

Digestibilidade aparente da proteína, energia e aminoácidos de hidrolisados proteicos obtidos da indústria avícola para a tilápia do Nilo

Apparent digestibility of protein, energy and amino acids of protein hydrolysates obtained from the poultry industry for Nile tilapia

Digestibilidad aparente de proteínas, energía y aminoácidos de hidrolizados proteicos obtenidos de la industria avícola para tilapia del Nilo

Recebido: 06/05/2024 | Revisado: 12/05/2024 | Aceitado: 13/05/2024 | Publicado: 15/05/2024

Guilherme Henrique de Paula

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-4516-8751>

Instituto Federal do Paraná, Brasil

E-mail: depaulahguilherme@gmail.com

Paulo Rodrigo Stival Bittencourt

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8740-1672>

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

E-mail: paulob@utfpr.edu.br

Sidnei Klein

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1164-3434>

Instituto Federal do Paraná, Brasil

E-mail: sidnei.klein@ifpr.edu.br

Anderson Coldebella

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6615-7583>

Instituto Federal do Paraná, Brasil

E-mail: anderson.coldebella@ifpr.edu.br

Arcangelo Augusto Signor

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4686-3488>

Instituto Federal do Paraná, Brasil

E-mail: arcangelo.signor@ifpr.edu.br

Resumo

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a digestibilidade aparente da proteína, energia e aminoácidos de hidrolisados proteicos obtidos de subprodutos da indústria avícola. Foram utilizadas 125 tilápias, distribuídas em cinco tanques cilíndricos com fundo côncavo de 450 litros, adaptados para a coleta de fezes. Cinco dietas foram formuladas utilizando o óxido de cromo III como indicador, sendo uma referência e quatro com inclusão de diferentes hidrolisados de aves: hidrolisado de fígado (HF); hidrolisado de pena (HP); hidrolisado de vísceras (HV); hidrolisado de vísceras, sangue e penas (HVSP). Foram calculados os coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta, energia bruta, aminoácidos e nutrientes digestíveis. Os CDA da proteína demonstram que o HP apresenta o maior valor de CDA da proteína 92,17%, seguidos por HVPS (91,54%), HV (81,91%) e HF (81,51%). O CDA da energia foi similar variando de 87,01% a 87,03%. Com relação ao CDA dos aminoácidos essenciais observa-se para HP (96,98%), seguidos de HV (93,58%), HVSP (92,86%) e HF (86,21%). Dentre os hidrolisados avaliados, o hidrolisado de penas apresentou maiores valores de CDA de proteína, e com maiores valores de energia digestível, contudo todos os hidrolisados apresentam-se como excelentes fontes de nutrientes para os peixes, com boa digestibilidade da proteína, energia e aminoácidos.

Palavras-chave: Hidrolisado de fígado de aves; Hidrolisado de pena de aves; Hidrolisado de sangue de aves; Hidrolisado de vísceras, sangue e pena.

Abstract

The objective of the present research was to evaluate the apparent digestibility of protein, energy and amino acids of protein hydrolysates obtained from by-products of the poultry industry. 125 tilapia were used, distributed in five cylindrical tanks with a conical bottom measuring 450 liters, adapted for feces collection. Five diets were formulated using chromium III oxide as an indicator, one being a reference and four including different poultry hydrolysates: liver hydrolyzate (HF); feather hydrolyzate (HP); viscera hydrolyzate (HV); hydrolyzate of viscera, blood and feathers (HVSP). The apparent digestibility coefficients of crude protein, gross energy, amino acids and digestible nutrients were calculated. The protein CDA shows that HP has the highest protein CDA value of 92.17%, followed by HVPS (91.54%), HV (81.91%) and HF (81.51%). The energy CDA was similar, ranging from 87.01% to 87.03%. Regarding

the CDA of essential amino acids, it is observed for HP (96.98%), followed by HV (93.58%), HVSP (92.86%) and HF (86.21%). Among the hydrolysates evaluated, the feather hydrolyzate presented higher protein CDA values, and with higher digestible energy values, however, all hydrolysates are excellent sources of nutrients for fish, with good digestibility of protein, energy and amino acids.

Keywords: Poultry liver hydrolysate; Poultry feather hydrolysate; Poultry blood hydrolysate; Viscera, blood, and feather hydrolysate.

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la digestibilidad aparente de proteínas, energía y aminoácidos de hidrolizados de proteínas obtenidos a partir de subproductos de la industria avícola. Se utilizaron 125 tilapias, distribuidas en cinco tanques cilíndricos de fondo cónico de 450 litros, adaptados para la recolección de heces. Se formularon cinco dietas utilizando óxido de cromo III como indicador, siendo una de referencia y cuatro incluyendo diferentes hidrolizados de aves: hidrolizado de hígado (HF); hidrolizado de plumas (HP); hidrolizado de vísceras (HV); hidrolizado de vísceras, sangre y plumas (HVSP). Se calcularon los coeficientes de digestibilidad aparente de proteína cruda, energía bruta, aminoácidos y nutrientes digestibles. El CDA de proteína muestra que HP tiene el valor de CDA de proteína más alto de 92,17%, seguido de HVPS (91,54%), HV (81,91%) y HF (81,51%). El CDA de energía fue similar, oscilando entre 87,01% y 87,03%. En cuanto al CDA de aminoácidos esenciales, se observa para HP (96,98%), seguido de HV (93,58%), HVSP (92,86%) y HF (86,21%). Entre los hidrolizados evaluados, el hidrolizado de plumas presentó mayores valores de CDA proteico, y con mayores valores de energía digestible, sin embargo, todos los hidrolizados son excelentes fuentes de nutrientes para los peces, con buena digestibilidad de proteínas, energía y aminoácidos.

Palabras clave: Hidrolizado de hígado de aves; Hidrolizado de plumas de aves; Hidrolizado de sangre de aves; Hidrolizado de vísceras, sangre y plumas.

