Ciência Animal Brasileira
Brazilian Animal Science

DOI: 10.1590/1809-6891v27e-82106P

e-ISSN 1809-6891
Zootecnia | Artigo científico

Efeito de peptídeos bioativos, obtidos a partir de *Tenebrio molitor*, sobre crescimento, índices somáticos, composição corporal, parâmetros bioquímicos e atividade de enzimas digestivas de jundiás

[Effect of bioactive peptides obtained from *Tenebrio molitor* on growth, somatic indices, body composition, biochemical parameters and digestive enzyme activity of silver catfish]

Evander Matos Penchel[1], Fernanda Rodrigues Goulart Ferrigolo[2], Andressa Tellechea Rodrigues[3], Sergio Domingos Silveira Serra[4], Gabriel Bernardes Martins[4], Alexandra Pretto*[4]

1 Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, São Paulo, Brasil
2 Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil
3 Universidade Estadual de Maringá (UEM), Maringá, Paraná, Brasil
4 Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Uruguaiana, Rio Grande do Sul, Brasil

*autor correspondente: alexandrapretto@unipampa.edu.br

Recebido: 24 de março de 2025. Aceito: 23 de abril de 2026. Publicado: 13 de maio de 2026.
Editor: Rondineli P. Barbero

Resumo: Conforme a atividade aquícola cresce para atender a demanda populacional, os sistemas de cultivo se intensificam. Assim, novas pesquisas buscam encontrar aditivos nutricionais que reflitam positivamente, reduzindo seu tempo de criação e mortalidade. O presente estudo aborda os efeitos da inclusão de níveis crescentes de peptídeos bioativos obtidos a partir de *Tenebrio molitor* (PBTM) sobre o crescimento, índices somáticos, composição corporal, metabólitos circulantes e atividade de enzimas digestivas de juvenis de jundiá (*Rhamdia quelen*). Três dietas isoprotéicas e isocalóricas foram formuladas para conter níveis de 0 %, 0,5 % ou 1,0 % de inclusão de PBTM. Em um sistema de recirculação de água foram distribuídos 336 juvenis de jundiá (peso médio inicial de 3,83 ± 0,69 g) em 12 unidades experimentais (quatro repetições por tratamento). Os peixes foram alimentados com as dietas experimentais até a saciedade aparente durante seis semanas. Ao final do ensaio, foi realizada biometria, coleta de sangue e de tecidos corporais. Não foram observadas diferenças significativas para o peso final, comprimento total, ganho de peso, fator de condição, índice digestivo somático, hepato somático e quociente intestinal, entre os animais dos diferentes tratamentos. Quanto à composição corporal, houve diferença nos valores de umidade e cinzas (maiores concentrações nos peixes dos tratamentos 0,5 % e 1,0 % de PBTM, respectivamente). A atividade de tripsina e quimotripsina intestinal não foi afetada, bem como os parâmetros plasmáticos avaliados. Conclui-se que a inclusão de PBTM não afetou negativamente os parâmetros avaliados, porém mais estudos precisam ser realizados para elucidar um nível ideal de inclusão de peptídeos.

Palavras-chave: piscicultura; alimento funcional; crescimento animal; promotor de saúde; *Rhamdia quelen*.

Abstract: As aquaculture activity grows to meet population demand, farming systems intensify. Therefore, new research seeks to find nutritional additives that have a positive impact, reducing their breeding time and mortality. The present study addresses the effects of the inclusion of increasing levels of bioactive peptides obtained from *Tenebrio molitor* (BPTM) on the growth, somatic indices, body

Copyright ©. Este é um artigo em acesso aberto distribuído nos termos da Creative Commons Attribution License que permite o uso irrestrito, a distribuição e reprodução em qualquer meio desde que o artigo original seja devidamente citado.

composition, circulating metabolites and digestive enzyme activity of juvenile silver catfish (*Rhamdia quelen*). Three isoproteic and isocaloric diets were formulated to contain levels of 0 %, 0.5 % or 1.0 % inclusion of BPTM. In a water recirculation system, 336 jundiá juveniles (initial average weight of 3.83 ± 0.69 g) were distributed in 12 experimental units (four replicates per treatment). Fish were fed the experimental diets to apparent satiety for six weeks. At the end of the trial, biometric measurements, blood samples and body tissue samples were collected. No significant differences were observed for final weight, total length, weight gain, condition factor, somatic digestive index, somatic hepatic index and intestinal quotient among the animals in the different treatments. Regarding body composition, there were differences in moisture and ash values (higher concentrations in fish in the 0.5 % and 1.0 % BPTM treatments, respectively). The activity of intestinal trypsin and chymotrypsin was not affected, as well as the plasma parameters evaluated. It is concluded that the inclusion of BPTM did not negatively affect the parameters evaluated, but further studies need to be carried out to elucidate an ideal level of peptide inclusion.

Keywords: pisciculture; functional food; animal growth; health promoter; *Rhamdia quelen*.

1. Introdução

A produção aquícola assume cada vez mais relevância para a geração de renda, emprego, desenvolvimento social e segurança alimentar e nutricional para a população em diversas regiões do mundo. Os desafios da aquicultura passam pelo uso eficiente dos recursos naturais para assegurar criações saudáveis e garantir alimentos seguros para a população, aliado a práticas produtivas de reduzido impacto ambiental e que contribuam para o seu desenvolvimento sustentável [1]. Neste sentido, a busca por melhoria dos índices econômicos na aquicultura estimula a investigação sobre estratégias nutricionais para aumentar a resistência a doenças e reduzir eventual mortalidade de peixes durante as etapas de criação [2-4].

A expansão da aquicultura passa inevitavelmente pela intensificação da atividade. Em face disso, a piscicultura intensiva pode contribuir para fatores predisponentes ao aumento do estresse em diversas espécies de interesse comercial, colaborando para a supressão imunológica e deixando-as suscetíveis a doenças durante o ciclo produtivo [5, 6]. Por isso, observa-se notável crescimento de pesquisas direcionadas ao desenvolvimento de novos aditivos funcionais, como por exemplo, compostos bioativos extraídos de plantas, hidrolisados e peptídeos, que proporcionam melhorias sobre a saúde, crescimento animal, resposta imune e resistência a doenças [7-11].

