

Valor nutricional do farelo de algodão para a tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*)

Geisa Karine Kleemann, Margarida Maria Barros* e Luiz Edivaldo Pezzato

Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Cx. Postal 560, 18618-000, Botucatu, São Paulo, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: mbarros@fca.unesp.br

RESUMO. Determinou-se a composição química dos farelos de algodão 28,0; 38,0 e 46,0% de proteína bruta e os coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) pela tilápia do Nilo da matéria seca, proteína, aminoácidos, energia, lipídeo e minerais. Os CDA foram determinados, usando-se dieta-referência purificada, contendo 0,1% do indicador óxido de crômio-III. As rações-teste continham 60,0% da dieta-referência e 40,0% dos alimentos em estudo. Os resultados mostraram diferença ($p < 0,05$) entre os CDA dos nutrientes dos farelos de algodão. Os CDA dos três farelos de algodão foram: matéria seca = 53,45 a 54,32%; proteína = 71,56 a 74,81%; energia = 53,80 a 58,60%; lipídeo = 85,37 a 89,11%; fósforo = 33,75 a 34,50%; cálcio = 41,21 a 43,75%; ferro = 62,02 a 79,85%; zinco = 0 a 67,41%; cobre = 13,37 a 14,27%; aminoácidos essenciais = 71,39 a 79,17% e aminoácidos não-essenciais = 77,08 a 82,58%. O CDA da proteína não reflete a maioria dos CDA dos aminoácidos, existindo variação na digestibilidade individual dos aminoácidos dentro e entre os farelos de algodão. O farelo de algodão se apresenta como sucedâneo proteico para compor dietas para tilápia do Nilo.

Palavras-chave: aminoácidos, digestibilidade, energia, peixe, minerais, proteína digestível.

ABSTRACT. Nutritional value of cottonseed meal for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Cottonseed meals (CSM) with different protein levels (35, 39 and 40%) were evaluated to determine their chemical composition and measure apparent digestibility coefficients (ADC) of dry matter, protein, amino acids, energy, lipid and minerals for Nile tilapia. Apparent digestibility coefficients were determined using a reference purified diet containing 0.1% of chromic oxide indicator, and test diets contained 60% of reference diet and 40% of test ingredients. Results showed that apparent digestibility coefficients of cottonseed meals were different ($p < 0.05$). The apparent digestibility coefficients were: dry matter, 53.45-54.32%; crude protein, 71.56-74.81%; energy, 53.80-58.60%; lipid, 85.37-89.11%; phosphorus, 33.75-34.50%; calcium, 41.21-43.75%; iron, 62.02-79.85%; zinc, 0-67.41%; copper, 13.37-14.27%; essential amino acids, 71.39-79.17%; and non-essential amino acids, 77.08-82.58%. The ADC of protein did not reflect the majority of amino acids ADC showing variation in individual digestibility of amino acids and among cottonseed meals. Cottonseed meal can be used as protein succedaneum in Nile tilapia diets.

Key words: amino acids, digestibility, energy, fish, minerals, protein availability.

Introdução

Em condições de cultivo intensivo, os peixes necessitam de rações com elevado teor proteico para atingirem taxas economicamente viáveis de crescimento. Segundo Pezzato et al. (2002), desde que as exigências em aminoácidos entre outros nutrientes têm sido definidas, é possível o balanceamento de rações para as espécies tropicais tendo os alimentos de origem vegetal como base proteica destas rações.

O farelo de algodão é uma das fontes proteicas de origem vegetal mais produzida no mundo, apresentando custo relativamente baixo, bom

conteúdo proteico e perfil de aminoácidos (BARROS; KLESIOUS, 2002). A melhoria nos métodos de processamento para extração de óleo tem resultado em farelos com menores teores de gossipol, tornando-o mais atrativo na formulação de rações para a aquicultura (WALDROUP; KERSEY, 2002).

Inúmeros fatores interferem na digestibilidade dos nutrientes dos alimentos aos peixes. Dentre esses fatores se destacam a espécie de peixe, a qualidade do alimento ou ingrediente e as condições de processamento a que a dieta foi submetida (PEZZATO et al., 2002). A literatura apresenta os valores digestíveis de alguns alimentos para o bagre

do canal e a truta arco-íris, pela importância econômica como produtos da aquicultura nos Estados Unidos (NRC, 1993).

A tilápia do Nilo é uma espécie de grande importância econômica no Brasil e uma das espécies para a qual os coeficientes de digestibilidade de alimentos e ingredientes são necessários. Tais informações são necessárias para se formular rações que atinjam suas exigências e permitam a substituição eficaz de ingredientes, com intuito de minimizar os custos na fabricação das rações e, conseqüentemente, de reduzir os custos na produção desses peixes.

Assim, o objetivo deste estudo foi determinar a composição química de três diferentes farelos de algodão presentes no mercado nacional (FA-28%; FA-38% e FA-46%) e avaliar os coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca, da proteína, dos aminoácidos, da energia, dos lipídeos e dos minerais para a tilápia do Nilo.

Material e métodos

Esta pesquisa foi realizada na Unesp - Universidade Estadual Paulista, no Laboratório de Nutrição de Peixes, da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Câmpus de Botucatu, Estado de São Paulo.