1. Introdução

A tilápia do Nilo é sem dúvida a espécie de maior interesse na piscicultura brasileira. O sucesso desta espécie no cultivo está relacionado a alta taxa de crescimento e rusticidade (Hayashi et al., 1999), se adaptando a diversos sistemas produtivos, aliada a ausência de espinhas em “y” proporcionando a obtenção de filé isento de espinhas (Hildsorf, 1995), com carne de ótima qualidade e consequente aceitação pelo mercado consumidor. No entanto, como salientado por Lim *et al.* (2015), é crucial reconhecer que um dos fatores para uma produção sustentável e bem sucedida de peixes, principalmente em cultivo intensivo, depende de uma nutrição adequada e boas práticas de alimentação, sem uma dieta equilibrada, os peixes podem enfrentar desafios no crescimento e na saúde, tornando-se mais vulneráveis a doenças e ao estresse ambiental. A nutrição adequada demanda o atendimento as exigências nutricionais de acordo com espécie, fase de crescimento e sistema de criação, no entanto os coeficientes de digestibilidade dos ingredientes das dietas são fundamentais para estabelecer a real absorção dos nutrientes contidos nas rações.

O coeficiente de digestibilidade aparente permite quantificar o aproveitamento dos alimentos, que é verificada pela habilidade com que os animais digerem e absorvem os nutrientes e energia contidas nos alimentos (Andrigueto *et al.*, 1981), demonstrando a capacidade de utilizar os nutrientes e reduzir os custos de produção, e consequentemente evitando a poluição da água, com menor quantidade de nitrogenados eliminados no processo metabólico (Novoa *et al.*, 2013), sendo um dos aspectos mais importantes na avaliação dos nutrientes presentes nos alimentos (Degani *et al.*, 1997). Dessa forma, o coeficiente de digestibilidade de um alimento é definido como a proporção de seus nutrientes absorvidos pelo organismo (Glencross *et al.*, 2007), viabilizando o uso de subprodutos em rações para peixes (Pezzato *et al.*, 2002), possibilitando a formulação de dietas mais refinadas e direcionadas, atendendo às exigências nutricionais particulares de cada espécie (Davies *et al.*, 2011). Assim sendo, conhecer os valores digestíveis da proteína e energia, bem como os aminoácidos dos alimentos para peixes demonstra a importância relacionada aos valores nutritivos. Entretanto, de acordo com Nunes *et al.* (2005) e Paula *et al.* (2024), a exploração de alimentos alternativos também se mostra relevante, especialmente no que diz respeito às questões ambientais e econômicas.

Fontes protéicas provenientes de resíduos ou produzidos a partir de organismos inteiros são muito utilizadas em rações para animais (Signor *et al.*, 2008). A farinha de vísceras de aves é um dos principais subprodutos obtidos da indústria avícola utilizados em rações, porém, é um alimento de composição variável, pois é dependente da variação da inclusão de penas, vísceras, cabeças, pés e carcaças descartadas (Nengas *et al.*, 1999). Os hidrolisados protéicos derivados de subprodutos animais, representam uma alternativa valiosa para a produção de rações balanceadas, como fonte de aminoácidos essenciais, peptídeos com potencial nutracêutico, mas sua utilização deve apresentar estratégias para otimizar o bem-estar animal, que reflete no aumento da produção em ganho de peso, tamanho e taxas de sobrevivência (Martínez-Alvarez *et al.*, 2015).

O processo de hidrólise melhora a qualidade biológica do alimento para os animais, pois promove a quebra de ligações peptídicas, resultando em produtos com aminoácidos livres e pequenos peptídeos com baixo teor de matéria mineral (Soares *et al.*, 2020), sendo considerado um atrativo alimentar (Alves *et al.* 2020; Oliveira *et al.* 2022). Segundo Debnath & Saikia, (2021) a proteína hidrolisada é absorvida no trato digestivo de peixes, como aminoácidos livres ou pequenos peptídeos. No metabolismo proporciona melhoria na digestibilidade de nutrientes, desempenho produtivo e sistema imune (Bui *et al.*, 2014; Dieterich *et al.*, 2014; Song *et al.*, 2014; Leduc *et al.*, 2018; Lorenz *et al.*, 2018).

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a digestibilidade aparente da proteína, energia e composição de aminoácidos de hidrolisados proteicos obtidos de resíduos da indústria avícola para alimentação da tilápia do Nilo.

2. Metodologia

O experimento foi realizado nos Laboratórios de Aquicultura, do Instituto Federal do Paraná (IFPR), Campus Foz do Iguaçu, seguindo o protocolo CEUA/IFPR - nº 1539080321.

Para o procedimento experimental da digestibilidade, foram formuladas cinco dietas utilizando o software SuperCrac 6.1, sendo uma dieta de referência (sem a inclusão de hidrolisado proteico de aves), e quatro dietas com hidrolisado proteico de fígado de aves (HF), hidrolisado de penas de aves (HP), hidrolisado de vísceras de aves (HV) e hidrolisado de vísceras, sangue e penas de aves (HVSP). Para composição das rações testes com os diferentes hidrolisados, foram utilizadas 80% da dieta referência e 20% do ingrediente teste.

As dietas foram preparadas na fábrica de ração do IFPR. Os macro ingredientes (Tabela 1) utilizados (farelo de soja, farelo de trigo, milho, farinha de peixe e arroz quirera), foram triturados individualmente em moinho tipo martelo (Vieira MCS 280) com peneira de 0,7 mm. Em seguida, os demais ingredientes foram adicionados e homogeneizadas manualmente com os demais ingredientes. Para garantir a homogeneidade do óxido de cromo III, as rações foram peneiradas por duas vezes sucessivas em malha de 1,2 mm. O processo de extrusão foi realizado em uma extrusora (EX Micro®) com matriz de 3 mm. Após o processamento, as dietas foram secas em estufa de circulação de ar por 12 horas a 55°C e, armazenadas em freezer (-10°C).