Os insetos, já conhecidos por seu alto teor de proteína e taxas de conversão alimentar eficientes, estão entre as fontes potenciais para obtenção de peptídeos bioativos [12]. Os peptídeos bioativos são pequenas moléculas formadas por ligações peptídicas específicas. Em sua estrutura primária intacta, os peptídeos não apresentam bioatividade, sendo necessário passar pelo processo de hidrólise enzimática para a liberação das sequências que apresentam algum tipo de função bioativa [13]. Os peptídeos obtidos a partir de insetos são conhecidos por suas ações anti-inflamatória, anti-hipertensiva, antidiabética e inibitória de enzimas como lipase e enzima conversora de angiotensina, além de ação antimicrobiana [14, 12].

O jundiá *(Rhamdia quelen*) é um peixe onívoro que vem ganhando destaque na produção de espécies nativas na região sul do Brasil [15]. Apresenta características desejáveis como sobrevivência em temperaturas baixas (até 3ºC), desde que seja adaptado lentamente [16], uso eficiente de dietas comerciais, adaptabilidade às diversas condições de cultivo, além de possuir carne saborosa e ausência de espinhas no filé, característica bastante apreciada pelos consumidores [17]. No entanto, quando criado em sistemas intensivos, fatores de estresse

afetam seu o crescimento [18-20]. Logo, dietas contendo a suplementação com peptídeos bioativos poderão atuar como estratégia nutricional para melhorar o desempenho zootécnico e a resposta imune da espécie e, ainda, fornecer “insights” para futuras pesquisas com outros teleósteos [2, 21, 22]. Dessa forma, objetivou-se avaliar a suplementação de peptídeos bioativos em dietas de juvenis de jundiá sobre o crescimento, deposição corporal de nutrientes e energia, atividade de enzimas digestivas e respostas bioquímicas plasmáticas.

2. Material e métodos

2.1 Produção de *Tenebrio molitor*

As larvas de *T. molitor* foram produzidas no Laboratório de Biodiversidade Animal da Universidade Federal do Pampa, campus Uruguaiana, RS, Brasil. As larvas foram alimentadas com ração comercial para frangos, composta por milho moído, farelo de glúten de milho, farelo de soja e farelo de arroz, contendo 19,96 ± 0,70 % de proteína bruta (PB), 3,83 ± 0,13 % de lipídeos, 89,53 ± 1,16 % de matéria seca (MS) e 10,28 ± 0,98 % de matéria mineral (MM). As larvas foram criadas por 80 dias até atingirem o comprimento de 2 cm.

2.2 Obtenção do peptídeo bioativo

A metodologia utilizada neste processo segue o proposto por Villanova et al. [23]. As larvas do *T. molitor* foram parcialmente secas em estufa (55°C por 48 h) e moídas para obtenção da farinha de insetos. Posteriormente, a farinha foi desengordurada através de quatro lavagens com hexano (peso:volume 1:2). Amostra de farinha de tenébrio desengordurada foi homogeneizada e pré-incubada em água destilada (proporção p:v 1:10) a 55°C por 30 minutos. Após a pré-incubação, foi adicionada enzima alcalase (0,04 %) e o pH ajustado a 7,0 com NaOH 0,1 N para ação enzimática. Passada a etapa de hidrólise (8 horas a 55°C), a enzima foi inativada através de aquecimento a 95°C durante 15 minutos. A mistura obtida foi resfriada até 20-25°C em banho de gelo e então centrifugada (8000 rpm por 20 minutos) para isolar materiais insolúveis dos peptídeos solúveis.

2.3 Dietas experimentais

Para o ensaio nutricional foram formuladas três dietas isoprotéicas (360 g Kg^{-1} de proteína bruta) e isocalóricas (13,55 MJ Kg^{-1} de energia digestível), considerando as exigências nutricionais da espécie *R. quelen* [24-26] adicionadas de níveis crescentes de peptídeos bioativos obtidos a partir de larvas de *Tenebrio molitor*, como segue: 0 % ou dieta controle; 0,5 % PBTM e 1,0 % PBTM (Tabela 1). Para o preparo das dietas, os ingredientes foram pesados e misturados manualmente até completa homogeneização. A seguir foi adicionada a água para a mistura obter ponto para peletização. Logo após, cada dieta experimental foi peletizada em moedor de carne e mantida em estufa a 55°C por 24 h, embalada em sacos plásticos identificados e armazenada em freezer a -18°C até o fornecimento aos animais.

Tabela 1. Formulação e composição proximal das dietas experimentais (g Kg^{-1}).

Ingredientes	Dietas experimentais		
	Controle	0,5 % PBTM	1,0 % PBTM
Farinha de peixe	670,0	670,0	670,0
Amido de milho	159,8	159,8	159,8
Celulose microcristalina	60,0	55,0	50,0
Peptídeo bioativo	0,0	5,0	10,0
Óleo de linhaça	30,0	30,0	30,0
Vitaminas e minerais[1]	30,0	30,0	30,0
Cloreto sódio iodado	5,0	5,0	5,0
Hidroxitolueno butilado	0,2	0,2	0,2
Areia[2]	45,0	45,0	45,0
Total	1000,0	1000,0	1000,0
Composição calculada			
Proteína bruta[3]	360,4	360,4	360,4
Energia digestível (MJ Kg^{-1})[4]	13,55	13,55	13,55
Extrato etéreo[3]	103,9	103,9	103,9
Amido[3]	159,8	159,8	159,8
Cinzas[3]	157,1	157,1	157,1
Relação ED:PB	89,82	89,82	89,82
Cálcio[3]	31,5	31,5	31,5
Fósforo[3]	16,1	16,1	16,1
Relação Ca:P	1,96	1,96	1,96

[1]Composição da mistura de vitaminas e minerais (Kg): ácido fólico 997,50 mg; ácido pantotênico 9975,00 mg; biotina 159,60 mg; cobalto 39,90 mg; cobre 2800,00 mg; etoxiquina 24,78 g; ferro 19,62 g; iodo 120,00 mg; manganês 5200,00 mg; niacina 19,95 g; selênio 119,70 mg; zinco 28,00 g; vitamina A 1995000 UI; vitamina B1 4987,50 mg; vitamina B12 5985,00 mg; vitamina B2 4987,50 g; vitamina B6 4987,50 mg; vitamina C 70,00 g; vitamina D3 198000,05 UI; vitamina E 19950,00 UI; vitamina K 997,50 mg. [2]Areia; [3]Composição calculada baseada na análise dos ingredientes, e expressa na matéria natural. [4]Energia digestível calculada = ([proteína bruta x 23,61 MJ/Kg x 0,9] + [gordura x 39,82 MJ/Kg x 0,85] + [carboidratos solúveis x 17,21 MJ/Kg x 0,50]) [(27)].