Para se atender as exigências nutricionais da espécie (NRC, 1993), foi formulada uma ração-referência purificada (INA, 1977) com base proteica em gelatina e albumina (Tabela 1). A ração-referência foi formulada com ingredientes purificados, de forma a minimizar os efeitos de fatores antinutricionais e reduzir os efeitos sinérgicos e/ou antagônicos entre os ingredientes na absorção dos nutrientes da ração. Outras três rações foram formuladas para avaliação dos coeficientes de digestibilidade dos nutrientes dos farelos de algodão (processados por extração com solvente) 28,0; 38,0 e 46,0%, de proteína bruta. Estas rações continham 60,0% da ração referência e 40,0% de um desses farelos (CHO et al., 1982). Os coeficientes de digestibilidade aparente foram determinados pelo método indireto, utilizando-se o óxido de crômio-III como marcador inerte, incorporado na concentração de 0,1% à ração-referência e às rações-teste.

Todos os ingredientes foram moídos de forma a se apresentarem com diâmetro geométrico médio (DGM) menor que 0,7 mm. Após se homogeneizar a mistura em misturador automático, adicionaram-se 40,0% de água 55,0°C⁻¹ para peletização em equipamento específico. Após peletização, a mistura foi desidratada em estufa de circulação de ar (55,0°C

24 horas⁻¹) e armazenada a -20,0°C. Os péletes foram fracionados em DGM de 4 a 5 mm.

Tabela 1. Composição percentual da ração-referência e composição química analisada (matéria natural).

Table 1. Analyzed percentual composition of reference diet and chemical composition (natural matter).

Ingrediente	Porcentagem (%)	
<i>Ingredient</i>	<i>Percentage</i>	
Albumina	32,50	
<i>Albumin</i>		
Gelatina	5,50	
<i>Gelatin</i>		
Amido	46,08	
<i>Starch</i>		
Óleo de soja	4,20	
<i>Soybean oil</i>		
Celulose	6,50	
<i>Cellulose</i>		
Fosfato bicálcico	4,40	
<i>Dicalcium phosphate</i>		
Suplemento mineral e vitamínico ¹	0,50	
<i>Mineral and vitamin supplement</i>		
Vitamina C ²	0,05	
<i>Vitamin C</i>		
Sal	0,15	
<i>Salt</i>		
Butil hidroxitolueno (BHT)	0,02	
<i>Butyl hydroxy toluene</i>		
TOTAL	100,00	
Composição analisada	Valor bruto	Valor digestível
<i>Analyzed composition</i>	<i>Crude value</i>	<i>Digestible value</i>
Matéria seca (%)	91,68	72,01
<i>Dry matter</i>		
Proteína (%)	33,24	31,98
<i>Protein</i>		
Energia (kcal kg ⁻¹)	4516	3424
<i>Energy</i>		
Lipídeo (%)	4,20	4,09
<i>Lipid</i>		
Fibra bruta (%)	4,84	-
<i>Crude fiber</i>		
Fósforo (%)	0,96	0,52
<i>Phosphorus</i>		
Cálcio (%)	1,15	0,60
<i>Calcium</i>		
Ferro (mg kg ⁻¹)	137,24	99,18
<i>Iron</i>		
Zinco (mg kg ⁻¹)	50,54	45,14
<i>Zinc</i>		
Cobre (mg kg ⁻¹)	5,39	0,32
<i>Copper</i>		

¹Suplemento mineral e vitamínico (Supre Mais[®]): vitamina A, 1.200.000 UI; vitamina B₁, 4,8 g; vitamina B₂, 4.800 mcg; vitamina B₃, 4,8 g; vitamina B₆, 4,8 g; vitamina C, 48 g; vitamina D₃, 200.000 UI; vitamina E, 1,2 g; vitamina K₃, 2,4 g; Ácido fólico, 1,2 g; Biotina, 48 mg; Pantetonato de cálcio, 12 g; Cloreto de colina, 108 g; Niacina, 24 g; Selênio, 100 mg; Iodo, 100 mg; Cobalto, 10 mg; Cobre, 3 g; Ferro, 50 g; Manganês, 20 g; Zinco, 30 g; Antioxidante, 25 g; Veículo q.s.p., 1.000 g; ²Vitamina C polifosfatada Stay C[®] com 35% de princípio ativo.

³Mineral and vitamin supplement (Supre Mais[®]): vitamin A, 1,200,000 UI; vitamin B₁, 4,8 g; vitamin B₂, 4,800 mcg; vitamin B₃, 4,8 g; vitamin B₆, 4,8 g; vitamin C, 48 g; vitamin D₃, 200,000 UI; vitamin E, 1,2 g; vitamin K₃, 2,4 g; Folic acid, 1,2 g; Biotin, 48 mg; Calcium pantothenate, 12 g; Choline chloride, 108 g; Niacin, 24 g; Selenium, 100 mg; Iodine, 100 mg; Cobalt, 10 mg; Copper, 3 g; Iron, 50 g; Manganese, 20 g; Zinc, 30 g; Antioxidant, 25 g; Vehicle q.s.p., 1,000 g; ⁴L-ascorbyl-2-polyphosphate 35% ascorbic acid activity.