Tabela 1 - Composição percentual da dieta referência.

Ingredientes	Dieta referência (%)
Farelo de soja	21,22
Farelo de trigo	24,96
Milho	29,77
Farinha de peixe	17,83
Arroz quirera	5,00
Cloreto de colina	0,10
Antifúngico ¹	0,10

Cloreto de sódio	0,30
Premix (min+vit) ²	0,50
Vitamina C	0,10
Antioxidante	0,02
Óxido de cromo III	0,10
Hidrolisado	0,00
Total (%)	100

²Propionato de cálcio. ²Níveis de garantia por quilograma do produto: Vit. A (min) 2.222.222U.I.; Vit. D3 (min) 888.889U.I.; Vit. E (min) 33.333.333U.I.; Vit. K3 (min) 22,222g; Vit. B1 (min) 5.555,556mg; Vit. B2 (min) 5.555,556mg; Ácido pantotênico (min) 11,111g; Vit. B6 (min) 5.555,556mg; Vit. B12 (min) 6.667mcg; Ácido nicotínico (min) 22,222g; Ácido fólico (min) 1.333,333mg; Biotina (min) 222,22mg; Inositol (min) 88,888g; Ferro (min) 22,222g; Cobre (min) 4.000mg; Manganês (min) 6.666,67mg; Cobalto (min) 44,444mg; Zinco (min) 31,111g; Iodo (min) 177,778mg; Selênio (min) 177,778mg. Fonte: Farias (2019).

Amostras de foram armazenadas e enviadas para análises detalhadas de matéria seca, matéria mineral, proteína bruta, energia bruta e aminoácidos totais (Tabela 2).

Tabela 2 - Composição de proteína bruta, matéria seca, energia bruta, matéria mineral e aminoácidos essenciais e não essenciais das rações.

Parâmetros	Dieta referência	Hidrolisados			
		HF	HP	HV	HVSP
Matéria seca (%)	93,04	93,05	92,53	92,68	89,62
Matéria mineral (%)	9,72	8,74	9,68	10,40	10,07
Proteína bruta (%)	34,71	32,83	36,24	35,03	34,75
Energia bruta (kcal/kg)	4421,61	4397,71	4302,11	4254,31	4230,41
Aminoácidos essenciais					
Arginina	1,64	1,91	2,34	1,98	2,07
Lisina	1,33	1,80	1,33	1,68	1,59
Isoleucina	1,05	1,31	1,70	1,40	1,45
Histidina	0,51	0,70	0,51	0,65	0,60
Leucina	1,88	2,39	3,10	2,61	2,76
Valina	1,22	1,59	1,97	1,51	1,77
Metionina	0,39	0,55	0,46	0,56	0,51
Fenilalanina	1,17	1,41	1,55	1,28	1,36
Treonina	0,98	1,22	1,39	1,32	1,35
Triptofano	0,34	0,44	0,34	0,42	0,40
Aminoácidos não essenciais					
Ácido Aspártico	2,32	2,84	2,89	2,75	2,73
Ácido Glutâmico	4,18	4,50	5,13	4,85	4,88
Serina	1,21	1,51	2,60	1,49	1,83
Glicina	1,75	1,86	2,85	2,27	2,44
Taurina	0,05	0,11	0,05	0,13	0,11
Alanina	1,44	1,72	1,93	1,87	1,90
Prolina	1,72	1,76	3,36	2,28	2,58
Tirosina	0,78	0,97	1,06	0,96	0,98
Hidroxiprolina	0,38	0,27	0,28	0,46	0,41
Cistina	0,34	0,36	0,23	0,30	0,25

Dieta referência - sem inclusão do hidrolisado; HF - hidrolisado proteico de fígado de aves; HP - hidrolisado de penas de aves; HV - hidrolisado de vísceras de aves e HVSP - hidrolisado de vísceras, sangue e pena de aves.
Fonte: Autores.

Foram alojadas 125 tilápias com peso médio de $352,31 \pm 100,59$ g e comprimento médio de $25,72 \pm 2,24$ cm, distribuídas em cinco tanques cilíndricos de 450 litros de volume útil, com fundo cônico para a coleta de fezes, com registro na porção final, seguido por um copo coletor. Cada tanque recebeu um tratamento, consistindo em uma ração referência; hidrolisado de fígado de aves (HF); hidrolisado de penas de aves (HP); hidrolisado de vísceras de aves (HV); e hidrolisado de vísceras, sangue e pena de aves (HVSP).

A fase de adaptação às dietas avaliadas foi por um período de dez dias, seguido pelo período experimental de coleta de fezes por 20 dias, onde os peixes foram alimentados quatro vezes ao dia, nos horários de 08:00, 11:00, 14:00 e 17:30, com alimentação fornecida à *ad libitum*.

Durante o dia era utilizado um sistema de recirculação de água, com decantadores e filtro mecânico (dois decantadores de 200 litros cada, seguidos por um filtro mecânico de 200 litros, possuindo em seu interior tijolos e pedras britadas), em seguida, a água passava por um filtro biológico de 1000 litros (com camadas de pedras britadas, areia, argila expandida e mídias MBBR® (Moving Bed Biofilm Reactor)), após o processo de filtragem, a água era direcionada para uma caixa alimentadora de 1000 litros, equipada com motobomba hidráulica (modelo Eletroplas ECH-751®), esse sistema foi equipado com controle de temperatura da água através de serpentina de 8000 watts, acionada automaticamente por termostato, além de possuírem aeração constantes. Após 30 minutos após a última alimentação diária, era interrompido o sistema de recirculação de água. Realizando-se a troca de 60% da água do tanque, com reposição do volume com a água proveniente de poço artesiano, em seguida acoplado o copo coletor na parte inferior do tanque para que, por decantação as fezes ficassem armazenadas.