2.4 Ensaio experimental

O experimento foi aprovado pelo Comitê de Ética no uso de Animais da Universidade Federal do Pampa (protocolo nº 009/2021) e conduzido no Centro de Tecnologia em Pesca e Aquicultura da Universidade Federal do Pampa, campus Uruguaiana, RS, Brasil, em um período de seis semanas. O ensaio foi conduzido em sistema de recirculação de água (tanques de polipropileno de 280 L de volume útil), motobomba e filtro biológico. Um total de 336 juvenis de jundiá (peso médio inicial 3,83 ± 0,69 g) foram distribuídos em 12 unidades experimentais (28 peixes/caixa) em um delineamento inteiramente casualizado com três tratamentos e quatro repetições de cada tratamento. Os peixes foram alimentados durante seis semanas, duas vezes ao dia, às 9:30 e 16:30 hs, até a saciedade aparente. Além disso, diariamente às 8:30 e 15:30 h foram realizadas sifonagens para retirada de fezes.

Ao longo do experimento, foram verificados os parâmetros de qualidade da água. A temperatura e o oxigênio dissolvido foram medidos duas vezes ao dia com oxímetro, e as médias observadas de temperatura foram 18,70 ± 1,80°C pela manhã e 19,37 ± 1,43°C à tarde e para

oxigênio 6,07 ± 0,90 mg L^{-1} pela manhã e 5,81 ± 0,74 mg L^{-1} à tarde. Demais parâmetros foram avaliados semanalmente e as médias mantidas como segue: alcalinidade total 235,83 ± 29,40 mg L^{-1} $CaCO_3$, dureza 134,00 ± 38,43 mg L^{-1} $CaCO_3$, pH 7,70 ± 0,40, amônia 0,71 ± 0,74 mg L^{-1} e nitrito 0,14 ± 0,10 mg L^{-1}.

2.5 Coleta de dados e parâmetros avaliados

Ao final do período experimental, os peixes passaram por um jejum de 18 horas antes do processo de biometria. Dois peixes de cada unidade experimental (oito de cada tratamento) foram amostrados para retirada de sangue através de punção na veia caudal, com seringas heparinizadas. As amostras de sangue foram centrifugadas (1000 g por 10 minutos) para obtenção do plasma para posteriores análises. A seguir, todos os peixes foram anestesiados com eugenol (óleo de cravo) na concentração de 50 mg L^{-1} para realização de biometria [28], onde foram coletados os dados de peso (g) e comprimento total (cm) e a seguir estimados os seguintes parâmetros de desempenho:

- Fator de condição (FC): peso / (comprimento total)^3 × 100;
- Ganho de peso (GP, g): peso final – peso inicial;
- Conversão alimentar aparente (CAA): alimento consumido/ganho de peso;
- Sobrevivência (S, %): (número final de peixes/número inicial de peixes) × 100.

Para análise dos parâmetros somáticos, oito peixes por tratamento foram eutanasiados por overdose de eugenol (óleo de cravo) na concentração de 500 mg L^{-1} [29] e usados para determinar os seguintes parâmetros:

- Índice digestivo somático (IDS, %): (peso trato digestório) / (peso do peixe inteiro) × 100;
- Índice hepato somático (IHS, %): (peso fígado) / (peso do peixe inteiro) × 100;
- Quociente intestinal (QI): (comprimento do trato digestório) / (comprimento total do peixe) × 100.

Logo após a coleta destes parâmetros, fígado, estômago e intestino foram armazenados em eppendorfs e mantidos congelados (-18 °C) para posteriores análises.

2.6 Composição corporal e deposição de nutrientes

Para determinação da composição centesimal de peixe inteiro e cálculos de deposição de nutrientes oito animais de cada tratamento foram eutanasiados por overdose de eugenol (óleo de cravo, 500 mg L^{-1}) e usados para determinar o conteúdo de umidade, cinzas (mufla a 550°C por 4 h) e proteína bruta (método de Micro-Kjeldahl, utilizando 6,25 como fator de conversão) de acordo com metodologias descritas na AOAC [30], bem como o teor de gordura, avaliado pelo método de extração a frio, segundo Bligh e Dyer [31]. Uma amostra inicial de 10 peixes foi coletada para a análise da composição centesimal do peixe inteiro e cálculo dos índices de deposição.

Os índices de proteína e gordura corporal depositados foram calculados pelas seguintes equações:

- Deposição de proteína corporal (DPC, g): [Pf × (%PBCf/100)] – [Pi × (%PBCi/100)];
- Deposição de gordura corporal (DGC, g): [Pf × (%GCf/100)] – [Pi × (%GCi/100)].

Sendo: Pf = peso final; Pi = peso inicial; PBCi = proteína bruta corporal inicial; PBCf = proteína bruta corporal final; GCi = gordura corporal inicial; GCf = gordura corporal final.

2.7 Análises em plasma

No plasma foram analisados os níveis de glicose (mg dL^{-1}), colesterol total (mg dL^{-1}), triglicerídeos (mg dL^{-1}), proteínas totais (g dL^{-1}) e albumina (g dL^{-1}) utilizando *kits* colorimétricos comerciais (Bioclin®, MG, Brasil). O teor de globulinas (g dL^{-1}) foi obtido por diferença: (proteínas totais - albumina).

2.8 Análise de enzimas digestivas

O intestino inteiro foi homogeneizado em solução tampão contendo 10 mM de fosfato de potássio e 20 mM de tris aminometano, pH 7,5 em 50 % [v/v] de glicerol. A proporção utilizada de tecido:tampão foi 1:20 e a homogeneização foi realizada com homogeneizador tipo potter (Tecnal, SP, Brasil). Após homogeneizadas, as amostras foram centrifugadas a 1200 g por 10 min, e o sobrenadante armazenado a -18 °C como fonte enzimática.