Para se facilitar o manejo de alimentação e de coleta de fezes, utilizaram-se dez aquários circulares de alimentação (250 L de água cada⁻¹). Em cada um destes tanques se instalou um tanque-rede de formato circular, confeccionado em tela plástica, no qual se distribuíram 15 machos de tilápia do Nilo (101,3 ± 7,2 g peixe⁻¹). Manteve-se o fotoperíodo de 12L:12E e os aquários de alimentação apresentavam sistema fechado de recirculação de água com filtro mecânico e biológico e temperatura controlada em 26,0 ± 0,5°C. A avaliação físico-química da água foi

realizada, utilizando-se kit para análise (Alfa kit®). Para a alimentação e coleta de fezes, de cada um dos tratamentos, utilizou-se a metodologia descrita por Pezzato et al. (2004), e os peixes foram arraoados fora do sistema coletor de fezes.

Determinou-se a composição química da ração-referência (Tabela 1) dos três farelos de algodão (Tabela 2) e das rações-teste e fezes provenientes dos animais alimentados com as respectivas rações. As análises químicas foram realizadas segundo a AOAC (2000) no Laboratório de Alta Tecnologia, Campinas, Estado de São Paulo, enquanto a energia foi determinada em bomba calorimétrica adiabática na Unesp – FMVZ, Botucatu, Estado de São Paulo. A composição aminoacídica foi analisada por hidrólise ácida em cromatografia líquida de alta performance (HPLC), no Laboratório de Alta Tecnologia, Campinas, Estado de São Paulo. As concentrações dos minerais (Ca, P, Fe, Zn, Cu e Cr) foram quantificadas pela técnica de espectrometria de absorção atômica por chama após digestão em ácido nítrico e perclórico, no Laboratório de Química do Departamento de Química do Instituto de Biociências da Unesp, Botucatu. As concentrações de gossipol total e gossipol livre dos farelos de algodão foram determinadas segundo a AOCS (1997) no Laboratório de Alta Tecnologia, Campinas, Estado de São Paulo.

Tabela 2. Composição química dos farelos de algodão contendo diferentes níveis proteicos (matéria natural) (Valores = média de três repetições).

Table 2. Chemical composition of cottonseed meal with different proteic levels (natural matter) (Values = average of three replicates).

Nutriente	FA-35	FA-39	FA-40
Nutrient	CSM - 35	CSM-39	CSM-40
Matéria seca (%)	89,82	89,80	91,37
Dry matter			
Proteína bruta (%)	34,66	38,99	40,25
Crude protein			
Energia bruta (kcal kg ⁻¹)	4173	4223	4324
Crude energy			
Lípido (%)	2,35	1,53	2,31
Lipid			
Fibra bruta (%)	16,36	14,47	15,30
Crude fiber			
Gossipol livre (%)	0,0	0,0	0,0
Free gossypol			
Gossipol total (%)	0,10	0,10	0,18
Total gossypol			
Fósforo (%)	0,83	1,10	0,93
Phosphorus			
Cálcio (%)	0,26	0,40	0,34
Calcium			
Ferro (mg kg ⁻¹)	76,93	62,37	68,95
Iron			
Zinco (mg kg ⁻¹)	11,47	11,80	13,92
Zinc			
Cobre (mg kg ⁻¹)	0,45	1,56	1,65
Copper			

Os coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) de matéria seca, proteína, energia, lípido e

aminoácidos e a disponibilidade aparente dos minerais da ração-referência e das rações-teste foram calculados com base nos teores de óxido de crômio-III e do nutriente da ração e das fezes (CHO; KAUSHIK, 1990), segundo a fórmula:

$$CDA(\%) = 100 - \left[100 \left(\frac{\% C_{r_2O_3} \text{ dieta}}{\% C_{r_2O_3} \text{ fezes}} \right) \left(\frac{\% \text{ nutriente fezes}}{\% \text{ nutriente dieta}} \right) \right]$$

Após, foram calculados os CDA de matéria seca, proteína, energia, lípido, aminoácidos e a disponibilidade aparente dos minerais dos ingredientes-teste com base na digestibilidade do nutriente da ração-referência e rações-teste e no percentual de inclusão do ingrediente-teste na ração (SUGIURA et al., 1998), segundo a fórmula:

$$CDA_{(nutriente)} = \frac{CDA_{(dieta \text{ teste})} - (\% \text{ dieta referência} \cdot CDA_{(dieta \text{ referência})})}{\% \text{ ingrediente e teste}}$$

Os dados foram analisados pela técnica de análise de variância e submetidos ao teste múltiplo de comparação de médias de Tukey, do programa computacional SAS (SAS, 1995). As conclusões foram obtidas ao nível de 5% de significância.

Resultados e discussão

Durante o período experimental, a temperatura média da água nos aquários foi de 26,0 ± 0,5°C, a concentração média de oxigênio dissolvido foi de 7,6 ± 0,7 mg L⁻¹, e o pH variou entre 6,9 a 7,4. Estes valores se encontram na escala ótima para a espécie (BOYD, 1990).