A coleta das fezes seguiu o método indireto descrito no NRC (2011), com os tanques adaptados com um registro de esfera acima do copo coletor, possibilitando a remoção do copo com as fezes. Diariamente, às 7:00h da manhã, antes da primeira alimentação do dia, procedeu-se a remoção do copo e as fezes armazenadas em frascos identificados, e as amostras congeladas (-15°C), seguido de acionamento do sistema de recirculação até a última alimentação do dia. As coletas foram realizadas por 20 dias, até completar o volume necessário para a realização de análises.

Os parâmetros de qualidade da água foram monitorados semanalmente em cada unidade experimental, com medições da temperatura da água (26,90°C), pH (7,05) e oxigênio dissolvido (4,05 mg/L).

Para a determinação da composição bromatológica, as amostras das fezes foram submetidas à desidratação por 72 horas a 55°C em estufa de ventilação forçada. Para análises de umidade, proteína, matéria mineral e energia das amostras foram realizadas de acordo com a AOAC (2005).

A análise de quantificação do óxido de cromo das amostras foi realizada de acordo com metodologia descrita por Bremer Neto *et al.* (2005) no Laboratório de Qualidade de Alimentos da Universidade Estadual do Oeste do Paraná/Toledo. A análise de energia foi realizada em bomba calorimétrica, foi realizada pelo Laboratório de Química da Universidade Federal Tecnológica do Paraná/Medianeira. A determinação dos aminoácidos (White *et al.*, 1986; Hagen *et al.*, 1989, Lucas &, Sotelo, 1980, Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal, 2023) foi realizada pela empresa C.B.O. Análises Laboratoriais LTDA.

Os coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta, energia bruta e aminoácidos foram determinados de acordo com o NRC (2011) conforme as equações 1 e 2:

Equação 1:

$$CDA_D = 1 - \frac{Cr_2O_3(D)}{Cr_2O_3(F)} \times \frac{N(F)}{N(R)}$$

Onde:

CDA_D: coeficiente de digestibilidade aparente da dieta;

Cr₂O_{3(D)}: crômio presente na dieta;

Cr₂O_{3(F)}: crômio presente nas fezes;

N_(F): nutriente presente nas fezes;

N_(R): nutriente presente na ração

Equação 2:

$$CDA_I = CDA_{DT} + \left((CDA_{DT} - CDA_{DR}) \times \left(\frac{a \times D_R}{b \times D_I} \right) \right)$$

Onde:

CDA_I: coeficiente de digestibilidade aparente do ingrediente teste;

CDA_{DT}: coeficiente de digestibilidade aparente da dieta;

CDA_{DR}: coeficiente de digestibilidade aparente da dieta referência;

a: porcentagem de dieta referência;

D_R: porcentagem de nutriente da ração referência;

b: porcentagem de ingrediente teste;

D_I: porcentagem de nutriente do ingrediente teste.

3. Resultados e Discussão

Dentre os hidrolisados avaliados, observa-se que o HP apresenta maior teor de proteína (77,61%), seguido por HPSV (77,00%), HV (68,60%) e HF (65,60%). Com relação a energia, o HF (5.329,83 kcal/kg) apresenta-se maior valor, seguido por HV (5.114,73 kcal/kg), HP (4.804,02 kcal/kg) e HPSV (4.780,12 kcal/kg). Esse valor superior de energia, está relacionado ao maior teor de lipídios para o HF, cujo valor 11,80%, é bem superior aos valores dos outros hidrolisados avaliados (Tabela 3).

Tabela 3 - Composição dos diferentes hidrolisados.

Parâmetros	Hidrolisados			
	HF	HP	HV	HVSP
Umidade (%)	7,86	5,84	5,69	5,34
Proteína bruta (%)	65,50	77,61	68,60	77,00
Lipídios (%)	11,80	4,47	3,73	7,25
Matéria mineral (%)	5,10	3,19	3,26	4,85
Fósforo (%)	1,17	0,77	0,11	1,26
Cálcio em base seca (%)	0,30	<0,15	<0,15	<0,15
Energia bruta (kcal/kg)	5.329,83	4.804,02	5.114,73	4.780,12

Aminoácidos essenciais (%)				
Arginina	4,01	4,85	3,88	4,70
Lisina	4,92	1,78	4,30	3,80
Isoleucina	3,02	3,55	2,61	3,27
Histidina	1,63	0,72	1,78	1,45
Leucina	5,48	6,01	4,39	5,80
Valina	3,68	5,45	3,07	4,73
Metionina	1,55	0,63	1,39	1,11
Fenilalanina	2,92	3,60	2,19	3,23
Treonina	2,89	2,48	2,57	2,81
Triptofano	0,88	0,33	0,60	0,43
Total (aminoácidos essenciais)	30,98	29,40	26,78	31,33
Aminoácidos não essenciais (%)				
Ácido aspártico	5,89	4,93	5,69	5,62
Ácido glutâmico	7,92	8,00	9,08	8,73
Serina	2,77	7,70	2,59	5,24
Glicina	3,15	6,74	4,79	5,81
Taurina	0,34	0,06	0,52	0,38
Alanina	3,80	3,55	3,94	4,14
Prolina	2,76	7,10	3,43	5,22
Tirosina	2,19	2,13	1,77	2,15
Hidroxiprolina	0,17	0,17	1,40	0,84
Total (aminoácidos não essenciais)	29,71	41,26	33,81	38,95
Total de aminoácidos	60,69	70,66	60,59	70,28

HF - Hidrolisados proteicos de fígado de aves; HP - hidrolisado de penas de aves; HV - hidrolisado de vísceras de aves e HVSP - hidrolisado de vísceras, sangue e pena de aves. Fonte: Autores.