A atividade das proteases alcalinas seguiu o protocolo descrito por Hummel [32]. A atividade de tripsina foi ensaiada utilizando TAME (éster metílico de α-p-toluenossulfonil-L-arginina cloridrato) como substrato. Homogeneizados de intestino foram incubados por 2 min em 2 mL de tampão Tris/$CaCl_2$ pH 8,1 e a absorbância lida em espectrofotômetro a 247 nm. A atividade da enzima foi expressa em µmol TAME min^{-1} mg $proteína^{-1}$.

Para determinação da atividade de quimotripsina foi utilizado éster etílico de benzoil-L-tirosina (BTEE) como substrato. Os extratos foram incubados por 2 min a 30 °C em 2 mL de solução tampão Tris/$CaCl_2$ pH 7,8 e a absorbância lida a 256 nm. A atividade de quimotripsina foi expressa em µmol BTEE min^{-1} mg $proteína^{-1}$. O conteúdo de proteína para expressar a atividade enzimática das amostras foi determinado segundo Bradford [33] utilizando albumina sérica bovina como padrão.

2.9 Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade, seguido de análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de significância, utilizando o programa estatístico SPSS 21.0.

3. Resultados

Ao final de seis semanas de experimento, não foram observadas diferenças significativas nas variáveis de desempenho e taxa de sobrevivência nos peixes suplementados com os peptídeos bioativos em relação ao tratamento controle ($P > 0,05$) (Tabela 2). Da mesma forma, os índices somáticos não diferiram entre os peixes suplementados com os diferentes níveis de peptídeos bioativos.

Tabela 2. Parâmetros de desempenho e índices somáticos de jundiás (*R. quelen*) suplementados com níveis crescentes de peptídeos bioativos.

Parâmetros	**Dietas experimentais**		
	Controle	**0,5 % PBTM**	**1,0 % PBTM**
Peso final (g)	6,38±2,11[a]	6,16±1,84[a]	6,45±2,47[a]
CT (cm)	8,95±0,91[a]	8,90±0,82[a]	8,96±1,00[a]
Fator de condição	0,86±0,12[a]	0,85±0,07[a]	0,86±0,09[a]
Ganho de peso (g)	2,54±0,28[a]	2,34±0,49[a]	2,61±0,15[a]
CAA	2,61±0,44[a]	3,23±0,48[a]	2,99±0,34[a]
Sobrevivência (%)	99,00±0,00[a]	100,00±0,00[a]	100,00±0,00[a]
QI	1,27±0,17[a]	1,33±0,23[a]	1,40±0,15[a]
IHS (%)	2,03±0,44[a]	2,04±0,50[a]	2,05±0,28[a]
IDS (%)	5,05±1,40[a]	5,90±1,66[a]	6,55±2,11[a]

Dados são apresentados como média ± desvio padrão (n = 4). Diferentes letras nas linhas da tabela representam diferença significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). CT: comprimento total; CAA: conversão alimentar aparente; QI: quociente intestinal; IHS: índice hepato somático; IDS: índice digestivo somático.

3.2 Composição corporal e deposição de nutrientes

Ao final do período experimental, não foram observadas diferenças ($P > 0,05$) nos níveis de proteína bruta e extrato etéreo de todos os peixes suplementados com os níveis crescentes de peptídeos bioativos, conforme pode ser observado na tabela 3. Os jundiás do grupo controle apresentaram significativamente menores níveis de umidade corporal comparado aos animais dos tratamentos 0,5 % PBTM e 1,0 % PBTM. Com relação aos níveis de matéria mineral, os peixes que receberam a dieta 1,0 % PBTM apresentaram maiores teores comparado aos demais grupos. A deposição de proteína corporal não foi alterada entre os peixes dos diferentes tratamentos, mas a deposição de gordura corporal foi maior nos peixes do tratamento com 1,0 % de PBTM, seguidos daqueles do grupo controle e dos alimentados com 0,5 % de PBTM.

Tabela 3. Composição Corporal e Deposição de nutrientes de jundiás (*R. quelen*) suplementados com níveis crescentes de peptídeos bioativos.

Parâmetros	**Dietas experimentais**		
	Controle	**0,5 % PBTM**	**1,0 % PBTM**
Umidade (%)	74,12±0,37^{c}	76,58±0,47^{a}	75,40±0,06^{b}
Proteína Bruta (%)	15,50±0,54^{a}	15,71±1,39^{a}	16,22±1,01^{a}
Extrato etéreo (%)	3,82±1,01^{a}	3,18±1,21^{a}	4,48±0,91^{a}
Matéria mineral (%)	3,20±0,13^{b}	2,77±0,23^{b}	3,92±0,16^{a}
Deposição de Proteína Corporal	0,44±0,04^{a}	0,47±0,08^{a}	0,49±0,02^{a}
Deposição de Gordura Corporal	0,11±0,01^{b}	0,06±0,01^{c}	0,15±0,00^{a}

Dados são apresentados como média ± desvio padrão (n = 8). Diferentes letras nas linhas da tabela representam diferença significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

3.3 Parâmetros bioquímicos plasmáticos

Após seis semanas de alimentação com as diferentes dietas experimentais, os jundiás não apresentaram diferenças ($P > 0,05$) para os parâmetros bioquímicos sanguíneos, conforme pode ser observado na tabela 4.

Tabela 4. Parâmetros bioquímicos plasmáticos de jundiás (*R. quelen*) suplementados com níveis crescentes de peptídeos bioativos.