A composição química dos farelos de algodão se apresenta na Tabela 2. O nível de proteína bruta apresentado pelo farelo de algodão 28% (FA-28) foi 35,0%; 39,0%, pelo farelo 38% (FA-38) e 40,0%, pelo farelo de algodão 46% (FA-46). Estes valores não confirmam a composição proteica estipulada pelos fabricantes, com exceção do FA-38 que apresentou teor proteico próximo ao postulado.

Os farelos de algodão utilizados neste estudo revelaram apenas gossipol na forma ligada, não apresentando gossipol livre. O nível de gossipol total encontrado nos FA-35 e FA-39 foi de 0,1%, enquanto FA-40 apresentou 0,18% de gossipol total.

A composição aminoacídica dos farelos de algodão (Tabela 3) está expressa como percentual do ingrediente e como percentual do conteúdo de proteína bruta. A composição em aminoácidos dos farelos aumentou com o incremento do nível proteico e manteve similar a relação da proporção dos aminoácidos com o teor proteico dos três farelos. Os farelos de algodão têm alto conteúdo em

arginina (11,44 a 11,78% PB⁻¹) e apresentam baixos níveis de metionina (0,63 a 0,74% PB⁻¹) e baixos níveis de lisina (4,62 a 4,99% PB⁻¹).

Tabela 3. Composição aminoacídica dos farelos de algodão, valores expressos na porcentagem do ingrediente e na porcentagem de proteína bruta do ingrediente (matéria natural) (Valores = média de duas repetições).

Table 3. Amino acid composition of cottonseed meal, values presented in percentage of ingredient and crude protein of ingredient (natural matter) (values=average of two replicates).

Aminoácido (%) Amino acid	% ingrediente ingredient			% proteína bruta crude protein		
	FA-35 CSM-35	FA-39 CSM-39	FA-40 CSM-40	FA-35 CSM-35	FA-39 CSM-39	FA-40 CSM-40
<i>Essencial</i> Essential						
Arginina Arginine	4,01	4,46	4,74	11,57	11,44	11,78
Histidina Histidine	0,98	1,05	1,13	2,83	2,69	2,81
Isoleucina Isoleucine	1,15	1,22	1,32	3,32	3,13	3,28
Leucina Leucine	2,13	2,26	2,48	6,15	5,80	6,16
Lisina Lysine	1,73	1,80	1,90	4,99	4,62	4,72
Metionina Methionine	0,22	0,29	0,29	0,63	0,74	0,72
Fenilalanina Phenylalanine	1,91	2,06	2,22	5,51	5,28	5,52
Treonina Threonine	1,26	1,37	1,54	3,64	3,51	3,83
Triptofano Tryptofan	0,52	0,52	0,54	1,50	1,33	1,34
Valina Valine	1,72	1,82	1,98	4,96	4,67	4,92
<i>Não-essencial</i> Non-essential						
Ácido aspártico Aspartic acid	3,58	3,91	4,37	10,33	10,03	10,86
Ácido glutâmico Glutamic acid	8,22	9,03	9,83	23,72	23,16	24,42
Alanina Alanine	1,46	1,57	1,77	4,21	4,03	4,40
Cistina Cystine	0,40	0,44	0,45	1,15	1,13	1,12
Glicina Glycine	1,52	1,65	1,86	4,39	4,23	4,62
Serina Serine	1,64	1,79	2,00	4,73	4,59	4,97
Prolina Proline	1,38	1,48	1,63	3,98	3,80	4,05
Tirosina Tyrosine	0,56	0,67	0,69	1,62	1,72	1,71

Os CDA de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), energia bruta (EB), lipídeo e minerais (P, Ca, Fe, Zn e Cu) e os valores digestíveis dos nutrientes dos farelos de algodão, para a tilápia do Nilo, estão apresentados na Tabela 4. Os CDA da MS variaram de 53,45 a 54,32%. Não houve diferença na digestibilidade da MS entre os três farelos de algodão. Diferenças significativas ($p < 0,05$) ocorreram nos CDA da PB, da EB e dos lipídeos entre os três farelos de algodão. Os CDA da PB foram relativamente elevados (variação de 71,56 a 74,81%) para os farelos. O FA-35 e o FA-40 tiveram maiores ($p < 0,05$) CDA da proteína do que o FA-39.

Tabela 4. Coeficientes de digestibilidade aparente de matéria seca, proteína bruta, energia, lipídeo e minerais e valores digestíveis dos nutrientes dos farelos de algodão com diferentes níveis proteicos para a tilápia do Nilo (matéria natural)¹.

Table 4. Apparent digestibility coefficient of dry matter, crude protein, energy, lipid and minerals and digestible values of cottonseed meal nutrients with different protein levels for Nile tilapia (natural matter).