Para os aminoácidos essenciais, destaca-se os maiores valores para o HSPV (31,33%), HF (30,98%), HP (29,40%) e HV (26,78%), contudo, observando os aminoácidos limitantes para peixes lisina e metionina, o HF apresenta 4,92% e 1,55%, respectivamente, seguido por HV (4,30%; 1,39%), HPSV (3,80%; 1,11%) e HP (1,78%; 0,63%) (Tabela 3). Estas variações estão relacionadas à origem da matéria prima. As diferenças apresentadas na composição dos hidrolisados estão relacionadas com a composição da matéria prima utilizada como substrato para a fabricação dos mesmos, cuja composição química e a qualidade nutricional não é alterada pela hidrólise durante o processamento (Dieterich *et al.*, 2014).

Segundo Pezzato et al. (2002), a farinha de vísceras, sangue e penas, apresentam 59,70%; 81,84% e 83,30%, respectivamente e para energia bruta 5.090 kcal/kg, 4.920 kcal/kg e 5.200 kcal/kg, respectivamente para os alimentos citados, divergindo em valores do atual trabalho. A composição nutricional dos alimentos provenientes de origem animal difere em valores pela influência de partes residuais que a compõem, além da forma de processamento para obtenção da mesma, sendo importante avaliar a composição biológica destes alimentos.

Os CDA da proteína demonstram que o HP apresenta o maior valor de CDA da proteína 92,17%, seguidos por HVPS (91,54%), HV (81,91%) e HF (81,51%) (Tabela 4). Para o CDA da energia foram similares em valores, variando de 87,01% a 87,03%. Com relação aos aminoácidos observa-se que o CDA dos aminoácidos essenciais para HP (96,98%), seguidos de HV (93,58%), HVSP (92,86%) e HF (86,21%) (Tabela 4), o mesmo perfil de resultados, foram observados para o CDA dos aminoácidos não essenciais valores de HP (98,11%), HV (95,62%), HVSP (95,05%) e HF (85,57%).

Tabela 4 - Coeficiente de digestibilidade aparente dos hidrolisados.

Parâmetros	Hidrolisados			
	HF	HP	HV	HVSP
CDA Proteína (%)	81,51	92,17	81,91	91,54
CDA Energia (%)	87,01	87,03	87,03	87,02
CDA aminoácidos essenciais				
Arginina	88,04	97,91	93,34	93,25
Lisina	88,22	96,26	94,04	92,98
Isoleucina	85,73	98,67	96,34	96,37
Histidina	86,29	94,72	90,01	88,04
Leucina	86,35	98,39	95,67	95,45
Valina	84,66	97,52	93,22	92,93
Metionina	91,54	95,89	92,98	91,43
Fenilalanina	85,28	97,36	93,24	92,56
Treonina	80,92	96,57	93,01	91,55
Triptofano	85,08	96,51	93,91	94,02
Valores médios	86,21	96,98	93,58	92,86
CDA aminoácidos não essenciais				
Ácido Aspártico	91,25	97,69	95,03	93,54
Ácido Glutâmico	91,47	98,06	96,06	95,41
Serina	85,96	98,09	93,94	93,50
Glicina	81,40	97,59	93,16	92,33
Taurina	95,29	98,04	98,48	97,80
Alanina	80,49	96,80	91,81	91,04
Prolina	86,23	98,49	96,55	95,83
Tirosina	86,66	97,13	93,60	92,61
Hidroxiprolina	65,58	99,65	98,25	99,42
Cistina	91,40	99,57	99,33	99,04
Valores médios	85,57	98,11	95,62	95,05

HF - Hidrolisados proteicos de fígado de aves; HP - hidrolisado de penas de aves; HV - hidrolisado de vísceras de aves e HVSP - hidrolisado de vísceras, sangue e pena de aves. Fonte: Autores.

Os valores digestíveis, levam em consideração os CDA e os valores dos nutrientes dos alimentos, ou seja, a variação é mais ampla entre os ingredientes testados. Neste sentido, observa-se que a maior proteína digestível foi observada para HP (71,53%), seguidos por HVSP (70,49%), HV (56,19%) e HF (53,34%) (Tabela 5).

Com relação a ED os maiores valores foram observados para HF (4.637,74 kcal/kg), seguida por HP (4.451,60 kcal/kg), HV (4.180,82 kcal/kg) e HVSP (4.159,90 kcal/kg) (Tabela 5). Observa-se que o CDA da energia foi muito similar entre os alimentos testados, porém, o HF apresenta maior teor de lipídios elevando o valor energético dos alimentos e consequentemente maior energia digestível.

Tabela 5 - Valores de nutrientes digestíveis dos hidrolisados.

Parâmetros	Hidrolisados			
	HF	HP	HV	HVSP
Proteína digestível (%)	53,34	71,53	56,19	70,49
Energia digestível (kcal/kg)	4.637,74	4.451,6	4.180,82	4.159,9
Aminoácidos essenciais				
Arginina	3,53	4,75	3,62	4,38
Lisina	4,34	1,71	4,04	3,53
Isoleucina	2,59	3,50	2,51	3,15
Histidina	1,41	0,68	1,60	1,28
Leucina	4,73	5,91	4,20	5,54
Valina	3,12	5,31	2,86	4,40
Metionina	1,42	0,60	1,29	1,01
Fenilalanina	2,49	3,51	2,04	2,99
Treonina	2,34	2,39	2,39	2,57
Triptofano	0,75	0,32	0,56	0,40
Total (aminoácidos essenciais)	26,71	28,7	25,13	29,26
Aminoácidos não essenciais				
Ácido Aspártico	5,37	4,82	5,41	5,26
Ácido Glutâmico	7,24	7,84	8,72	8,33
Serina	2,38	7,55	2,43	4,90
Glicina	2,56	6,58	4,46	5,36
Taurina	0,32	0,06	0,51	0,37
Alanina	3,06	3,44	3,62	3,77
Prolina	2,38	6,99	3,31	5,00
Tirosina	1,90	2,07	1,66	1,99
Hidroxiprolina	0,11	0,17	1,38	0,84
Total (aminoácidos não essenciais)	25,99	40,39	32,09	36,63
Total de aminoácidos	52,7	69,09	57,23	65,89

HF - Hidrolisados proteicos de fígado de aves; HP - hidrolisado de penas de aves; HV - hidrolisado de vísceras de aves e HVSP - hidrolisado de vísceras, sangue e pena de aves. Fonte: Autores.