Parâmetros	**Dietas experimentais**		
	Controle	**0,5 % PBTM**	**1,0 % PBTM**
Glicose (mg dL^{-1})	48,00±10,80^{a}	55,16±13,98^{a}	50,75± 6,68^{a}
Colesterol total (mg dL^{-1})	72,76±21,11^{a}	77,23±31,92^{a}	81,16±26,40^{a}
Triglicerídeos (mg dL^{-1})	51,90±16,76^{a}	59,46±25,09^{a}	72,05±20,02^{a}
Albumina (g dL^{-1})	0,44±0,16^{a}	0,74±0,33^{a}	0,71±0,11^{a}
Proteína Total (g dL^{-1})	3,16±1,07^{a}	3,14±1,01^{a}	3,03±0,26^{a}
Globulinas (g dL^{-1})	2,70±0,84^{a}	2,22± 0,40^{a}	2,24± 0,40^{a}

Dados são apresentados como média ± desvio padrão (n = 8). Diferentes letras nas linhas da tabela representam diferença significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

3.4 Atividade de enzimas digestivas

Após receberem alimentação com as diferentes dietas experimentais durante seis semanas, os jundiás não apresentaram diferenças significativas ($P > 0,05$) para a atividade de tripsina e quimiotripsina (Figura 1).

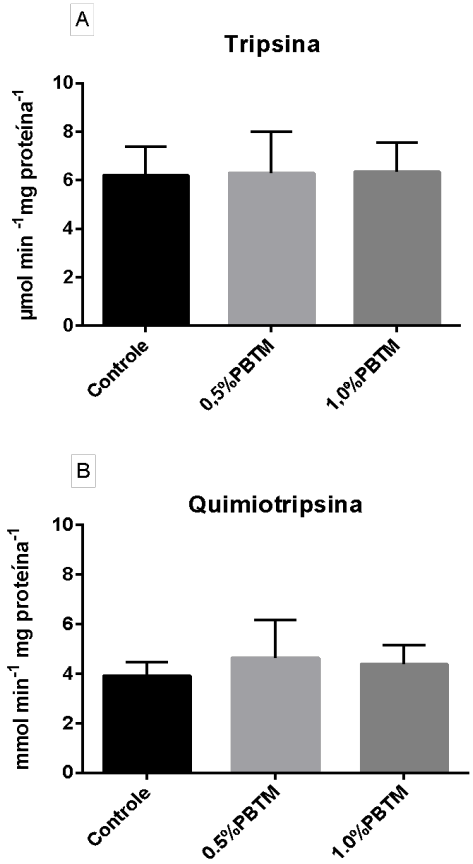

Figura 1. Atividade de enzimas digestivas de jundiás (*R. quelen*) suplementados com níveis crescentes de peptídeos bioativos. Dados são apresentados como média ± desvio padrão (n = 8). Não foram observadas diferenças pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

4. Discussão

Vários esforços têm sido feitos para reduzir a aplicação de antibióticos na aquicultura e com isso, estudos têm aplicado suplementos naturais com o objetivo de promover o crescimento e trazer benefícios à saúde dos animais. Nesse sentido, diferentes fontes de peptídeos bioativos já vêm sendo testados na nutrição de diferentes espécies de peixes [34-37]. Porém, são escassos os estudos avaliando a obtenção de aditivos a partir de insetos com potencial promotor de crescimento.

No presente estudo, a inclusão de níveis crescentes de peptídeos bioativos, obtidos a partir de larvas de *Tenebrio molitor,* não afetou os parâmetros de crescimento. Da mesma forma, a sobrevivência e índices somáticos dos jundiás alimentados com as diferentes dietas não apresentaram influência dos níveis de peptídeos empregados. Ainda não está bem esclarecido, mas sugere-se que os parâmetros de crescimento não tenham sido influenciados pela inclusão dos peptídeos em função da dosagem utilizada ser abaixo do ideal. Além disso, conforme Sarker et al. [38] a bioatividade e biodisponibilidade dos peptídeos pode ser influenciada por vários fatores, como peso molecular, composição e sequência de aminoácidos, entre outros, o que pode estar diretamente relacionado com sua forma de obtenção. Para garantir a funcionalidade é importante que os peptídeos permaneçam inalterados e prontamente disponíveis para a absorção intestinal. Como os estudos sobre obtenção de peptídeos de larvas de *Tenebrio molitor* são recentes, estudos futuros devem ser realizados para elucidar formas de potencializar a bioatividade destes compostos e que não prejudiquem a sua absorção e promoção do crescimento animal, considerando assim sua aplicação na aquicultura.

A avaliação da composição corporal dos peixes é uma ferramenta importante que permite avaliar a eficiência da transferência dos nutrientes da dieta para o animal [39]. No presente estudo, a inclusão de peptídeos bioativos alterou alguns parâmetros da composição corporal. Os peixes que receberam 0,5 % de peptídeos bioativos na dieta apresentaram significativamente maior teor de água corporal comparado aos demais tratamentos. Já, o conteúdo de matéria mineral foi significativamente maior nos jundiás suplementados com 1,0 % de peptídeos bioativos. A água é o principal constituinte do pescado (60 a 85 % da porção comestível), sendo dividida em água de constituição, ligada a proteínas e carboidratos (15 a 25 %) e água de dissolução ou livre, presente no músculo e demais tecidos. Quanto aos minerais, a maioria dos átomos metálicos está presente no músculo dos peixes e elementos como sódio, potássio, cálcio e cloro encontram-se no estado inorgânico, e minerais como fósforo, enxofre, iodo, ferro, cobre e cobalto são encontrados ligados a proteínas, gorduras e carboidratos [39].

A água e matéria mineral estão correlacionados negativamente, uma vez que a água é expressa pela perda do peso da amostra após processo de secagem e o volume de matéria mineral se dá pela incineração da matéria orgânica [40]. Entre os tratamentos é possível notar que os peixes alimentados com a dieta 0,5 % PBTM apresentaram maior teor de água na carcaça. Isso pode indicar que o tratamento 0 % e 0,5 % tiveram menor solubilidade de minerais comparado ao tratamento com adição de 1,0 % PBTM que possui maior quantidade de matéria mineral. Em trabalho realizado Andriamialinirina et al. [41] foi observado que dietas adicionadas de hidrolisado de levedura promoveram menor conteúdo de matéria mineral em juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) suplementadas com 1 % e maior conteúdo de matéria mineral no tratamento 0 % e 3 % de inclusão. Também foi observado que a suplementação com hidrolisado de vísceras de atum em dietas para pampo (*Rachinotus blochii*) não refletiu em diferenças nos valores de água e matéria mineral corporais quando incluído até 20 % de hidrolisado [42]. Da mesma forma, a inclusão de 10 % de hidrolisado de *Tenebrio molitor* em substituição parcial à farinha de peixe em dietas para truta marisca (*Salmo trutta m. trutta*) também não demonstrou diferenças em relação aos valores de água e matéria mineral corporais em comparação aos demais tratamentos [43].