Nutriente Nutrient	FA-35 CSM-35	FA-39 CSM-39	FA-40 CSM-40
Matéria seca (%) Dry matter	53,45 ± 0,31	53,85 ± 0,15	54,32 ± 0,20
Proteína bruta (%) Crude protein	74,81 ± 0,41a	71,56 ± 0,74b	74,80 ± 0,85a
Energia bruta (kcal kg ⁻¹) Crude energy	55,76 ± 1,63b	53,80 ± 0,14c	58,60 ± 0,91a
Lipídeo (%) Lipid	86,57 ± 0,62b	89,11 ± 2,13a	85,37 ± 0,20b
Fósforo (%) Phosphorus	33,75 ± 7,54	34,23 ± 8,21	34,50 ± 6,43
Cálcio (%) Calcium	41,21 ± 6,11	43,31 ± 5,92	43,75 ± 6,43
Ferro (mg kg ⁻¹) Iron	79,85 ± 10,27	62,02 ± 9,47	71,63 ± 11,05
Zinco (mg kg ⁻¹) Zinc	0,0c	18,27 ± 5,00b	67,41 ± 4,38a
Cobre (mg kg ⁻¹) Copper	13,37 ± 4,21	14,13 ± 4,83	14,27 ± 4,54
Valores digestíveis Digestible values			
Proteína digestível (%) Digestible protein	25,93	27,90	30,12
Energia digestível (kcal kg ⁻¹) Digestible energy	2327	2272	2534
Fósforo disponível (%) Available phosphorus	0,28	0,38	0,32
Cálcio disponível (%) Available calcium	0,11	0,17	0,15
Ferro disponível (mg kg ⁻¹) Available iron	61,36	38,68	49,38
Zinco disponível (mg kg ⁻¹) Available zinc	0,0	2,15	9,38
Cobre disponível (mg kg ⁻¹) Available copper	0,06	0,22	0,24

¹Valores são médias ± desvio-padrão de três repetições/tratamento. Médias iguais ou seguidas de mesma letra, na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

¹Values are averages ± standard deviation of three replicates/treatment. Averages absent or followed by the same letter, in rows, did not differ by Tukey test ($p > 0,05$).

Os CDA da energia foram baixos (entre 53,80 e 58,6%) para os três farelos de algodão. O FA-40 apresentou CDA da energia mais elevado ($p < 0,05$) do que os outros farelos, enquanto o FA-35 apresentou maior CDA da energia do que o FA-39. O lipídeo desses farelos foi bem digerido (85,37 a 89,11%) pela tilápia do Nilo. O FA-39 teve o maior ($p < 0,05$) CDA do lipídeo, enquanto os CDA do lipídeo dos FA-35 e FA-40 não diferiram entre si.

Não houve diferença significativa para os valores médios do CDA do fósforo (34,16%), cálcio (42,76%), ferro (71,17%) e cobre (13,92%) entre os três farelos de algodão. Entretanto, houve diferença ($p < 0,05$) para a disponibilidade aparente do zinco. A disponibilidade de Zn do FA-40 foi maior que nos outros farelos, enquanto o FA-35 apresentou a menor disponibilidade.

Os CDA dos aminoácidos dos farelos de algodão, para a tilápia do Nilo, estão apresentados na Tabela 5. O FA-40 apresentou os maiores ($p < 0,05$) CDA para a maioria dos aminoácidos, sendo maior para

isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptofano, valina, ácido aspártico, alanina, glicina e serina. O FA-35 apresentou os menores ($p < 0,05$) CDA para a maioria dos aminoácidos, sendo menor para arginina, histidina, lisina, fenilalanina, ácido aspártico, ácido glutâmico, cistina, serina e prolina. A lisina apresentou o menor CDA entre os aminoácidos (53,91 a 67,81%), seguida pela treonina (60,95 a 72,42%). O maior CDA dentre os aminoácidos essenciais foi apresentado pela metionina (93,04 a 97,11%).

Tabela 5. Coeficientes de digestibilidade aparente dos aminoácidos de três cultivares de farelo de algodão¹.

Table 5. Apparent digestible coefficient of amino acids of three cottonseed meal cultivars.

Aminoácido (%)	FA-35	FA-39	FA-40
Amino acid	CSM-35	CSM-39	CSM-40
Essenciais			
<i>Essential</i>			
Arginina	75,99b	80,47a	80,55a
<i>Arginine</i>			
Histidina	71,82b	75,80a	77,59a
<i>Histidine</i>			
Isoleucina	66,76b	68,54b	74,89a
<i>Isoleucine</i>			
Leucina	71,10b	72,32b	79,31a
<i>Leucine</i>			
Lisina	53,91c	58,40b	67,81a
<i>Lysine</i>			
Metionina	93,04b	92,93b	97,11a
<i>Methionine</i>			
Fenilalanina	80,02c	82,58b	87,39a
<i>Phenylalanine</i>			
Treonina	60,95b	61,85b	72,42a
<i>Treonine</i>			
Triptofano	73,92b	76,21b	80,68a
<i>Tryptofano</i>			
Valina	66,37b	68,10b	73,92a
<i>Valine</i>			
Não-essenciais			
<i>Non-essential</i>			
Ácido aspártico	72,93c	76,14b	79,33a
<i>Aspartic acid</i>			
Ácido glutâmico	77,09b	80,43a	82,38a
<i>Glutamic acid</i>			
Alanina	64,65b	63,20b	70,40a
<i>Alanine</i>			
Cistina	80,43b	83,15a	84,88a
<i>Cistine</i>			
Glicina	68,95b	70,53b	75,24a
<i>Glycine</i>			
Serina	72,83c	75,64b	81,54a
<i>Serine</i>			
Prolina	79,74b	85,42a	86,85a
<i>Proline</i>			
Tirosina	100,00	100,00	100,00
<i>Tyrosine</i>			
Média total	73,92aA	76,21aA	80,68aA
<i>Total average</i>			
Proteína bruta	74,81A	71,56A	74,80A
<i>Crude protein</i>			

¹Valores são médias de duas repetições/tratamento; Médias seguidas de mesma letra minúscula, na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$); Letras maiúsculas comparam valores na mesma coluna.