O HP apresentou o maior CDA da proteína, demonstrando ser um alimento com bom perfil recomendado em rações para peixes. Padrão similar foi observado para os aminoácidos, com CDA de aminoácidos essencial de 96,98% e de aminoácidos não essenciais de 98,11%, porém, apresenta baixos valores de histidina, lisina, metionina e triptofano. Segundo Grazziotin *et al.* (2006), a farinha de penas apresenta deficiência nestes aminoácidos (histidina, lisina, metionina e triptofano), devido às queratinas presente nas penas. Segundo Pezzato *et al.* (2002) a farinha de penas apresenta CDA da proteína de 50,69% e 3093 kcal de energia digestível. Portanto, o processamento para obtenção do hidrolisado influencia na disponibilidade dos nutrientes.

O HV apresentou bons resultados de CDA da proteína (81,91%) e energia (87,03) (Tabela 4), resultando em valores de 59,19% de proteína digestível e 4180,82 kcal/kg de energia digestível, sendo considerada um alimento indicado do ponto de vista nutricional para ser utilizados em rações para peixes. Pezzato *et al.* (2002), observaram CDA de 87,24% e 95,10% para proteína e energia. Meurer *et al.* (2003) ressaltam CDA da proteína e energia de 82,03 e 72,03, resultando em 47,65% de proteína digestível e 3651 kcal de energia digestível.

O HSPV apresenta CDA da proteína e energia de 91,54% e 87,02%, respectivamente. Sampaio *et al.* (2001) relata CDA da proteína de 97,33% para a farinha de sangue obtida por *spray-drying* e 50,69% para farinha de sangue tostada, e para CDA da energia de 74,97% e 57,97% respectivamente para energia. Estes autores destacam que a farinha de sangue tostada, não deve ser empregada como fonte proteica de origem animal em rações para a tilápia, por apresentar baixo coeficiente de digestibilidade aparente de proteína bruta.

Com relação aos aminoácidos essenciais, os maiores valores foram observados para o HVSP (29,26%), HP (28,70%), HF (26,71%) e HV (25,13%). Os hidrolisados apresentaram bom balanço entre os aminoácidos. Estes valores são semelhantes aos relatados por Guimarães *et al.* (2008a) para farinha de pensa, avaliando o CDA para a tilápia do Nilo, os quais observaram valores levemente superiores para arginina (4,88%), lisina (2,53%), fenilalanina (2,99%), treonina (2,88%) e triptofano (0,34%), porém, apresentaram valores inferiores para isoleucina (3,19%), histidina (0,38%), leucina (5,29%), valina (4,15%) e metionina (0,45%). Estas diferenças, podem estar relacionadas a forma de processamento de ambos os produtos. Para a farinha de vísceras de aves, Guimarães *et al.* (2008b) avaliando o CDA para a tilápia do Nilo, relatam valores de arginina (4,16%), lisina (4,80%) isoleucina (2,39%), histidina (1,21%), leucina (4,04%), valina (2,67%), metionina (1,30%), fenilalanina (2,39%), treonina (2,12%) e triptofano (0,48%), corroborando com o presente trabalho.

Para peixes os aminoácidos essenciais, para peixes os mais limitantes nas rações são a lisina e a metionina. A lisina está presente em elevada proporção no tecido muscular da tilápia-do-Nilo (Teixeira *et al.*, 2008). A exigência média em lisina da tilápia é de aproximadamente 5,8% da proteína da ração e sua suplementação garante melhorias no ganho de peso, conversão alimentar, melhora a retenção de nitrogênio e redução no conteúdo de lipídios na carcaça (Furuya *et al.*, 2004; Furuya *et al.*, 2006; Gonçalves *et al.*, 2009; Takishita *et al.*, 2009; Bomfim *et al.*, 2010), e a exigência de metionina é de aproximadamente 60% da lisina (Furuya *et al.*, 2001; Bomfim *et al.*, 2008; Quadros *et al.*, 2009). Portanto o perfil destes aminoácidos nos hidrolisados avaliados, destaca-se o HF e HV com maiores valores digestibilidade para a lisina e metionina, embora apresentem menores teores de proteína digestível.

4. Conclusão

O hidrolisado de pena apresentou maiores valores de CDA para a proteína. Já para a energia o CDA foi semelhante para todos os hidrolisados, com destaque para o hidrolisado de fígado com maiores valores de energia digestível. Contudo,

todos os hidrolisados avaliados são excelentes fontes de nutrientes para os peixes, com boa digestibilidade da proteína, energia e aminoácidos.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa. A Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná pela concessão de bolsa e recursos para o desenvolvimento do projeto. A Falbom Agroindustrial Ltda pela concessão dos hidrolisados.

