

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento

Palmas, TO / Junho, 2024

OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Digestibilidade aparente de ingredientes proteicos para juvenis de tambaqui

Ana Paula Oeda Rodrigues⁽¹⁾, Luiz Eduardo Lima de Freitas⁽²⁾, Carlos Wanderlei Piler de Carvalho⁽³⁾ e Jose Luis Ramirez Ascheri⁽⁴⁾

⁽¹⁾Engenheira-agrônoma, mestre em Aquicultura, pesquisadora da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO. ⁽²⁾Engenheiro de pesca, doutor em Aquicultura, pesquisador da Embrapa Cerrados, Brasília, DF.

⁽³⁾Agrônomo, doutor em Ciência dos Alimentos, pesquisador da Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro, RJ. ⁽⁴⁾Engenheiro de alimentos, doutor em Tecnologia de Alimentos, pesquisador da Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro, RJ.

Resumo – O tambaqui é um peixe de grande importância para a aquicultura da América Latina. Este trabalho determinou os coeficientes de digestibilidade aparente (CDAs) da proteína, da energia e dos aminoácidos de oito ingredientes proteicos para juvenis de tambaqui (69 g). As dietas experimentais extrusadas eram compostas por 69,9% da dieta referência, 0,1% de óxido de ítrio e 30% dos seguintes ingredientes-teste: farinha de resíduo de tilápia; farinha de vísceras de frango; farinha de penas hidrolisadas; farinha de sangue; farelo de soja; concentrado proteico de soja; glúten de milho; farelo de glúten de milho. Todos os ingredientes testados apresentaram CDAs de proteína e aminoácidos essenciais acima de 90%, exceto a farinha de penas hidrolisadas. Os CDAs de energia apresentaram grande variação (56%-95%) entre os ingredientes. Lisina, metionina e triptofano foram os aminoácidos mais limitantes nos ingredientes testados. Farelo de soja, concentrado proteico de soja, glúten de milho, farinha de resíduo de tilápia e farinha de vísceras de aves apresentaram altos CDAs da proteína, da energia e dos aminoácidos para o tambaqui, demonstrando alto potencial de utilização em dietas para a espécie. A farinha de sangue e o farelo de glúten de milho tiveram digestibilidade proteica intermediária e baixa digestibilidade da energia, enquanto a farinha de penas hidrolisadas apresentou a menor digestibilidade proteica e aminoacídica dentre os ingredientes. Em conclusão, a inclusão desses ingredientes em dietas para o tambaqui deve considerar os respectivos desbalanceamentos em alguns aminoácidos essenciais, além do excesso de fibras, no caso do farelo de glúten de milho.

Termos para indexação: *Colossoma macropomum*, coprodutos animais, proteínas vegetais, qualidade da proteína, aminoácidos digestíveis.

Apparent digestibility of protein ingredients by juvenile tambaqui

Abstract – Tambaqui is an extremely important fish species for aquaculture in Latin America. This work determined the apparent digestibility coefficients (ADCs) of protein, energy and amino acids of eight protein ingredients for juvenile tambaqui (69 g). The extruded experimental diets comprised 69.9%

Embrapa Pesca e Aquicultura
Avenida NS 10,
Loteamento Água Fria,
Caixa Postal nº 90,
Palmas, TO
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

Roberto Manolio Valladão Flores

Secretário-executivo

Diego Neves de Sousa

Membros

Alexandre Uhlmann, Clenio Araújo,
Fabrício Pereira Rezende, Hellen
Christina de Almeida Kato, Jefferson
Cristiano Christofeletti, Luciana
Cristine Vasques Villela, Luiz
Eduardo Lima de Freitas

Edição executiva
Fabrício Pereira Rezende

Revisão de texto
Clenio Araújo

Normalização bibliográfica
Andréa Liliane Pereira da Silva

Projeto gráfico
Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Júlio César da Silva Delfino

Publicação digital (2024): PDF

Todos os direitos reservados
à Embrapa.

of reference diet, 0.1% of yttrium oxide and 30% of the following test ingredients: tilapia by-product meal, poultry by-product meal, hydrolyzed feather meal, blood meal, soybean meal, soy protein concentrate, corn gluten meal and corn gluten feed. Feces were collected by sedimentation in cylindrical-conical tanks. All the tested ingredients exhibited ADCs of protein and essential amino acids above 90%, except hydrolyzed feather meal. The ADCs of energy widely varied (56-95%) among ingredients. Lysine, methionine and tryptophan were the most limiting amino acids in the tested ingredients. Soybean meal, soy protein concentrate, corn gluten meal, tilapia by-product meal and poultry by-product meal had high protein, energy and amino acid ADCs for tambaqui, which demonstrates the high potential of use in diets for the studied species. Blood meal and corn gluten feed presented intermediate protein ADCs and low energy digestibility, while hydrolyzed feather meal had the lowest protein and amino acid digestibility among ingredients. In conclusion, the utilization of these sources in tambaqui diets should consider their respective imbalance in some essential amino acids, and, for corn gluten meal, also the excess of fiber content.

Index terms: *Colossoma macropomum*, animal by-products, plant proteins, protein quality, digestible amino acids.

Introdução

O tambaqui, *Colossoma macropomum*, é um peixe natural das bacias dos rios Amazonas e Orinoco. Juntamente com o pacu (*Piaractus mesopotamicus*) e a pirapitinga (*P. brachypomum*), bem como alguns híbridos entre as espécies, compõe o grupo de peixes redondos de grande importância para a piscicultura no Brasil e em outros países da América Latina (Woynárovich; Van Anrooy, 2019). Nos últimos anos, sua produção vem aumentando também em países do continente asiático, como China, Indonésia, Malásia e Vietnã (Woynárovich; Van Anrooy, 2019). Possui grande rusticidade, tolerando a ação tóxica da amônia (Ismiño-Orbe, 1997) e baixos níveis de oxigênio dissolvido na água (Neves et al., 2020); características que, somadas à facilidade de obtenção de juvenis, ao rápido crescimento e à alta aceitação pelo mercado, justificam sua popularidade e aptidão aquícola (Gomes et al., 2020).

Apesar de sua importância comercial, a alimentação do tambaqui em cativeiro ainda é conduzida com rações generalistas, formuladas apenas por hábito alimentar e fase de desenvolvimento, e que

desconsideram as particularidades nutricionais e fisiológicas da espécie. Consequentemente, altas taxas de conversão alimentar são obtidas em seu cultivo (em torno de 1,8 a 2) e impactam significativamente os custos de produção (Pedroza-Filho et al., 2016). Nesse sentido, estudos avaliando a digestibilidade de ingredientes para o tambaqui são de fundamental importância para a formulação de rações mais eficientes, com base em valores digestíveis e não brutos, garantindo o devido aporte de nutrientes para o peixe (Glencross, 2020).

A escolha de ingredientes para estudos de digestibilidade deve priorizar fontes que tenham qualidade nutricional e disponibilidade imediata, além de facilidade de manuseio, transporte, armazenamento e utilização pela indústria (Naylor et al., 2009). Deve-se considerar, ainda, a grande variação na composição nutricional de um mesmo tipo de ingrediente em função do processamento (no caso de fontes vegetais, devido ao local de origem, à espécie e a cultivar), o que implica em avaliar sua digestibilidade mais de uma vez, dependendo da sua variação (Glencross, 2020). Para ingredientes proteicos, nutriente de maior custo nas rações, devem-se buscar fontes proteicas de baixo custo e bom aproveitamento que confirmam maior sustentabilidade às formulações e supram a disponibilidade limitada da farinha de peixe proveniente da pesca (Naylor et al., 2021). Nesse sentido, além da determinação da digestibilidade de macronutrientes e energia, é importante avaliar a digestibilidade individual de cada aminoácido, conhecendo, assim, o valor biológico da proteína do ingrediente estudado (Portz; Furuya, 2012).