Conforme Li et al. [44] a avaliação de parâmetros bioquímicos sanguíneos, assim como a avaliação da atividade enzimática digestiva, são indicadores do estado nutricional e de saúde dos peixes. No presente estudo, nenhuma diferença nos parâmetros bioquímicos sanguíneos foi observada entre os tratamentos, indicando que esses valores são similares aos encontrados por Adorian et al. [45]: Glicose 73-74 (mg dL^{-1}), Colesterol 75-93 (mg dL^{-1}), Proteína total 2-3,05 (g dL^{-1}). Dessa maneira, não houve comprometimento dos parâmetros sanguíneos avaliados, o mesmo ocorreu com dietas contendo até 20 % de hidrolisados de soja para jundiá (*Rhamdia quelen*) em que nenhum tratamento obteve diferenças nos parâmetros sanguíneos [46]. Estes achados demonstram que os peptídeos bioativos, obtidos a partir de *Tenebrio molitor*, incluídos na dieta em níveis de até 1 % não promovem efeitos negativos sobre a saúde dos peixes.

Conforme Naveed et al. [47], para os peixes, a natureza do alimento, bem como o hábito alimentar, interfere diretamente na atividade enzimática digestiva e assimilação do alimento. Diante disso, o intestino é considerado como um efetivo indicador de desempenho e saúde animal, devido a sua função na defesa imunológica, digestão e absorção dos nutrientes. No presente estudo não foram observadas diferenças significativas para a atividade das enzimas digestivas dos peixes alimentados com os níveis crescentes de peptídeos bioativos, o mesmo ocorreu com a inclusão de 20 % de hidrolisado de *Tenebrio molitor* em dietas para truta marisca

(*Salmo trutta m. trutta*), onde não foram observadas diferenças na atividade da enzima tripsina [48]. Em estudo testando 25 % e 50 % de hidrolisado de músculo de peixe, manto da lula e farinha de soja em dietas para larvas de Parco-Gigante (*Lates calcarifer*) foram observadas diferenças significativas na atividade da quimotripsina entre os níveis crescentes de hidrolisado de manto de lula obtidos com enzima alcalase, porém a atividade de tripsina não sofreu alterações no mesmo tratamento comparado ao grupo controle [49].

Em nosso estudo, sugere-se que os dados obtidos são positivos, pois demonstram que a atividade enzimática digestiva não foi influenciada negativamente, e que o processo de digestão e assimilação dos nutrientes seguiu comportamento semelhante ao grupo que recebeu uma dieta controle para o jundiá. Em dietas que contenham insetos ou derivados, pode ocorrer a redução na atividade enzimática digestiva devido a presença da quitina dos insetos [46]. Como não foi observada esta redução na presente pesquisa, infere-se que o processo empregado para a obtenção dos peptídeos foi efetivo em reduzir/eliminar qualquer fator antinutricional advindo de insetos, assim como a quitina.

5. Conclusão

A inclusão de peptídeos bioativos, produzidos a partir de *T. molitor*, em níveis de até 1,0 % em dietas para juvenis de jundiá tiveram boa aceitação pelos peixes e nenhum resultado negativo no desempenho, índices somáticos, atividade de enzimas digestivas e bioquímica plasmática foram observados. Estes dados servem como ponto de referência para futuras pesquisas que devem ser realizadas a fim de elucidar os níveis ideais de inclusão dos peptídeos em dietas para jundiá.

Declaração de conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Declaração de disponibilidade de dados

Os dados serão fornecidos mediante solicitação ao autor correspondente.

Contribuições do autor

Conceituação: Ferrigolo, F. R. G.; Pretto, A.; Análise formal: Ferrigolo, F. R. G.; Pretto, A.; Rodrigues, A. T.; Aquisição de financiamento: Ferrigolo, F. R. G.; Pretto, A.; Metodologia: Penchel, E. M.; Serra, S. D. S.; Martins, G. B.; Rodrigues, A. T.; Ferrigolo, F. R. G.; Pretto, A.; Supervisão: Ferrigolo, F. R. G.; Redação (esboço original): Penchel, E. M.; Rodrigues, A. T.; Martins, G. B.; Pretto, A.; Redação (revisão e edição): Ferrigolo, F. R. G.; Pretto, A.; Martins, G. B.; Rodrigues, A. T.; Penchel, E. M.; Serra, S. D. S.

Declaração de uso de IA generativa

Os autores não utilizaram ferramentas ou tecnologias de Inteligência Artificial generativa na criação ou edição de qualquer parte deste manuscrito.

Referências

1. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2024. The State of World Fisheries and Aquaculture. Blue Transformation in Action. Disponível em: https://openknowledge.fao.org/items/06690fd0-d133-424c-9673-1849e414543d

2. Mori NC, Michelotti, BT, Magnotti CCF, Bressan CA, Bianchin LB, Sutili FJ, Almeida APG, Kreutz LC, Pavanato MA, Cerqueira VR, da Costa ST, Baldisserotto B, Heinzmann BM. Growth, Metabolic, Hepatic and Redox Parameters, DIgestive Enzymes and Innate Immunity in Mugil liza Fed a Citral-Supplemented Diet. Fishes 2024;9:240. Disponível em: https://doi.org/10.3390/fishes9060240

3. Da Silva EG, Finamor IA, Bressan CA, Schoenau W, Vencato MDS, Pavanato MA, Cargnelutti JF, Da Costa ST, Antoniazzi AQ, Baldisserotto B. Dietary Supplementation with R-(+)-Limonene Improves Growth, Metabolism, Stress, and Antioxidant Responses of Silver Catfish Uninfected and Infected with Aeromonas hydrophila. Animals 2023;13(21):3307. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ani13213307

4. Parma L, Busti S, Ciulli S, Volpe E, Errani F, Oterhals A, Romarheim OH, Aspevik T, Dondi F, Gatta PP, Bonaldo A. Growth, plasma biochemistry and immune-related gene expression of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fed bioactive peptides from farmed salmon by-products. Aquaculture 2023;563:738982. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738982