¹Values are averages of two replicates/treatment; Averages followed by the same uppercase letter, in rows, did not differ by Tukey test ($p < 0,05$); Uppercase letters compare values in the same column.

Os valores médios dos CDA para todos os aminoácidos foram moderadamente altos para os três farelos de algodão. As médias foram de 73,92% para o FA-35, 76,21% para o FA-39 e 80,68% para o FA-40, e estes valores não diferiram entre os farelos

e também não o fizeram quando se comparou a média dos CDA de todos os aminoácidos com o CDA da proteína dentro do mesmo farelo de algodão.

O balanceamento correto de rações para a tilápia do Nilo depende do conhecimento da composição de nutrientes dos alimentos. Os valores digestíveis permitem substituições precisas de alimentos e/ou ingredientes nas rações. Durante todo o período experimental foi excelente o consumo das quatro rações (três rações-teste e a referência), confirmando Lovell (1982) e Barros e Klesius (2002) de que o farelo de algodão é palatável para peixes.

Os farelos de algodão apresentaram gossipol somente na forma ligada, sendo os conteúdos de gossipol total, de 0,1% para o FA-35 e para o FA-39, e 0,18% para o FA-40. Estas concentrações de gossipol (livre e ligado) se apresentam inferiores às dos produtos de algodão relatados por Martin (1990) e Wedegaortner (1981). O aumento na produção do algodão, junto com novos métodos de processamento, resulta em farelos com menores índices de gossipol (WALDROUP; KERSEY, 2002). Isto torna o farelo de algodão um ingrediente mais atraente na formulação de rações para aquicultura.

O gossipol é um pigmento polifenólico amarelo encontrado naturalmente em pequenas glândulas na planta do algodão, e a forma livre é a tóxica (ROBINSON; LI, 1995). Durante o processamento, o gossipol livre é ligado à proteína, formando o gossipol ligado, o qual torna os aminoácidos indigestíveis (MARTIN, 1990). A forma ligada tem reduzida atividade biológica, geralmente considerada inerte quando consumida por monogástricos. No farelo processado, o gossipol livre somado à forma ligada representa o gossipol total. É possível minimizar os efeitos adversos do gossipol livre do algodão, neutralizando-o com sais de ferro, tais como o sulfato ferroso na relação de 1:1 para gossipol livre e ferro. Segundo Waldroup e Kersey (2002), o ferro forma um forte complexo com o gossipol livre no trato intestinal que o impede de ser absorvido.

Nesta pesquisa, os CDA da MS e da EB do farelo de algodão foram baixos, provavelmente pelo elevado índice de fibras deste ingrediente. A digestibilidade dos nutrientes depende da composição do alimento (LEE, 2002) e o baixo CDA da MS e da EB dos vegetais relacionam-se à quantidade e à composição química dos carboidratos presentes. A fibra dietética (celulose) é um componente do carboidrato dos vegetais, a qual não é aproveitada pelos peixes. Níveis maiores que 8,0% de fibra bruta diminuem o CDA da ração e, ainda, a

disponibilidade de outros nutrientes (GAYLORD; GATLIN III, 1996).

A qualidade da proteína dos alimentos é o fator que mais afeta o desempenho dos peixes. A proteína do farelo de algodão foi bem digerida neste estudo (74,0%), demonstrando que o farelo de algodão pode ser eficientemente usado como sucedâneo proteico em rações para a tilápia do Nilo. Este resultado confirma Fagbenro (1998): a tilápia do Nilo utiliza com eficiência a proteína vegetal.

Pezzato et al. (2002) determinaram resultados semelhantes para essa mesma espécie, em relação à proteína e matéria seca. O CDA do farelo de algodão 35% foi de 74,87% para MS e 53,11% para a PB. Entretanto, determinaram menor CDA para a energia (51,0%) e superior para o lipídio (99,39%) quando comparado ao obtido nesta pesquisa (87,02%). Embora com outra espécie, a truta arco-íris, Cheng e Hardy (2002) avaliaram o CDA do farelo de algodão e encontraram CDA de 64,85% para a MS, valor mais elevado se comparado à média de 53,87% para os farelos de algodão deste estudo; maior também para a PB (84,25%) comparada aos 73,72% e inferior para o lipídeo (71,0%) se comparado aos 87,02% deste estudo.

A qualidade da proteína de fontes proteicas dietéticas depende da composição e da disponibilidade dos aminoácidos. Embora os resultados deste estudo (Tabela 4) sugiram que o valor do CDA da proteína seja indicativo do CDA dos aminoácidos, houve grande variabilidade ($p < 0,05$) na digestibilidade individual dos aminoácidos dentro e entre os farelos de algodão (Tabela 5). Tais resultados demonstram que os valores digestíveis dos aminoácidos devem ser utilizados para formulação mais precisa e mais econômica da dieta dos peixes.