Para o tambaqui, a digestibilidade de ingredientes energéticos convencionais (milho, óleo de soja, quirera de arroz, sorgo e farelo de trigo) e alternativos (farelo da raiz de mandioca, farelo de coco e farelo de algaroba) foi determinada por Guimarães et al. (2014) para as frações proteína e energia. Mais recentemente, Buzollo et al. (2018) apresentaram a digestibilidade da proteína, energia e extrato etéreo de nove ingredientes proteicos (farelos de soja e algodão, glútenes de milho e trigo, levedura de álcool e farinhas de resíduo de salmão, vísceras de frango, penas e resíduo de tilápia) e sete ingredientes energéticos (quirera de arroz, farelo de trigo, milho, sorgo e óleos de milho, soja e peixe), sendo a digestibilidade aminoacídica destes ingredientes posteriormente complementada por Nascimento et al. (2020). Estes são os únicos trabalhos que avaliaram a digestibilidade de alimentos para o tambaqui, demonstrando escassez de dados para a

formulação de rações para a espécie com base em valores digestíveis, principalmente se considerarmos sua representatividade para a piscicultura na América Latina. O objetivo deste trabalho foi determinar a digestibilidade aparente da proteína, da energia e dos aminoácidos de oito ingredientes proteicos para juvenis de tambaqui.

Esta publicação possui aderência à meta 15.1 do ODS Vida Terrestre que prevê até 2030, assegurar a conservação dos ecossistemas aquáticos e de sua biodiversidade.

Material e métodos

Dietas experimentais

A dieta referência foi formulada de acordo com a exigência proteica e a relação proteína e energia estimadas para o tambaqui por Filho et al. (2018) (Tabela 1). O perfil de aminoácidos, a relação de ácidos graxos do grupo n-3 e n-6 e as exigências em vitaminas e minerais foram estimados com base nas exigências determinadas para outras espécies de peixe onívoras de água doce (National Research Council, 2011). Todos os ingredientes foram previamente moídos e peneirados em malha de 600 µm. A confecção das dietas experimentais foi realizada mediante homogeneização dos ingredientes secos em batedeira planetária industrial, com posterior adição gradual de óleo de canola e água. Na sequência, a mistura foi extrusada a 130 °C em matriz de 3 mm e os péletes secos em estufa com circulação de ar forçada a 55 °C. As rações foram armazenadas a -21 °C e a quantidade necessária para uma semana de alimentação mantida a 4 °C. As dietas experimentais continham 69,9% da dieta referência, 30% do ingrediente teste e 0,1% de óxido de ítrio III (Y_2O_3 ; Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA). Os ingredientes-teste foram: farinha de resíduo de peixe; farinha de vísceras de frango; farinha de penas hidrolisadas; farinha de sangue; farelo de soja; concentrado proteico de soja; glúten de milho; farelo de glúten de milho (Tabela 2).

Ensaio de digestibilidade

Juvenis de tambaqui ($69,0 \pm 15,6$ g), adquiridos de piscicultura comercial, foram distribuídos em 10 tanques cilíndrico-cônicos de 200 L a uma densidade de aproximadamente 25 peixes por tanque, com biomassa inicial média igual a $2.029,6 \pm 53,4$ g. Os peixes foram mantidos sob fluxo contínuo de circulação de água (3 L/min), aeração e temperatura controlada. O delineamento experimental foi em blocos inteiramente ao acaso, com quatro

Tabela 1. Ingredientes e composição proximal da dieta referência.

Ingredientes	Matéria seca (%)
Amido de milho	20,6
Farinha de resíduo de peixe	17,8
Farinha de trigo	17,8
Farinha de vísceras de frango	16,6
Concentrado proteico de soja	17,1
Óleo de canola	4,6
Mistura macromineral ¹	3,9
Premix vitamínico e micromineral ²	1,5
BHT	0,03
Óxido de ítrio III	0,1
Composição (% dieta)	
Matéria seca	89,9
Proteína bruta	36,2
Fibra em detergente neutro	6,2
Matéria mineral	12,7
Extrato etéreo	11,5
Energia bruta (kcal/kg)	4.843,0
Aminoácidos essenciais	
Arg	2,5
His	1,0
Ile	1,5
Leu	2,7
Lys	2,5
Met	0,7
Phe	1,7
Thr	1,5
Trp	0,4
Val	1,8
Aminoácidos não essenciais	
Ala	2,3
Asp	3,3
Gly	2,8
Glu	5,8
Cys	0,8
Tyr	1,1
Pro	2,4
Ser	1,6

¹ CaHPO_4 454 g/kg; K_2SO_4 297 g/kg; NaCl 174 g/kg; MgSO_4 75 g/kg.

² Salus (Santo Antônio de Posse-SP) unidades/kg: Fe 10 g; I 75 mg; Mn 3.250 mg; Se 75 mg; Zn 17,5 g; Cu 1.750 mg; Co 25 mg; vit. A 1.250.000 UI; vit. D3 500.000 UI; vit. E 25.000 UI; vit. K3 625 mg; vit. B1 3.125 mg; vit. B2 3.125 mg; vit. B3 12.500 g; vit. B5 6.250 mg; vit. B6 3.125 mg; vit. B12 3,75 mg; vit. C 50.000 g; ácido fólico 625 mg; colina 187.500 g; biotina 100 mg; inositol 37,5 mg.

Tabela 2. Composição proximal dos ingredientes proteicos (base seca).

	FSO	CPS	GM	FV	FRP	FSG	FGM	FPH
%								
Matéria seca	90,4	92,6	91,8	94,5	92,0	93,8	84,6	93,8
Proteína bruta	44,3	62,0	67,2	59,2	58,6	88,8	25,2	82,3
Fibra em detergente neutro	16,5	21,9	23,8	-	-	-	45,6	-
Cinzas	6,2	7,0	1,6	13,2	28,0	3,9	8,6	3,2
Extrato etéreo	1,0	0,0	0,3	19,6	7,7	2,3	5,3	8,8
Energia bruta ¹	4.892,5	4.920,4	5.399,0	5.682,0	4.664,2	5.865,6	5.009,7	5.641,0
Aminoácidos essenciais								
Arginina	3,5	4,9	2,4	4,6	3,6	4,1	1,7	7,3
Histidina	1,3	1,7	1,5	1,8	1,6	5,2	1,0	1,3
Isoleucina	2,3	3,1	2,6	2,5	2,3	1,1	0,9	4,4
Leucina	3,6	5,0	10,6	4,4	3,9	11,7	2,1	7,0
Lisina	3,2	4,5	1,3	4,6	4,4	9,1	0,9	2,8
Metionina	0,5	0,8	1,5	1,4	1,6	1,4	0,3	0,8
Fenilalanina	2,5	3,5	4,1	2,5	2,3	7,0	0,9	4,3
Treonina	1,8	2,6	2,5	2,6	2,4	4,9	1,0	4,5
Triptofano	0,7	1,0	0,4	0,5	0,4	0,5	0,2	0,5
Valina	2,2	3,1	3,1	2,8	2,7	7,9	1,3	6,3
Aminoácidos não essenciais								
Alanina	2,3	3,2	5,9	4,4	4,3	8,0	1,6	4,3
Ácido aspártico	5,4	7,6	4,7	5,1	4,1	9,5	1,7	6,1
Glicina	2,1	2,9	1,9	6,3	6,0	4,3	1,3	7,6
Ácido glutâmico	8,6	11,8	15,4	8,4	6,8	8,6	4,1	9,9
Cisteína	0,8	0,8	1,1	1,0	1,1	1,6	0,3	1,5
Tirosina	1,7	2,4	3,2	1,9	1,7	2,9	0,8	3,1
Prolina	2,5	3,5	6,6	4,2	3,6	3,9	2,7	8,2
Serina	2,2	3,2	3,9	2,5	2,2	4,8	1,0	9,8

FSO – farelo de soja; CPS – concentrado proteico de soja; GM – glúten de milho; FV – farinha de vísceras de frango; FRP – farinha de resíduo de peixe; FSG – farinha de sangue; FGM – farelo de glúten de milho; FPH – farinha de penas hidrolisadas.