5. Stanivuk J, Berzi-Nagy L, Gyalog G, Ardó L, Vitál Z, Plavsa N, Krstovic S, Kazekas GL, Horváth Á, Ljubobratovic U. The rank of intensification factors strength in intensive pond production of common carp (*Cyprinus carpio* L.). Aquaculture 2024;583:740584. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.740584

6. Awad E, Awaad A. Role of medicinal plants on growth performance and immune status in fish. Fish Shellfish Imunol 2017;67:40-54. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.fsi.2017.05.034

7. Onomu AJ, Okuthe GE. The Role of Functional Feed Additives in Enhancing Aquaculture Sustainability. Fishes 2024;9:167. Disponível em: https://doi.org/10.3390/fishes9050167

8. Zuberi A, Kamran M, Younus N, Abdel-Tawwab M. Editorial: Functional feed aditives: current trends. Front Aquac 2024;3:1385508. Disponível em: https://doi.org/10.3389/faquc.2024.1385508

9. Shahidi, F.; Zhong, Y. Bioactive peptides. J AOAC Int 2008;91(4)914-931. Disponível em: https://doi.org/10.1093/jaoac/91.4.914

10. Akbarian M, Khani A, Eghbalpour S., Uversky VN. Bioactive peptides: sinthesis, sources, applications, and proposed mechanisms of action. Int J Mol Sci 2022;23:1445. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ijms23031445

11. Ramakrishnan VV, Hossain A, Dave D, Shahidi F. Salmon processing discards: a potential source of bioactive peptides – a review. Food Prod Process Nu 2024;6:22. Disponível em: https://doi.org/10.1186/s43014-023-00197-2

12. Teixeira CSS, Villa C, Costa J, Ferreira IMPLVO, Mafra I. Edible insects as a novel source of bioactive peptides: a systematic review. Foods 2023;12(10):2026. Disponível em: https://doi.org/10.3390/foods12102026

13. Matos FM, Castro RJS. Edible insects as potential sources of proteins for obtaining bioactive peptides. Braz J Food Technol 2021;24:e2020044. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1981-6723.04420

14. Jakubczyk A, Karaś M, Rybczyńska-Tkaczyk K, Zielińska E, Zieliński D. Current Trends of Bioactive Peptides—New Sources and Therapeutic Effect. Foods 2020;9(7):846. Disponível em: https://doi.org/10.3390/foods9070846

15. Valenti WC, Barros HP, Moraes-Valenti P., Bueno GW, Cavalli RO. Aquaculture in Brazil: past, presente and future. Aquacult Rep 2021;19:100611. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100611

16. Baldisserotto B, da Silva LVF. Qualidade da água. In: Baldisserotto B & Radünz Neto J. (Eds), Criação de jundiá. Santa Maria: Editora UFSM; 2004. p.73-94.

17. Kubota EH, Emanuelli T. Processamento do pescado. In: Balidsserotto B & Radünz Neto J (Eds), Criação de jundiá. Santa Maria: Editora UFSM; 2004. p.201-228.

18. Lazzari R, Radünz Neto J, Corrêia V, Veiverberg CA, Bergamin GT, Emanuelli T, Ribeiro CP. Densidade de estocagem no crescimento, composição e perfil lipídico corporal do jundiá. Cienc Rural 2011;41(4):712-718.

19. Miron DS, Becker AG, Loro VL, Baldisserotto B. Waterbone ammonia and silver catfish, *Rhamdia quelen*: survival and growth. Cienc Rural 2011;41(2):349-353.

20. Uczay J, Saccol EMH, Pês TS, Durigon EG, Peixoto NC, Pavanato MA, Baldisserotto B, Emanuelli T, Lazzari R. Tocopherol in silver catfish diets reduces oxidative stress and improve the unsaturated fatty acid profile. Aquac Res 2021;52:2818-2827. Disponível em: https://doi.org/10.1111/are.15133

21. Hoseini SM, Yousefi M. Beneficial effects of thyme (*Thymus vulgaris*) extract on oxytetracycline-induced stress response, immunosuppression, oxidative stress and enzymatic changes in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquac Nutr 2019;25:298–309. Disponível em: https://doi.org/10.1111/anu.12853

22. Ghafarifarsani G, Hoseinifar SH, Adorian TJ, Ferrigolo FRG, Raissy M, Van Doan H. The effects of combined inclusion of *Malvae sylvestris, Origanum vulgare,* and *Allium hirtifolium* boiss for common carp (*Cyprinus carpio*) diet: Growth performance, antioxidant defense, and immunological parameters. Fish Shellfish Immunol 2021;119:670-677. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.10.014

23. Villanova JCV, Pretto A, Pechel EM, Serra SDS, Lanes CFC, Ribeiro VB, Speroni CS, Bender ABB, Ferrigolo FRG. Bioactive peptides from *Tenebrio molitor*: physicochemical and antioxidant properties and antimicrobial capacity. An Acad Bras Cienc 2024;96(1):e20231375. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39319835/

24. Corrêia V, Pretto A, Pianesso D, Pedron FA, Lazzari R, Bergamin GT, Martinelli SG, Rossato S, Ferrigolo FRG, Silva LP, Radünz Neto J. Synchronic use of protein and carbohydrate sources for improved growth performance in jundiá. Aquac Res 2021;52:5777-5786. Disponível em: https://doi.org/10.1111/are.15453

25. Goulart FR, Adorian TJ, Lovatto NM, Loureiro BB, Pianesso D, Barcellos LG, Koakoski G, Silva LP. Effect of supplementation of dietary fibre concentrates on biochemical parameters, stress response, immune response and skin mucus of jundiá (*Rhamdia quelen*). Aquac Nutr 2018;24:375-382. Disponível em: https://doi.org/10.1111/anu.12568

26. Meyer G, Fracalossi DM. Protein requirement of jundia fingerlings, *Rhamdia quelen*, at two dietary energy concentrations. Aquaculture 2004;240:331-343. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.01.034

27. Jobling M. A short review and critique of methodology used in fish growth and nutrition studies. J Fish Biol 1983;23(6):685-703. Disponível em: https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1983.tb02946.x

28. Cunha MAD, Zeppenfeld CC, Garcia LDO, Loro VL, Fonseca MBD, Emanuelli T, Veeck APL, Copatti CE, Baldisserotto B. Anesthesia of silver catfish with eugenol: time of induction, cortisol response and sensory analysis of fillet. Cienc Rural 2010;40:2107-2114. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0103-84782010005000154

29. AVMA. 2013. Association American Veterinary Medical. Guidelines on Euthanasia. AVMA: Schaumburg, IL, USA.

30. AOAC. 1995. Official methods of analysis of the AOAC International (16th ed.). Association of Official Analytical Chemists Supplement.

