj: 48.890.247/0001-57 Endereço: Fazenda Babilônia, Vieiras – MG, 36895-000 - Responsável : Renato Braga Ferreira**

CERTIFICATE

We certify that the project entitled "**Replacing of fish meal with black soldier fly meal, *Hermetia illucens*, in diets for gray jundiá, *Rhamdia quelen***", protocol n° **014/2024**, under the responsibility of **Rodrigo Fortes da Silva** - which involves the production, maintenance and/or use of animals belonging to the phylum chordata, subphylum vertebrata (except man), for scientific research purposes (or education) - is in accordance with the law n°. 11.794, of October 8, 2008, Decree n°. 6899 of July 15, 2009, and the rules issued by the Brazilian National Council for Animal Experimentation Control (CONCEA), and was approved by the Ethics Commission on the use of farm animals of Universidade Federal de Viçosa (CEUAP-UFV) in its meeting on **March 11th, 2024**.

Approval Date: **March 11th, 2024**. Finality: () **Research** () **Education**
 Duration of the Project: from **April 1st, 2024**, to **June 01st, 2025**.

Species / strain: **Gray catfish (*Rhamdia quelen*)** N° of animals: **405**
 Weight: **10g, 15g, 50g** Age: **02 months** Sex: **Male/Female** Source: **Piscicultura Ferreira, Cnpj: 48.890.247/0001-57 Endereço: Fazenda Babilônia, Vieiras – MG, 36895-000 - Responsável : Renato Braga Ferreira**

Luciana Mavajas Penno