¹ kcal/kg.

blocos no tempo, sendo uma repetição por bloco. Para cada bloco no tempo, um novo sorteio era feito para a distribuição dos tratamentos nos tanques e os peixes adaptados às dietas experimentais por 14 dias antes de iniciar a coleta de fezes. O ensaio durou 85 dias.

A alimentação foi fornecida duas vezes ao dia, às 08:30h e às 15:00h, até a saciedade aparente. Aproximadamente 15 min após cada refeição, eventuais sobras de ração eram recolhidas da superfície da água e do fundo dos tanques, com auxílio de uma peneira, e secas em estufa de recirculação de ar

forçada a 55 °C para posterior pesagem. O consumo diário de cada tratamento foi calculado subtraindo as sobras de ração na água e no recipiente da quantidade inicial de ração no recipiente. Uma hora após a última alimentação do dia, as paredes internas dos tanques eram limpas e cerca de 70% do volume de água renovado, a fim de evitar contaminação das fezes. Na sequência, as fezes eram coletadas, a cada seis horas, em tubos plásticos de 50 mL acoplados na parte inferior dos tanques e imersos em isopor com gelo para reduzir a atividade microbiana (Kitagima; Fracalossi, 2010). Ao final de cada coleta,

os tubos eram centrifugados a 2.800 x g por 10 min a 4 °C, o sobrenadante era descartado e as fezes armazenadas a -20 °C para posterior lyophilização a -50 °C. Oxigênio dissolvido, temperatura, pH e amônia tóxica mantiveram-se em 4,8 ± 1,1 mg/L, 29,0 ± 0,9 °C, 6,8 ± 0,2 e abaixo de 0,2 mg/L, respectivamente; valores estes adequados para a espécie (Gomes et al., 2020).

Análises químicas e coeficientes de digestibilidade aparente

Amostras de fezes de cada repetição, bem como as dietas experimentais e os ingredientes, foram analisados de acordo com metodologias descritas pela Association of Official Analytical Chemists (1990) para matéria seca (método 930.15), cinzas (método 942.05), proteína bruta (Nx6.25; método 988.05) e extrato etéreo (éter de petróleo, método 920.39). Energia bruta foi obtida por calorimetria e fibra em detergente neutro, determinada de acordo com Van Soest et al. (1991). O teor de óxido de ítrio foi determinado por espectrometria de emissão ótica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES), após digestão nítrico-perclórica das amostras (Detmann et al., 2012). Os aminoácidos foram analisados por cromatografia líquida de alta performance (HPLC), após hidrólise ácida em HCl 6 N com fenol por 24h a 110 °C (White et al., 1986). Triptofano foi determinado por espectrofotometria, após hidrólise enzimática (Lucas; Sotelo, 1980).

Os coeficientes de digestibilidade aparente (CDAs) da proteína bruta (PB), energia bruta (EB) e aminoácidos foram calculados pelas equações:

Para as dietas (Cho; Slinger, 1979):

(i) CDA (%) = 100 - [100 x (% Marcador dieta/% Marcador fezes) x (%Nutriente fezes/% Nutriente dieta)];

(ii) Para os ingredientes (Bureau et al., 1999):

$CDA_I = CDA_{Dt} + [(CDA_{Dt} - CDA_{Ref}) \times (0,7 \times N_{Ref}/0,3 \times N_I)]$.

Onde: I = ingrediente; Dt = dieta teste; Ref = dieta referência; N Ref = nutriente (%) ou energia (kcal/kg) na dieta referência; N_I = nutriente (%) ou energia (kcal/kg) no ingrediente.

Escore químico e índice de aminoácidos

Com o objetivo de complementar a análise dos CDAs dos aminoácidos, foram calculados o escore químico (EQ) de cada aminoácido e o índice de aminoácidos essenciais (IAAE), a fim de verificar a limitação em aminoácidos essenciais e a qualidade da proteína de cada ingrediente testado, respectivamente (Abimorad et al., 2008). Para tanto, foi utilizado

o perfil de aminoácidos essenciais do músculo do tambaqui determinado por Nascimento et al. (2020). As equações aplicadas para cada índice foram:

(i) $EQ = \%AAE_d \text{ ingrediente} / \%AAE_t \text{ músculo do tambaqui}$;

$$(ii) IAAE = \sqrt[n]{\frac{a_1}{a_f} \times \frac{b_1}{b_f} \times \dots \times \frac{j_1}{j_f}}$$

Onde: AAE_d = aminoácido essencial digestível no ingrediente; AAE_t = aminoácido essencial correspondente no músculo do tambaqui; n = número de aminoácidos essenciais (n=10); a₁, b₁, ...j₁ = aminoácido essencial digestível do ingrediente; a_f, b_f, ...j_f = aminoácido essencial no músculo do tambaqui.

Análise estatística

As variáveis avaliadas foram submetidas à análise de variância, utilizando-se o teste de Tukey para detecção de diferenças estatísticas entre as médias. As premissas de homocedasticidade (teste de Levene) e normalidade (teste de Shapiro-Wilk) dos resíduos foram checadas e, quando não atendidas, a variável foi submetida ao teste não paramétrico de Friedman, seguido de teste t. O nível de significância estatística adotado para todas as análises foi 0,05. Foi utilizado o programa estatístico SAS 9.4.

Aspectos legais

O estudo atendeu às diretrizes brasileiras para o cuidado e uso de animais para fins científicos e educacionais (CONCEA) e foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Embrapa Pesca e Aquicultura (protocolo 05/2019 – CEUA/CNPASA) e pelo Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SISGEN – AB3C898).

Resultados

O consumo total médio das dietas experimentais não diferiu ($p > 0,05$; Tabela 3). Todos os ingredientes testados apresentaram CDA da proteína acima de 90%, com exceção da farinha de penas, que apresentou digestibilidade inferior a 80% (Tabela 3). Glúten de milho, farelo de soja e concentrado proteico de soja apresentaram maior digestibilidade proteica (97%-98%) em relação aos demais ingredientes; o contrário foi observado para a farinha de penas (77%) ($p < 0,05$). Os demais ingredientes apresentaram valores intermediários para os CDAs da proteína (90%-95%). Com relação à digestibilidade da energia, grande variação (56%-95%)

Tabela 3. Consumo das dietas experimentais e coeficientes de digestibilidade aparente (CDAs) da proteína bruta, da energia bruta e dos aminoácidos essenciais de ingredientes proteicos para o tambaqui.