Referências

- Alves, D. R. S., Oliveira, S. R., Luczinski, T. G., Boscollo, W. R., Bittencourt, F., Signor, A., & Detsch, D. T. (2020). Attractability and palatability of liquid protein hydrolysates for Nile tilapia juveniles. *Aquaculture Research*, 51(4), 1681-1688. <https://doi.org/10.1111/are.14514>
- Andrigueto, J. M., Perly, L., Minardi, I., Souza, G. A., & Bona Filho, A. (1981) Nutrição animal: as bases e os fundamentos da nutrição animal: os alimentos. *Nobel*, 1(4), 395. ISBN: 85-213-0170-7
- Bomfim, M. A. D., Lanna, E. A. T., Donzele, J. L., Ferreira, A. S., Ribeiro, F. B., & Takishita, S. S. (2008). Exigência de metionina mais cistina, com base no conceito de proteína ideal, em rações para alevinos de tilápia-do-nylo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(5), 783-790. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008000500001>
- Bomfim, M. A. D., Lanna, E. A. T., Donzele, J. L., Quadros, M., Ribeiro, F. B., & Souza, M. P. (2010). Níveis de lisina, com base no conceito de proteína ideal, em rações para alevinos de tilápia-do-nylo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, 1-8.
- Bremer Neto, H., Graner, C. A. F., Pezzato, L. E., & Padovani, C. R. (2005). Determinação de rotina do crômio em fezes, como marcador biológico, pelo método espectrofotométrico ajustado da 1,5-difenilcarbazida. *Ciência rural*, 35(3), 691-697.
- Bui, H. T. D., Khosravi, S., Fournier, V., Herault, M., & Lee, K.-J. (2014). Growth performance, feed utilization, innate immunity, digestibility and disease resistance of juvenile red seabream (*Pagrus major*) fed diets supplemented with protein hydrolysates. *Aquaculture*, 418-419, 11-16. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.09.046>
- Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal. (2023). Métodos Analíticos, São Paulo. Siderações. Método nº 2021.045. 56-62.
- Davies, S. J., Abdel-Warith, A. A., & Gouveia, A. (2011). Digestibility Characteristics of Selected Feed Ingredients for Developing Bespoke Diets for Nile Tilapia Culture in Europe and North America. *Journal of the World Aquaculture Society*, 42(3), 388-398. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2011.00478.x>
- Debnath, S., & Saikia, S. K. (2021). Absorption of protein in teleosts: a review. *Fish Physiology and Biochemistry*, 47, 313-326. <https://doi.org/10.1007/s10695-020-00913-6>
- Degani, G., Viola, S., & Yehuda, Y. (1997). Apparent digestibility of protein and carbohydrate in feed ingredients for adult tilapia (*Oreochromis aureus* x *O. niloticus*). *Israeli Journal of Aquaculture*, 49, 115-123.
- Dieterich, F., Boscolo, W. R., Bertoldo, M. T. P., Silva, V. S. N., Goncalves, G. S.; & Vidotti, R. M. (2014). Development and characterization of protein hydrolysates originated from animal agro industrial byproducts. *Journal of Dairy, Veterinary & Animal Research*, 1(2), 56-61. <https://doi.org/10.15406/jdvar.2014.01.00012>
- Farias, A.C.A. (2019) Digestibilidade aparente do hidrolisado proteico de resíduos de filetagem de tilápia e sua inclusão em rações para pós-larvas de tilápia do Nilo. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 19f.
- Furuya, W. M., Botaro, D., Neves, P. R., Silva, L. C. R., & Hayashi, C. (2004). Exigência de lisina pela Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), na fase de terminação. *Ciência Rural*, 34(5), 1571-1577. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782004000500038>
- Furuya, W. M., Hayashi, C., Furuya, V. R. B., Botaro, D., Silva, L. C. R., & Neves, P. R. (2001). Exigências de metionina + cistina total e digestível para alevinos revertidos de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (L.), baseadas no conceito de proteína ideal. *Acta Scientiarum*, 23, 885-889. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v23i0.2641>
- Furuya, W. M., Santos, V. G., Silva, L. C. R., Furuya, V. R. B., & Sakaguti, E. S. (2006). Exigência de lisina digestível para juvenis de tilápia-do-nylo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35(3), 937-942. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000400001>
- Glencross, B. D., Booth, M., & Allan, G. L. (2007). A feed is only as good as its ingredients – a review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. *Aquaculture Nutrition*, 13, 17–34. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00450.x>
- Gonçalves, G. S., Pezzato, L. E., Barros, M. M., Tachibana, L., Rosa, M. J. S., & Guimarães, I. (2009). Relação lisina digestível:proteína digestível em rações para tilápias-do-nylo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(12), 2299-2305. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001200002>
- Grazziotin, A., Pimentel, F. A., Jong, E. V., & Brandelli, A. (2006). Nutritional improvement of feather protein by treatment with microbial keratinases. *Animal Feed Science and Technology*, 126(1-2), 135-144. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.06.002>
- Guimarães, I. G., Pezzato, L. E., & Barros, M. M. (2008b). Amino acid availability and protein digestibility of several protein sources for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Nutrition*, 14(5), 396-404. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00540.x>