31. Bligh EG, Dyer WJ. A rapid method of total lipid extraction and purification. Can J Biochem Physiol 1959;37:911–917. Disponível em: https://doi.org/10.1139/o59-099

32. Hummel BCW. A modified spectrophotometric determination of chymotrypsin, trypsin and thrombin. Can J Biochem Physiol 1959;37:1393–1399. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14405350/

33. Bradford MM. A sensitive method for the total protein determination using the principle of protein-dye binding. Anal Biochem 1976:72:249-251. Disponível em: https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3

34. Ko JY, Kim EA, Lee JH, Kang MC, Lee JS, Kim JS, Jung WK, Jeon YJ. Protective effect of aquacultured flounder fish-derived peptide against oxidative stress in zebrafish. Fish Shellfish Immunol 2014;36(1):320-323. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.fsi.2013.11.018

35. Yuan XY, Liu WB, Liang C, Sun CX, Xue YF, Wan ZD, Jiang GZ. Effects of partial replacement of fish meal by yeast hydrolysate on complement system and stress resistance in juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian), Fish Shellfish Immunol 2017;67:312-321. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.06.028

36. Gui D, Liu W, Shao X, Xu W. Effects of different dietary levels of cottonseed meal protein hydrolysate on growth, digestibility, body composition and serum biochemical indices in crucian carp (*Carassius auratus gibelio*). Anim Feed Sci Technol 2010:156(3-4):112-120. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.01.012

37. Yuan XY, Liu WB, Wang CC, Huang YY, Dai YJ, Cheng HH, Jiang GZ. Evaluation of antioxidant capacity and immunomodulatory effects of cottonseed meal protein hydrolysate and its derivative peptides for hepatocytes of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*). Fish Shellfish Immunol 2020;98:10-18. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.01.008

38. Sarker A. A review on the application of bioactive peptides as preservatives and functional ingredients in food model systems. J Food Process Preserv 2022;46:e16800. Disponível em: https://doi.org/10.1111/jfpp.16800

39. Gonçalves, A. A. Tecnologia do pescado: ciência, tecnologia, inovação e legislação. São Paulo: Editora Atheneu; 2011. 624p.

40. Park YW. Moisture and Ash Contents of Foods. In: Nollet LML (Ed), Handbook of Food Analysis. Texas, EUA: Marcel Dekker; 1996. p.59-92.

41. Andriamialinirina HJT, Irm M, Taj S, Lou JH, Jin M, Zhou Q. The effects of dietary yeast hydrolysate on growth, hematology, antioxidant enzyme activities and nonspecific immunity of juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Fish Shellfish Immunol 2020;101:168-175. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.03.037;

42. Pham HD, Siddik MA, Le HM, Ngo MV, Nguyen MV, Francis D. Effects of dietary tuna viscera hydrolysate supplementation on growth, intestinal mucosal response, and resistance to *Streptococcus iniae* infection in pompano (*Trachinotus blochii*). Aquac Nutr 2022;2022: 3645868. Disponível em: https://doi.org/10.1155/2022/3645868

43. Mikołajczak Z, Rawski M, Mazurkiewicz J, Kierończyk B, Józefiak D. The effect of hydrolyzed insect meals in sea trout fingerling (Salmo trutta m. trutta) diets on growth performance, microbiota and biochemical blood parameters. Animals 2020;10(6):1031. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ani10061031

44. Li B, Su L, Sun Y, Huang H, Deng J, Cao Z. Evaluation of Cottonseed Meal as an Alternative to Fish Meal in Diet for Juvenile Asian Red-Tailed Catfish Hemibagrus wyckioides. Aquac Nutr 2023;2023:1741724. Disponível em: https://doi.org/10.1155/2023/1741724

45. Adorian TJ, Goulart FR, Mombach PI, Lovatto NM, Dalcin M, Molinari M, Lazzari R, Silva LP. Effect of different dietary fiber concentrates on the metabolism and indirect immune response in silver catfish. Anim Feed Sci Technol 2016;215:124-132. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.03.001

46. Uczay J, Battisti EK, Lazzari R, Pessatti ML, Schneider TLS, Hermes LB, Peixoto NC, Fabregat TEHP. Fish meal replaced by hydrolysed soybean meal in diets increases growth and improves the antioxidant defense system of silver catfish (*Rhamdia quelen*). Aquac Res 2019;50(5):1438-1447. Disponível em: https://doi.org/10.1111/are.14019

47. Naveed M, Mateen A, Majeed W, Naeem M, Khattab Y, Hedfi A, Ansir F, Ali MB. Efficacy of an Insect-Based Diet with Addition of Probiotics on Growth, Proximate Composition, Enzymatic Efficiency, and Immune Response of Nile Tilapia. Aquac Nutr 2023;2023:5557931. Disponível em: https://doi.org/10.1155/2023/5557931

48. Hoffmann L, Rawski M, Nogales-Merida S, Mazurkiewicz J. Dietary inclusion of *Tenebrio molitor* meal in sea trout larvae rearing: Effects on fish growth performance, survival, condition, and GIT and liver enzymatic activity. Ann Anim Sci 2020;20(2):579-598. Disponível em: https://doi.org/10.2478/aoas-2020-0002

49. Srichanun M, Tantikitti C, Kortner TM, Krogdahl Å, Chotikachinda R. Effects of different protein hydrolysate products and levels on growth, survival rate and digestive capacity in Asian seabass (*Lates calcarifer* Bloch) larvae. Aquaculture 2014;428:195-202. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.03.004