CDAs (%)	FSO	CPS	GM	FV	FRP	FSG	FGM	FPH	Valor de p
Consumo alimentar (g) ¹	1.213,6 ± 352,0	1.233,4 ± 433,3	1.379,5 ± 240,0	1.591,7 ± 198,0	1.721,2 ± 473,9	1.375,3 ± 584,6	1.552,9 ± 977,1	1.400,2 ± 424,4	0,6026
Proteína bruta	98,0 ± 1,1 ^a	96,7 ± 0,9 ^{ab}	98,0 ± 0,5 ^a	94,7 ± 1,4 ^{bc}	91,1 ± 0,8 ^d	92,3 ± 1,7 ^{cd}	90,3 ± 1,5 ^d	77,0 ± 1,7 ^e	<0,0001
Energia bruta	60,9 ± 2,9 ^d	83,6 ± 1,8 ^b	91,8 ± 6,2 ^a	95,1 ± 0,3 ^a	89,3 ± 4,6 ^{ab}	68,6 ± 4,5 ^c	55,9 ± 1,1 ^d	88,5 ± 1,6 ^{ab}	<0,0001
Arginina	98,9 ± 0,4 ^a	98,8 ± 0,7 ^a	97,9 ± 0,5 ^{ab}	97,1 ± 0,8 ^{ab}	96,8 ± 0,4 ^b	94,4 ± 1,9 ^c	94,8 ± 0,6 ^c	82,1 ± 1,1 ^d	<0,0001
Fenilalanina	98,5 ± 0,8 ^a	97,0 ± 0,5 ^{ab}	98,4 ± 0,1 ^a	95,6 ± 1,3 ^{bc}	94,6 ± 0,9 ^c	94,8 ± 0,9 ^c	94,6 ± 1,7 ^c	78,7 ± 1,6 ^d	<0,0001
Histidina	97,6 ± 1,1 ^a	97,8 ± 0,9 ^a	95,9 ± 0,9 ^b	96,8 ± 1,0 ^a	93,9 ± 0,3 ^{cd}	94,6 ± 1,1 ^c	93,6 ± 0,7 ^d	86,7 ± 2,0 ^e	0,0004
Isoleucina	97,9 ± 0,6 ^a	96,4 ± 1,2 ^{abc}	97,1 ± 0,4 ^{ab}	96,0 ± 1,5 ^{abc}	94,9 ± 0,7 ^{bcd}	89,6 ± 4,2 ^d	93,1 ± 0,6 ^{cd}	76,4 ± 1,7 ^e	<0,0001
Leucina	98,1 ± 0,9 ^{ab}	96,5 ± 1,1 ^{bc}	98,8 ± 0,1 ^a	96,5 ± 1,4 ^{bc}	95,7 ± 0,8 ^{cd}	93,9 ± 1,3 ^d	94,4 ± 0,8 ^d	78,2 ± 1,4 ^e	<0,0001
Lisina	98,0 ± 0,6 ^a	97,9 ± 0,7 ^a	96,1 ± 0,9 ^{ab}	97,0 ± 1,2 ^a	96,6 ± 0,8 ^a	95,4 ± 0,7 ^{ab}	92,5 ± 1,5 ^{bc}	87,6 ± 2,0 ^c	<0,0001
Metionina	99,7 ± 2,2 ^a	98,8 ± 2,0 ^{ab}	98,8 ± 0,7 ^{ab}	96,5 ± 1,8 ^{bc}	95,6 ± 0,9 ^c	96,4 ± 1,2 ^{bc}	98,0 ± 0,6 ^{abc}	89,0 ± 2,3 ^d	<0,0001
Treonina	97,0 ± 0,3 ^a	96,1 ± 0,3 ^{ab}	96,1 ± 0,3 ^{ab}	95,7 ± 0,3 ^{ab}	96,2 ± 0,3 ^{ab}	95,1 ± 0,7 ^b	86,7 ± 1,0 ^c	75,6 ± 1,4 ^d	<0,0001
Triptofano	99,7 ± 0,1 ^a	99,7 ± 0,2 ^a	99,6 ± 0,5 ^a	99,5 ± 0,4 ^a	99,0 ± 0,3 ^{ab}	95,0 ± 0,8 ^c	98,9 ± 0,5 ^{ab}	98,4 ± 0,6 ^b	<0,0001
Valina	97,3 ± 1,0 ^a	95,4 ± 1,5 ^{ab}	96,6 ± 0,3 ^a	95,0 ± 1,5 ^{ab}	94,8 ± 1,0 ^{ab}	93,1 ± 1,3 ^b	90,8 ± 0,6 ^b	69,1 ± 2,0 ^c	<0,0001
AAE ²	98,3 ± 0,7 ^a	97,5 ± 0,8 ^{ab}	97,5 ± 0,4 ^{ab}	96,6 ± 1,0 ^{bc}	95,8 ± 0,6 ^{cd}	94,2 ± 1,3 ^{de}	93,7 ± 0,6 ^e	82,2 ± 1,5 ^f	<0,0001
Ácido aspártico	98,8 ± 0,6 ^a	98,2 ± 1,0 ^a	96,2 ± 0,3 ^a	97,6 ± 1,1 ^a	95,4 ± 0,2 ^a	95,2 ± 0,6 ^a	92,0 ± 1,3 ^b	81,3 ± 2,2 ^c	<0,0001
Ácido glutâmico	98,9 ± 0,4 ^a	98,6 ± 0,5 ^{ab}	99,0 ± 0,1 ^a	97,9 ± 0,7 ^{abc}	97,5 ± 0,3 ^{abc}	94,9 ± 1,1 ^{bc}	94,7 ± 0,5 ^c	81,9 ± 1,4 ^d	<0,0001
Alanina	97,9 ± 1,0 ^{ab}	95,8 ± 1,2 ^{cd}	98,5 ± 0,1 ^a	96,2 ± 0,9 ^{bc}	96,0 ± 0,6 ^c	94,2 ± 1,2 ^{de}	93,8 ± 0,6 ^e	80,7 ± 1,5 ^f	<0,0001
Cisteína	93,5 ± 3,8 ^{ab}	95,7 ± 3,8 ^{ab}	100,1 ± 2,0 ^a	98,4 ± 2,0 ^{ab}	99,3 ± 2,0 ^a	91,1 ± 2,1 ^b	79,9 ± 8,6 ^c	75,0 ± 4,0 ^c	<0,0001
Glicina	96,1 ± 2,0 ^a	95,4 ± 1,2 ^a	95,1 ± 0,3 ^{ab}	96,3 ± 0,6 ^a	95,2 ± 0,5 ^{ab}	92,7 ± 2,0 ^b	88,0 ± 1,6 ^c	81,5 ± 1,4 ^d	<0,0001
Prolina	98,8 ± 0,9 ^a	98,6 ± 0,5 ^a	97,2 ± 1,1 ^{ab}	97,0 ± 0,5 ^{ab}	96,0 ± 0,4 ^b	96,0 ± 1,5 ^b	91,9 ± 0,5 ^c	73,8 ± 1,7 ^d	<0,0001
Serina	97,6 ± 0,6 ^a	97,0 ± 0,5 ^a	97,3 ± 0,1 ^a	95,6 ± 1,0 ^{ab}	93,9 ± 0,8 ^b	93,9 ± 0,7 ^b	91,3 ± 1,7 ^c	73,6 ± 1,4 ^d	<0,0001
Tirosina	98,3 ± 0,8 ^a	97,8 ± 0,6 ^a	98,4 ± 0,3 ^a	95,0 ± 1,5 ^b	93,7 ± 1,2 ^b	94,4 ± 1,4 ^b	91,6 ± 1,5 ^c	81,8 ± 1,8 ^d	<0,0001
AANE ²	97,5 ± 0,7 ^a	97,1 ± 0,6 ^a	97,7 ± 0,1 ^a	96,8 ± 0,7 ^a	95,9 ± 0,3 ^{ab}	94,1 ± 1,1 ^b	90,4 ± 1,5 ^c	78,7 ± 1,6 ^d	<0,0001
AAT ²	97,9 ± 0,6 ^a	97,3 ± 0,6 ^{ab}	97,6 ± 0,2 ^{ab}	96,7 ± 0,8 ^{ab}	95,8 ± 0,4 ^{bc}	94,2 ± 1,2 ^c	92,2 ± 0,9 ^d	80,6 ± 1,5 ^e	<0,0001

FSO – farelo de soja; CPS – concentrado proteico de soja; GM – glúten de milho; FV – farinha de vísceras de frango; FRP – farinha de resíduo de frango; FSG – farinha de sanguine; FGM – farelo de glúten de milho; FPH – farinha de penas hidrolisadas.