Os valores de digestibilidade dos aminoácidos dos farelos de algodão não seguiram tendência similar aos valores de digestibilidade da proteína, pois o CDA da PB diferiu ($p < 0,05$) entre os farelos, demonstrando maior CDA da proteína para o FA-35 e o FA-40. Isto não ocorreu quando comparados às médias dos CDA de todos os aminoácidos entre os três farelos.

Os CDA de alguns minerais do farelo de algodão foram baixos, os valores médios de disponibilidade do fósforo, cálcio e cobre foram de 34,16, 42,76 e 13,92%, respectivamente. O CDA do Fe foi relativamente elevado (média de 71,12%), enquanto o CDA do Zn foi o único que diferiu ($p < 0,05$) entre os três farelos de algodão, com valores mais elevados para o FA-40 (67,41%), baixos para o FA-39 (18,27%) e não detectados para o FA-35. Estes

resultados sugerem a influência de efeitos dietéticos, tais como a presença de fitato, excesso de fibra nesse alimento, os quais reduzem a disponibilidade dos minerais (CHAMPAGNE, 1989) e, provavelmente, a concentração destes compostos seja inversamente proporcional à concentração de proteína.

A baixa disponibilidade de minerais obtida neste estudo é embasada por Mbahinzireki et al. (2001), os quais enfatizaram que os ingredientes de origem vegetal contêm o fósforo primariamente como o sal do cálcio-magnésio do ácido fítico, conhecido como fitina. O fósforo da fitina é indisponível aos animais com estômago simples porque há ausência da enzima fitase no trato gastrointestinal. Sá et al. (2005) relataram que o ácido fítico forma sais insolúveis com muitos minerais no trato digestório, tornando o fósforo pouco disponível nos vegetais. O ácido fítico presente no farelo de algodão forma quelatos com minerais divalentes, reduzindo a disponibilidade dos minerais (PEZZATO et al., 2004).

Baixos coeficientes de disponibilidade de alguns minerais dos farelos de algodão para a truta arco-íris foram encontrados por Cheng e Hardy (2002), os quais relataram que os CDA do fósforo, cobre, ferro e zinco foram de 54,3; 58,4; 49,2 e 20,1%, respectivamente. Cheng e Hardy (2002), da mesma maneira que neste estudo, somente observaram diferença ($p < 0,05$) para a disponibilidade do zinco entre os farelos de algodão (Tabela 5).

Nesta pesquisa, os CDA dos aminoácidos obtidos demonstraram boa utilização dos aminoácidos dos três farelos de algodão pela tilápia do Nilo, à exceção da lisina e da treonina. Os CDA dos aminoácidos do FA-40 foram melhores se comparados aos outros dois farelos de algodão, apesar de os valores proteicos analisados serem semelhantes, confirmando-se, portanto, a diferença na digestibilidade da proteína e dos aminoácidos individualmente. Tais diferenças confirmam os resultados obtidos por Cheng e Hardy (2002), os quais também encontraram diferenças entre as médias dos CDA dos aminoácidos essenciais dos farelos de algodão com a truta arco-íris. Cheng e Hardy (2002) obtiveram CDA médio de 86,92%, valor mais elevado do que obtido nesse estudo (média de 74,76%).

A principal deficiência de aminoácido no farelo de algodão é relacionada à lisina. No farelo de algodão, além de a quantidade total de lisina ser baixa (4,78% da proteína dietética), este aminoácido é sujeito à formação de complexos não-digestíveis com o gossipol ou carboidratos durante o processamento, prejudicando sua digestibilidade. Waldroup e Kersey (2002) avaliaram 16 amostras de

farelo de algodão dos Estados Unidos, e a média de lisina em relação à percentagem de proteína dos farelos foi de 4,0%, valor inferior ao encontrado neste estudo. Rostagno et al. (2005) avaliaram dois farelos de algodão com diferentes níveis proteicos e encontraram valor de 4,16% de lisina/proteína do farelo.

Neste estudo, os CDA da lisina foram os menores dentre os aminoácidos, variando de 53,91% para o FA-35 a 67,81% para o FA-40%. Martin (1990) e Rinchar et al. (2003) ressaltaram que a lisina é o primeiro aminoácido a se ligar com o gossipol livre, reduzindo sua digestibilidade. Similar CDA de lisina para o farelo de algodão foi encontrado, com o bagre do canal, por Lovell (1981), o qual obteve CDA da lisina de 66,0%. Allan et al. (2000) relataram, para a carpa prateada, CDA de 60,0% para a lisina do farelo de algodão. Entretanto, Cheng e Hardy (2002) e Lee (2002) encontraram maiores valores, média de 84,93% e de 77,0% de CDA da lisina do farelo de algodão para a truta arco-íris e o *rockfish*, respectivamente.