- Guimarães, I. G., Pezzato, L. E., Barros, M. M., & Tachibana, L. (2008a). Nutrient digestibility of cereal grain products and by-products in extruded diets for Nile tilapia. *Journal of the World Aquaculture Society*, 39(6), 781-789. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2008.00214.x>
- Hagen S. R., Frost B., & Augustin J. (1989). Precolumn Phenylisothiocyanate Derivatization And Liquid -Chromatography of Amino-Acids in Food. *Journal of The Association of Official Analytical Chemists*, 72(6), 912-916 Nov-Dec 1989.
- Hayashi, C., Boscolo, W. R., Soares, C. M., & Boscolo, W. R (1999). Uso de diferentes graus de moagem dos ingredientes em dietas para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.) na fase de crescimento. *Acta Science*, 21(3), 733-737.
- Hildsorf, A.W.S. (1995). Genética e cultivo de tilápias vermelhas, uma revisão. *Boletim Instituto de Pesca*, 22(1), 73-78.
- Leduc, A., Zatylny-Gaudin, C., Robert, M., Corre, E., Le Corguille, G., Castel, H., Lefevre-Scelles, A., Fournier, V., Gisbert, E., Andree, K. B., & Henry, J. (2018). Dietary aquaculture by-product hydrolysates: impact on the transcriptomic response of the intestinal mucosa of European seabass (*Dicentrarchus labrax*) fed low fish meal diets. *BMC Genomics*, 19(1), 396. <https://doi.org/10.1186/s12864-018-4780-0>
- Lim, C., Webster, C. D., & Lee, C.-S. (2015). Feeding Practices and Fish Health. In Dietary Nutrients, Additives, and Fish Health. (eds C.-S. Lee, C. Lim, D.M. Gatlin and C.D. Webster). 1, 333-346. <https://doi.org/10.1002/9781119005568.ch17>
- Lorenz, E. K., Barone, R. S. C., Yamamoto, F. Y., & Cyrino, J. E. P. (2018). Dietary Protein Hydrolysates from Animal By-Products: Digestibility and Enzymatic Activity for Dourado *Salminus brasiliensis*. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 27(2), 236-246. <https://doi.org/10.1080/10498850.2018.1424745>
- Lucas B., & Sotelo A. (1980). Effect of different alkalies, temperature, and hydrolysis times on tryptophan determination of pure proteins and of foods. *Analytical biochemistry*. 109, 192-197.
- Martínez-Alvarez, O., Chamorro, S., & Brenes, A. (2015). Protein hydrolysates from animal processing by-products as a source of bioactive molecules with interest in animal feeding: A review. *Food Research International*, 73, 204-212. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.04.005>
- Meurer, F., Hayashi, C., & Boscolo, W. R. (2003). Digestibilidade aparente de alguns alimentos protéicos pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 32(6), 1801-1809. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000800001>
- Nengas, I., Alexis, M. N., & Davies, S. J. (1999). High inclusion levels of poultry meals and related byproducts in diets for gilthead seabream *Sparus aurata* L.. *Aquaculture*, 179(1-4), 13-23. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00148-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00148-9)
- Novoa, D. M. T., Vidal Júnior, M. V., Andrade, D. R., & Nery, V. L. H. (2013). Digestibilidade aparente da energia bruta e da proteína de alimentos para Tilápia Vermelha (*Oreochromis* sp). Disponível em: <http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692013000200004&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0798-7269
- Nunes, R. V., Pozza, P. C., Nunes, C. G. V., Campestrini, E., Kuhl, R., Rocha, L. D., & Costa, F. G. P. (2005). Valores energéticos de subprodutos de origem animal para aves. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34(4), 1217-1224. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982005000400017>
- Nutrient Requirement of Fish and Shrimp - NRC (2011). Washington: DC. National Academies Press.
- Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL (2005) 18th Ed., *Association of Official Analytical Chemists*, ISBN 0-935584-77-3
- Oliveira, S. R., Boscolo, W. R., Alves, D. R. S., Assis, J. F., Signor, A., & Bittencourt, F. (2022). Attractivity and palatability of different hydrolysed proteins for the ornamental species *Betta splendens* (Regan, 1910). *Aquaculture Research*, 53(8), 2977-2984. <https://doi.org/10.1111/are.15798>
- Paula, G. H., Fogça, M. A., Moura, W. A., Oliveira, R. G., Quadros, L. E., Klein, S., & Signor, A. A. (2024) Juvenis de Tilápia do Nilo alimentados com níveis distintos de hidrolisado proteico de fígado de aves. *Research, Society and Development*, 13(4), e10313445544. <https://doi.org/10.33448/rsd-v13i4.45544>
- Pezzato, L. E., Miranda, E. D., Barros, M. M., Pinto, L. G. Q., Furuya, W. M., & Pezzato, A. C. (2002). Digestibilidade Aparente de Ingredientes pela Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 31(4), 1595-1604. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982002000700001>
- Quadros, M., Lanna, E. A. T., Donzele, J. L., Abreu, M. L. T., Ribeiro, F. B., & Takishita, S. S. (2009). Crude protein reduction and digestible methionine+cystine and threonine to digestible lysine ratios in diets for Nile tilapia fingerlings. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(8), 1400-1406. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000800002>
- Sampaio, F. G., Hisano, H., Yamaki, R. A., Kleemann, G. K., Pezzato, L. E., & Barros, M. M. (2001). Digestibilidade aparente das farinhas de peixe nacional e importada e das farinhas de sangue tostada e *spray-dried*, pela tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (L.). *Acta Scientiarum*, 23(4), 891-896. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v23i0.2642>
- Signor, A. A., Boscolo, W. R., Bittencourt, F., Feiden, A., & Reidel, A. (2008). Farinha de vísceras de aves na alimentação de alevinos de lambari. *Ciência Rural*, 38(8), 2339-2344. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000800038>
- Soares, M., Rezende, P. C., Corrêa, N. M., Rocha, J. S., Martins, M. A., Andrade, T. C., Fracalossi, D. M., & Vieira, F. N. (2020) Protein hydrolysates from poultry by-product and swine liver as an alternative dietary protein source for the Pacific white shrimp. *Aquaculture Reports*, 17, art.100344. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100344>
- Song, Z., Li, H., Wang, J., Li, P., Sun, Y., & Zhang, L. (2014). Effects of fishmeal replacement with soy protein hydrolysates on growth performance, blood biochemistry, gastrointestinal digestion and muscle composition of juvenile starry flounder (*Platichthys stellatus*). *Aquaculture*, 426-427, 96-104. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.01.002>
- Takishita, S. S., Lanna, E. A. T., Donzele, J. L., Bomfim, M. A. D., Quadros, M., & Souza, M. P. (2009). Níveis de lisina digestível em rações para alevinos de tilápia-do-nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(11), 2099-2105. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001100004>

Teixeira, E. A., Crepaldi, D. V., Faria, P. M. C., Ribeiro, L. P., Melo, D. C., & Euler, A. C. C. (2008). Composição corporal e exigências nutricionais de aminoácidos para alevinos de tilápia (*Oreochromis sp.*). *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 9, 239-246.

White J. A., Hart R. J., & Fry J. C. (1986). An Evaluation of The Waters Pico-Tag System For The Amino-Acid-Analysis of Food Materials. *Journal of Automatic Chemistry*, 8(4), 170-177.