¹ Quantidade média da dieta consumida por repetição (n = 4); dieta referência (1.287,7 ± 359,9 g) também foi incluída na análise.

² Média dos CDAs de aminoácidos essenciais (AANE), não essenciais (AAE), e aminoácidos totais (AAT), respectivamente.

a, b, c, d, f. Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças entre os tratamentos pelo teste de Tukey ou teste t, no caso da histidina (p < 0,05).

entre os ingredientes foi observada (Tabela 3). Os menores CDAs foram observados para farelo de glúten de milho, farelo de soja e farinha de sangue (56%-69%), ao passo que farinha de vísceras de frango, glúten de milho, farinha de resíduo de peixe e farinha de penas exibiram os maiores CDAs (89%-95%) ($p < 0,05$). O concentrado proteico de soja apresentou CDA da energia intermediário (84%) e similar aos valores encontrados para farinha de resíduo de peixe e farinha de penas ($p > 0,05$).

A digestibilidade dos aminoácidos essenciais foi superior a 90% para todos os ingredientes proteicos avaliados, exceto para a farinha de penas e pontualmente para o farelo de glúten de milho, no caso da treonina (87%) (Tabela 3). De forma geral, maiores CDAs foram obtidos para farelo de soja, concentrado proteico de soja, glúten de milho e farinha de vísceras de frango, enquanto valores intermediários foram observados para farinha de resíduo de peixe, farinha de sangue e farelo de glúten de milho ($p < 0,05$). A farinha de penas apresentou os menores valores de CDAs de aminoácidos essenciais. A média dos CDAs de aminoácidos essenciais corrobora essa análise geral entre os ingredientes (Tabela 3). A digestibilidade da lisina foi elevada (95%-98%) e similar para farelo de soja, concentrado proteico de soja, glúten de milho, farinha de vísceras de frango, farinha de resíduo de peixe e farinha de sangue ($p > 0,05$); valores menores foram observados para farelo de glúten de milho (93%) e farinha de penas hidrolisadas (88%) ($p < 0,05$). A metionina apresentou alta digestibilidade para as fontes vegetais estudadas (acima de 98%), assim como para os coprodutos de origem animal (96%-97%), com exceção da farinha de penas hidrolisadas (89%) ($p < 0,05$). O triptofano apresentou elevados CDAs para todos os ingredientes, com o menor valor (95%) sendo observado para a farinha de sangue ($p < 0,05$).

A digestibilidade dos aminoácidos não essenciais seguiu tendência similar à observada para os aminoácidos essenciais, a qual também foi corroborada pela média dos CDAs dos aminoácidos não essenciais e dos aminoácidos totais (Tabela 3). CDAs acima de 90% foram observados para a maioria dos ingredientes, com exceção da farinha de penas hidrolisadas, cujos CDAs oscilaram entre 74% e 82%, e do farelo de glúten de milho, para glicina (88%) e cisteína (80%). A média dos CDAs dos aminoácidos totais dos ingredientes testados apresentou valores próximos aos respectivos CDAs da proteína, com uma diferença mais acentuada apenas para a farinha de resíduo de peixe (Tabela 3).

Lisina, metionina e triptofano foram os aminoácidos mais limitantes para os ingredientes proteicos testados, apresentando os menores EQ (Tabela 4). Metionina foi o primeiro aminoácido limitante para farelo de soja e concentrado proteico de soja e o segundo, para farinha de sangue, farelo de glúten de milho e farinha de penas. Lisina foi especialmente limitante para as fontes proteicas derivadas do milho, apresentando-se, também, como o primeiro aminoácido limitante em todos os coprodutos de origem animal testados, com exceção da farinha de sangue, que apresentou a isoleucina como primeiro aminoácido limitante. Triptofano foi o segundo aminoácido mais limitante para o glúten de milho, farinha de vísceras de frango, farinha de resíduo de peixe e também para a farinha de sangue. Com relação ao IAAE apresentado na Tabela 4, farelo de soja, concentrado proteico de soja, farinha de vísceras de frango e farinha de sangue apresentaram índices acima de 1 e farinha de resíduo de peixe, valor próximo a 1. Farinha de penas apresentou o menor IAAE (0,77), enquanto glúten de milho (0,84) e farelo glúten de milho (0,85), valores intermediários.

Discussão

O consumo similar das dietas experimentais pelo tambaqui sugere que a adição de 30% dos ingredientes-teste à dieta referência não afetou a palatabilidade nem induziu alguma preferência alimentar durante o período avaliado.

A digestibilidade de ingredientes proteicos para juvenis de tambaqui também foi determinada por Buzollo et al. (2018). Em comparação com os resultados obtidos em nosso estudo, farelo de soja (95%) e glúten de milho (98%) apresentaram similaridade para a digestibilidade da proteína; porém, encontraram valor mais elevado para o CDA da energia do farelo de soja (77%). Os coprodutos de origem animal, que foram igualmente avaliados em ambos os trabalhos, exibiram maior divergência entre si, provavelmente decorrente de diferenças na qualidade da matéria-prima e no processamento desses ingredientes e em consequentes variações em seu padrão nutricional. Menor digestibilidade proteica e energética foi verificada por Buzollo et al. (2018) para a farinha de vísceras de frango (PB-86% e EB-84%) e para a farinha de resíduo de peixe (PB-78% e EB-70%); o contrário foi observado para a farinha de penas (PB-84% e EB-77%). Em trabalho complementar, a digestibilidade dos aminoácidos dos mesmos ingredientes foi avaliada por Nascimento et al. (2020), corroborando as observações descritas por Buzollo et al. (2018) para os CDAs da proteína.

Tabela 4. Escore químico e índice de aminoácidos essenciais de ingredientes proteicos para o tambaqui (*Colossoma macropomum*).

Aminoácidos essenciais	Músculo tambaqui (g/kg proteína) ¹	FSO	CPS	GM	FV	FRP	FSG	FGM	FPH
		Escore químico							
Arginina	53,7	1,47	1,44	0,66	1,40	1,12	0,81	1,18	1,35
Histidina	22,0	1,29	1,23	0,97	1,33	1,17	2,54	1,67	0,60
Isoleucina	38,5	1,30	1,25	0,96	1,04	0,96	0,28*	0,83	1,05
Leucina	71,4	1,12	1,09	2,19	1,00	0,89	1,74	1,11	1,93
Lisina	105,5	0,66**	0,68**	0,17*	0,71*	0,69*	0,93	0,30*	0,28*
Metionina	28,7	0,43*	0,42*	0,74	0,81	0,93	0,54**	0,40**	0,29**
Fenilalanina	35,2	1,58	1,54	1,72	1,13	1,06	2,11	0,93	1,17
Treonina	31,9	1,25	1,27	1,10	1,30	1,23	1,65	1,03	1,28
Triptofano	10,0	1,47	1,59	0,52**	0,76**	0,73**	0,54**	0,88	0,65
Valina	43,2	1,11	1,09	1,04	1,04	1,03	1,91	1,08	1,21
Índice de aminoácidos essenciais									
		1,10	1,09	0,84	1,03	0,97	1,06	0,85	0,77

FSO – farelo de soja; CPS – concentrado proteico de soja; GM – glúten de milho; FV – farinha de vísceras de frango; FRP – farinha de resíduo de peixe; FSG – farinha de sangue; FGM – farelo de glúten de milho; FPH – farinha de penas hidrolisadas.

¹Valores determinados por Nascimento et al. (2020).

*Primeiro aminoácido limitante.

**Segundo aminoácido limitante.

De forma geral, CDAs acima de 90% e relativamente próximos aos valores encontrados em nosso trabalho também foram verificados pelos autores para o farelo de soja e o glúten de milho, assim como IAAEs similares. Lisina e triptofano foram os aminoácidos mais limitantes para o glúten de milho e o farelo de soja testados pelos autores, que encontraram, neste último, maior EQ para a metionina (0,91). Os CDAs dos aminoácidos da farinha de vísceras de frango e da farinha de resíduo de peixe foram, de forma geral, inferiores aos valores encontrados em nosso trabalho, apresentando menores IAAEs (0,93 e 0,80, respectivamente) e maior limitação em triptofano (EQ = 0,31 e 0,45, respectivamente). Os CDAs da farinha de penas também exibiram grande amplitude de variação quando comparados com os nossos resultados, apresentando limitações em triptofano, histidina e lisina e, de forma similar, baixo IAAE (0,66).

Para o pacu (*P. mesopotamicus*), farelo de soja (91%) e glúten de milho (96%) apresentaram digestibilidade proteica semelhante aos valores encontrados em nosso estudo; porém, maior aproveitamento da energia do farelo de soja (78%) (Abimorad et al., 2008). Já para a farinha de resíduo de peixe, menor digestibilidade da proteína (85%) e energia (75%) foi observada para o pacu. Os CDAs dos aminoácidos destes ingredientes

apresentaram valores menores aos encontrados em nosso trabalho e seguiram a mesma tendência de aproveitamento dos respectivos CDAs da proteína. Assim como observamos para o tambaqui, o glúten de milho apresentou desbalanço em alguns aminoácidos essenciais, principalmente em lisina (EQ=0,15).

A pirapitinga (*P. brachypomus*) mostrou tendência de aproveitamento de alguns ingredientes semelhante à obtida no presente trabalho (Nazari et al., 2018). Elevada digestibilidade da proteína também foi verificada para o concentrado proteico de soja (92%), glúten de milho (93%) e farinha de vísceras de frango (91%), assim como elevados CDAs de energia (86%-93%). Valores intermediários foram obtidos para digestibilidade proteica e energética da farinha de sangue (PB-78% e EB-78%) e farinha de penas (PB-81% e EB-80%). Já para o farelo de soja, os autores observaram baixo aproveitamento da energia (74%) e proteína (53%), o que provavelmente tem relação com o menor teor de proteína bruta (35%) e a maior quantidade de extrativo não nitrogenado do farelo de soja testado.

As variações descritas especialmente para a digestibilidade da energia do farelo de soja podem ser atribuídas a diferenças entre as cultivares de soja, resultando em produtos com diferentes teores de proteína, polissacarídeos e fatores antinutricionais, que afetam seu aproveitamento (Burr et al.,

2011). Baixa digestibilidade da energia do farelo de soja tem sido relacionada ao excesso de carboidratos indigestíveis do ingrediente (oligossacarídeos, amido e polissacarídeos não amiláceos) (Oliveira Filho; Fracalossi, 2006; Chu et al., 2015). Isso pode explicar a baixa digestibilidade da energia do farelo de soja testado para o tambaqui, cuja habilidade em aproveitar carboidratos (Corrêa et al., 2007) pode ter sido sobre carregada pela já existência de fontes de carboidratos na dieta referência (Tabela 1). Com relação à digestibilidade da proteína e dos aminoácidos, farelo de soja e concentrado proteico de soja apresentaram altos CDAs para o tambaqui, juntamente com elevado IAAE, mostrando-se excelentes fontes proteicas para a espécie. Resultado semelhante foi observado em dieta contendo 45% de concentrado proteico de soja em total substituição à farinha de peixe para juvenis de tambaqui, cuja alta digestibilidade não afetou o crescimento dos peixes, porém resultou em maior deposição de gordura e em piora na conversão alimentar (Martins et al., 2020). Em juvenis de pacu, a inclusão de 32% de concentrado proteico de soja na dieta induziu alterações histológicas no intestino posterior e no pâncreas exócrino que provavelmente prejudicam os processos de digestão e absorção de nutrientes; essas alterações, porém, não foram observadas no grupo alimentado com 44% de inclusão de farelo de soja (Ostaszewska et al., 2005). Em complemento aos resultados de digestibilidade encontrados, é importante o desenvolvimento de estudos avaliando limites máximos de inclusão de ingredientes derivados da soja para o tambaqui.

Com relação ao farelo de glúten de milho, semelhança para os CDAs de proteína e energia foi observada para a tilápia-do-Nilo, *Oreochromis niloticus* (PB = 91%; EB = 59%), que também apresentou CDAs de aminoácidos essenciais próximos aos valores encontrados para o tambaqui (Vidal et al., 2015). A elevada quantidade de fibras deste ingrediente explica sua baixa digestibilidade energética, que também foi verificada para o bagre do canal, *Ictalurus punctatus* (42%) (Kitagima; Fracalossi, 2011), e que, somada às limitações em lisina e metionina, indicam cautela quanto ao nível de inclusão do farelo de glúten de milho em dietas para o tambaqui. Desbalanço em aminoácidos também é observado para o glúten de milho, especialmente para a lisina, o triptofano e a arginina, e essa limitações devem ser consideradas em formulações de dietas para peixes (Hernández et al., 2021).

A farinha de penas foi o ingrediente com menor digestibilidade de proteína e aminoácidos em comparação com os demais ingredientes testados para

o tambaqui. Em complemento às comparações mencionadas anteriormente, maior CDA de proteína e CDA de energia semelhante ao encontrado neste estudo foram observados para o bagre do canal (PB = 90%; EB = 87%) (Kitagima; Fracalossi, 2011), enquanto menores valores foram relatados para a tilápia-do-Nilo (PB = 29%; EB = 68%) (Pezzato et al., 2002). Assim como para outros coprodutos de origem animal, o processo de cozimento e secagem da farinha de penas é determinante para a qualidade do produto final e o aproveitamento dos seus nutrientes, em especial, da proteína (Bureau et al., 1999; Davies et al., 2009). Embora tenha sido o ingrediente com proteína de menor valor biológico em relação aos demais ingredientes-teste, sua digestibilidade foi relativamente satisfatória, podendo-se considerar sua inclusão moderada em formulações para a espécie em conjunto com as limitações em lisina, metionina, histidina e triptofano (Tabela 3).

Em função do alto teor de umidade, a farinha de sangue é um ingrediente que precisa ser seco o mais rápido possível, a fim de evitar perdas do seu valor nutricional por ação microbólica (Pastore et al., 2012). O processo de secagem longo e sob altas temperaturas favorece a degradação da proteína, resultando em baixo aproveitamento deste nutriente (Bureau et al., 1999), o que não ocorreu para o ingrediente testado neste estudo, que mostrou digestibilidade elevada para proteína e aminoácidos e intermediária para energia. Processos de secagem distintos também podem explicar as diferenças discutidas anteriormente para a digestibilidade da farinha de resíduo de peixe. CDAs de proteína e energia similares para este ingrediente foram verificados para o bagre do canal (PB-90%; EB-82%) (Kitagima; Fracalossi, 2011), enquanto menores valores foram relatados para a tilápia-do-Nilo (PB = 79%; EB = 72%) (Pezzato et al., 2002) e o jundiá, *Rhamdia quelen* (PB = 78%; EB = 75%) (Oliveira; Fracalossi, 2006).

A farinha de vísceras de frango tem mostrado bons resultados em dietas para peixes de água doce, possibilitando inclusões acima de 50% e substituição total da farinha de peixe (Galkanda-Arachchige et al., 2020). Além de apresentar alto teor proteico e bom perfil de aminoácidos, a farinha de vísceras de frango possui baixo custo, se comparada à farinha de peixe, e disponibilidade regular, especialmente em países produtores de aves como o Brasil. Apesar da alta concentração de gorduras saturadas, que afetam negativamente sua digestibilidade (Olsen; Ringø, 1997; Rawles et al., 2006), a farinha de vísceras de frango teve os maiores CDAs entre os ingredientes de origem animal testados para o tambaqui em nosso

estudo. Este resultado demonstra uma habilidade do tambaqui em utilizar ingredientes ricos em gorduras saturadas, que pode estar relacionada com a menor exigência de peixes de água doce em ácidos graxos altamente insaturados (Sargent et al., 2003; Parés-Sierra et al., 2014).

Conclusão

A farinha de resíduo de peixe e a farinha de vísceras de frango mostraram-se excelentes fontes proteicas para o tambaqui com elevada digestibilidade em proteína, energia e aminoácidos, além de um bom balanço em aminoácidos essenciais, com moderada limitação em lisina e triptofano. Juntamente com o farelo de soja e o concentrado proteico de soja, constituem ingredientes com grande potencial de utilização em formulações de rações para o tambaqui. O glúten de milho também apresentou alto aproveitamento para a espécie e o desbalanço em alguns aminoácidos pode ser contornado com suplementação de aminoácidos e balanceamento de outros ingredientes na formulação. Farinha de sangue, farinha de penas e farelo de glúten de milho apresentaram digestibilidade satisfatória e sua utilização deve considerar o desbalanço em alguns aminoácidos essenciais e, no caso do farelo de glúten de milho, o excesso de fibras.

Agradecimentos

Aos bolsistas de graduação e fomento tecnológico pelo auxílio na condução deste estudo e à equipe do Laboratório de Nutrição Animal da Embrapa Pecuária Sudeste pelo auxílio na realização das análises centesimais. Os autores também agradecem Agronorte, CJ Selecta e ADM pela doação dos ingredientes utilizados na fabricação das dietas experimentais. Este estudo pertence ao projeto "BRSAqua - Ações estruturantes e inovação para o fortalecimento das cadeias produtivas da Aquicultura no Brasil", financiado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), por meio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq Processo nº 421502/2017-7).

Referências

ABIMORAD, E. G.; SQUASSONI, G. H.; CARNEIRO, D. J. Apparent digestibility of protein, energy, and

amino acids in some selected feed ingredients for pacu *Piaractus mesopotamicus*. *Aquaculture Nutrition*, v. 14, p. 374-380, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00544.x>

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. *Official methods of analysis*. 15th ed. Arlington, 1990.

BUREAU, D. P.; HARRIS, A. M.; CHO, C. Y. Apparent digestibility of rendered animal protein ingredients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, v. 180, p. 345-358, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00210-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00210-0).

BURR, G. S.; BARROWS, F. T.; GAYLORD, G.; WOLTERS, W. R. Apparent digestibility of macronutrients and phosphorus in plant-derived ingredients for Atlantic salmon, *Salmo salar* and Arctic charr, *Salvelinus alpinus*. *Aquaculture Nutrition*, v. 17, p. 570-577, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2011.00855.x>.

BUZOLLO, H.; NASCIMENTO, T. M. T. do; SANDRE, L. C. G. de; NEIRA, L. M.; JOMORI, R. K.; CARNEIRO, D. J. Apparent digestibility coefficients of feedstuff used in tambaqui diets. *Boletim do Instituto de Pesca*, v. 44, e316, 2018. DOI: <https://doi.org/10.37496/rbz4920190032>.

CHO, C. Y.; SLINGER, S. J. Apparent digestibility measurement in feedstuffs for rainbow trout. In: HALVER, J. E.; TIEWS, K. (ed.). *Proc. World Symp. on Finfish Nutrition and Fish feed Technology*, p. 239-247.

CHU, Z. J.; YU, D. H.; YUAN, Y. C.; QIAO, Y.; CAI, W. J.; SHU, H.; LIN, Y. C. Apparent digestibility coefficients of selected protein feed ingredients for loach *Misgurnus anguilllicaudatus*. *Aquaculture Nutrition*, v. 21, p. 425-432, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/anu.12174>.

CORRÊA, C. F.; AGUIAR, L. H.; LUNDSTEDT, L. M.; MORAES, G. Responses of digestive enzymes of tambaqui (*Colossoma macropomum*) to dietary cornstarch changes and metabolic inferences. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A*, v. 147, p. 857-862, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2006.12.045>.

DAVIES, S. J.; GOUVEIA, A.; LAPORTE, J.; WOODGATE, S. L.; NATES, S. Nutrient digestibility profile of premium (category III grade) animal protein by-products for temperate marine fish species (European sea bass, gilthead sea bream and turbot). *Aquaculture Research*, v. 40, p. 1759-1769, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02281.x>.

DETMANN, E.; SOUZA, M. A.; VALADARES FILHO, S. C.; QUEIROZ, A. C.; BERCHIELLI, T. T.; SALIBA, E. O. S.; CABRAL, L. S.; PINA, D. S.; LADEIRA, M. M.; AZEVÊDO, J. A. G. *Métodos para análise de alimentos*. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2012. 214 p.

FILHO, E. C. T. N.; MATTOS, B. O.; SANTOS, A. A.; BARRETO, K. A.; ALBINATI, R. C. B.; OLIVEIRA VIDAL, L. V.; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J.; FORTES-SILVA, R. Geometric approach to evaluate the energy/protein balance in tambaqui (*Colossoma macropomum*): Can fish ensure nutritional intake targets by post-igestion signals? **Aquaculture Nutrition**, v. 24, p. 741-747, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/anu.12602>.

GALKANDA-ARACHCHIGE, H. S. C.; WILSON, A. E.; DAVIS, D. A. Success of fishmeal replacement through poultry by-product meal in aquaculture feed formulations: a meta-analysis. **Reviews in Aquaculture**, v. 12, p. 1624-1636, 2020. DOI: DOI: <https://doi.org/10.1111/raq.12401>.

GLEN CROSS, B. D. A feed is *still* only as good as its ingredients: An update on the nutritional research strategies for the optimal evaluation of ingredients for aquaculture feeds. **Aquaculture Nutrition**, v. 26, p. 1871-1883, 2020. DOI: DOI: <https://doi.org/10.1111/anu.13138>.

GOMES, L. C.; SIMÕES, L. N.; ARAÚJO-LIMA, C. A. R. M. 2020. Tambaqui (*Colossoma macropomum*). In: BALDISSEROTO, B. (Org.). **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**. 3^a ed. Santa Maria: Editora UFSM, 2020. p. 147-168.

GUIMARÃES, I. G.; MIRANDA, E. C.; ARAÚJO, J. G. Coefficients of total tract apparent digestibility of some feedstuffs for tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Animal Feed Science and Technology**, v. 188, p. 150-155, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.11.007>.

HERNÁNDEZ, C.; LIZÁRRAGA-VELÁZQUEZ, C. E.; CONTRERAS-ROJAS, D.; SÁNCHEZ-GUITÉRREZ, E. Y.; MARTÍNEZ-MONTAÑO, E.; IBARRA-CASTRO, L. & PEÑA-MARÍN, E. S. Fish meal replacement by corn gluten in feeds for juvenile spotted rose snapper (*Lutjanus guttatus*): Effect on growth performance, feed efficiency, hematological parameters, protease activity, body composition, and nutrient digestibility. **Aquaculture**, v. 531, 735896, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735896>.

ISMIÑO-ORBE, R. A. **Excreção e efeito da amônia sobre o crescimento do tambaqui (*Colossoma macropomum* Cuvier, 1818)**. 1997. 29 f. (Dissertação de Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus, 1997.

KITAGIMA, R. E.; FRACALOSSI, D. M. Validation of a methodology for measuring nutrient digestibility and evaluation of commercial feeds for channel catfish. **Scientia Agricola**, v. 67, p. 611-615, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000500016>.

KITAGIMA, R. E.; FRACALOSSI, D. M. Digestibility of alternative protein-rich feedstuffs for channel catfish,

Ictalurus punctatus. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 42, p. 306-312, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2011.00468.x>.

LUCAS, B.; SOTELO, A. Effect of different alkalies, temperature, and hydrolysis times on tryptophan determination of pure proteins and of foods. **Analytical Biochemistry**, v. 109, n. 1, p. 192-197, 1980. DOI: [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(80\)90028-7](https://doi.org/10.1016/0003-2697(80)90028-7).

MARTINS, G. P.; MAZINI, B. S. M.; CAMPOS, M. A. F.; OLIVEIRA, D. S.; GUIMARÃES, I. G. Effect of replacing fish meal protein by crystalline amino acid and soy protein concentrate on growth, feed utilization, and metabolism of tambaqui *Colossoma macropomum* juveniles. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 51, p. 1250-1269, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/jwas.12688>.

NASCIMENTO, T. M. T.; BUZOLLO, H.; DE SANDRE, L. C. G.; NEIRA, L. M.; ABIMORAD, E. G. & CARNEIRO, D. J. Apparent digestibility coefficients for amino acids of feed ingredients in tambaqui (*Colossoma macropomum*) diets. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 49, e20190032, 2020. DOI: <https://doi.org/10.37496/rbz4920190032>.

NAYLOR, R. L.; HARDY, R. W.; BUREAU, D. P.; CHIU, A.; ELLIOTT, M.; FARRELL, A. P.; FORSTER, I.; GATLIN, D. M.; GOLDBURG, R. J.; HUA, K.; NICHOLS, P. D. Feeding aquaculture in an era of finite resources. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, p. 15103-15110, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0905235106>.

NAYLOR, R. L.; HARDY, R. W.; BUSCHMANN, A. H.; BUSH, S. R.; CAO, L.; KLINGER, D. H.; LITTLE, D. C.; LUBCHENCO, J.; SHUMWAY, S. E.; TROELL, M. A 20-year retrospective review of global aquaculture. **Nature**, v. 591, p. 551-563, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03308-6>.

NAZARI, H.; SALARZADEH, A.; SAFARI, O.; YAHYAVI, M. Screening of selected feedstuffs by juvenile pacu, *Piaractus brachypomus* (Cuvier, 1818). **Aquaculture Nutrition**, v. 24, p. 1729-1737, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/anu.12807>.

NEVES, L. C.; FAVERO, G. C.; BEIER, S. L.; FERREIRA, N. S.; PALHETA, G. D. A.; MELO, N. F. A. C.; LUZ, R. K. Physiological and metabolic responses in juvenile *Colossoma macropomum* exposed to hypoxia. **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 46, p. 2157-2167, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10695-020-00868-8>.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (Estados Unidos). Nutrient requirements of fish and shrimp. Washington, DC: The National Academies Press, 2011. 376 p.

OLIVEIRA FILHO, P. R. C.; FRACALOSSI, D. M. Coeficientes de digestibilidade aparente de ingredientes

para juvenis de jundiá. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, p. 1581-1587, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000600002>.

OLSEN, R. E.; RINGØ, E. Lipid digestibility in fish: a review. In: PANDALAI, S.G. (Ed.). **Recent research developments in lipid research**. Kerala: Research Signpost, 1997. p.199-264.

OSTASZEWSKA, T.; DABROWSKI, K.; PALACIOS, M. E.; OLEJNICZAK, M.; WIECZOREK, M. Growth and morphological changes in the digestive tract of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and pacu (*Piaractus mesopotamicus*) due to casein replacement with soybean proteins. **Aquaculture**, v. 245, p. 273-286, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.12.005>.

PARÉS-SIERRA, G., DURAZO, E., PONCE, M. A., BADILLO, D., CORREA-REYES, G.; VIANA, M. T. Partial to total replacement of fishmeal by poultry by-product meal in diets for juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and their effect on fatty acids from muscle tissue and the time required to retrieve the effect. **Aquaculture Research**, v. 45, p. 1459-1469, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/are.12092>.

PASTORE, S. C. G.; GAIOTTO, J. R.; RIBEIRO, F. A. S.; NUNES, A. J. P. Boas práticas de fabricação e formulação de rações para peixes. In: FRACALOSSI, D.M.; CYRINO, J.E.P. (ed.). **NUTRIAQUA: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira**. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2012. p. 295-346.

PEDROZA-FILHO, M. X.; RODRIGUES, A. P. O.; REZENDE, F.P. **Dinâmica da produção de tambaqui e demais peixes redondos no Brasil**. Palmas: Ativos Aquicultura, 7. ed. Palmas: Ativos Aquicultura, 2016. 5 p.

PEZZATO, L. E.; MIRANDA, E. C.; BARROS, M. M.; PINTO, L. G. Q.; FURUYA, W. M.; PEZZATO, A. C. Digestibilidade aparente de ingredientes pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de**

Zootecnia, v. 31, p. 1595-1604, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982002000700001>.

PORTZ, L.; FURUYA, W. M. Energia, proteína e aminoácidos. In: FRACALOSSI, D. M.; CYRINO, J. E. P. (ed.). **NUTRIAQUA: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira**. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2012. p. 65-77.

RAWLES, S. D., GAYLORD, T. G.; GATLIN, D. M. Digestibility of gross nutrients by sunshine bass in animal by-products and commercially blended products used as fish meal replacements. **North American Journal of Aquaculture**, v. 68, p. 74-80, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1577/A04-075.1>.

SARGENT, J. R., TOCHER, D. R.; BELL, J. G. The lipids. In: HALVER, J. E.; HARDY, R. W. (ed.). **Fish Nutrition**. 3 rd ed. San Diego: Elsevier, 2003. p. 181-257.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v. 74, p. 3583-3597, 1991. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2).

VIDAL, L. V. O.; XAVIER, T. O.; MICHELATO, M.; MARTINS, E. N.; PEZZATO, L. E.; FURUYA, W. M. Apparent protein and energy digestibility and amino acid availability of corn and co-products in extruded diets for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 46, p. 183-190, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/jwas.12184>.

WHITE, J.; HART, R.; FRY, J. An evaluation of the waters pico-tag system for the amino-acid-analysis of food materials. **Journal of Automatic Chemistry**, v. 8, p. 170-177, 1986. DOI: <https://doi.org/10.1155/S1463924686000330>.

WOYNÁROVICH, A.; VAN ANROOY, R. **Field guide to the culture of tambaqui** (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1816). Rome: FAO, 2019. 136 p. (FAO. Fisheries and Aquaculture Technical Paper, 624).