Os aminoácidos metionina e treonina se mostraram presentes em baixas quantidades no farelo de algodão, considerando-se as exigências da tilápia do Nilo. Entretanto, ao contrário da lisina, a metionina apresentou o maior CDA entre todos os aminoácidos (93,04 a 97,11%), enquanto os CDA da treonina variaram de 60,95 a 72,42%. Cheng e Hardy (2002) avaliaram a digestibilidade dos aminoácidos em farelos de algodão para a truta arco-íris, e dentre todos os aminoácidos, obtiveram os maiores CDA para o triptofano, seguido pela metionina. Considerando-se a exigência em aminoácidos da tilápia do Nilo, apresentada pelo NRC (1993), pode-se observar que os farelos de algodão avaliados neste estudo apresentam, em média, 24,77% da exigência em metionina, 55,84% da exigência em lisina, 63,44% da exigência em treonina e 73% da concentração exigida de isoleucina. Entretanto, os demais aminoácidos estão presentes nos farelos de algodão em concentrações superiores às da exigência dietária da espécie.

Conclusão

Os resultados obtidos permitem concluir que diferem os CDA da maioria dos nutrientes dos farelos de algodão em 35, 39 e 40% de proteína bruta. Em função da baixa disponibilidade da maioria dos minerais para os diferentes farelos, estes não devem ser considerados para atender a exigência nutricional da espécie. O CDA da proteína não reflete a maioria dos CDA dos aminoácidos,

existindo grande variação na digestibilidade individual dos aminoácidos dentro e entre os farelos de algodão. Os valores digestíveis dos aminoácidos devem ser utilizados para formulação mais precisa e mais econômica da ração para a tilápia do Nilo.

Referências

- ALLAN, G. L.; PARKINSON, S.; BOOTH, M. A. Replacement of fish meal in diets for Australian silver perch (*Bidyanus bidyanus*): I. Digestibility of alternative ingredients. **Aquaculture**, v. 186, n. 1, p. 293-310, 2000.
- AOAC-Association of Official Analytical Chemists International. **Official methods of analysis**. 17. ed. Gaithersburg, 2000.
- AOCS-American Oil Chemists' Society. **Official methods and recommended practices**. 5th ed. Champaign, 1997.
- BARROS, M. M.; LIM, C.; KLESIUS, P. H. Effect of soybean meal replacement by cottonseed meal and iron supplementation on growth, immune response and resistance of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) to *Edwardsiella ictaluri* challenge. **Aquaculture**, v. 207, n. 1, p. 263-279, 2002.
- BOYD, C. E. **Water quality management for ponds fish culture**: development in aquaculture and fisheries science. 4. ed. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 1990.
- CHAMPAGNE, E. T. Low gastric hydrochloric and secretion and mineral bioavailability. In: DINTZIS, F. R.; LAZLO, J. A. (Ed.). **Mineral absorption in the monogastric gastrointestinal tract**. New York: Plenum Press, 1989. p. 173-184.
- CHENG, Z. J.; HARDY, R. W. Apparent digestibility coefficients and nutritional value of cottonseed meal for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v. 212, n. 1-4, p. 361-372, 2002.
- CHO, C. Y.; KAUSHIK, S. J. Nutritional energetic in fish: energy and protein utilization in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). **World Review of Nutrition and Dietetics**, v. 61, p. 132-172, 1990.
- CHO, C. Y.; SLINGER, S. J.; BAYLEY, H. S. Bioenergetics of salmonid fishes: energy intake, expenditure and productivity. **Comparative Biochemistry and Physiology. Parte B. Biochemistry and Molecular Biology**, v. 73, p. 25-41, 1982.
- FAGBENRO, O. Apparent digestibility of various legumes seed meals in Nile tilapia diets. **Aquaculture International**, v. 6, n. 1, p. 83-87, 1998.
- GAYLORD, T. G.; GATLIN III, D. M. Apparent digestibility coefficients and nutritional value of cottonseed meal for rainbow trout. **Aquaculture**, v. 139, n. 1, p. 303-314, 1996.
- INA-American Institute of Nutrition. Report of the American Institute of Nutrition ad hoc committee on standards for nutritional studies. **Journal of Nutrition**, v. 107, n.7, p. 1340-1348, 1977.
- LEE, S. M. Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for juvenile and grower rockfish (*Sebasteschlegeli*).

- Aquaculture**, v. 207, n. 1-2, p. 79-95, 2002.
- LOVELL, T. Cottonseed meal in fish feeds. **Feedstuffs**, v. 53, n. 2, p. 28-29, 1981.
- LOVELL, T. Use of cottonseed meal in fish feeds. **Aquaculture Management**, v. 8, n. 2, p. 42-43, 1982.
- MARTIN, S. D. Gossypol effects in animal feeding can be controlled. **Feedstuffs**, v. 62, n. 1, p. 14-17, 1990.
- MTAHINZIREKI, G. B.; DABRIWSKI, K.; LEE, K. J.; EL-SAYDY, D.; WISNER, E. R. Growth, feed utilization and body composition of tilapia (*Oreochromis* sp.) fed with cottonseed meal-based diets in a recirculating system. **Aquaculture Nutrition**, v. 7, n. 3, p. 189-200, 2001.
- NRC-National Research Council. **Nutrient requirements of fish**. Washington, D.C.: National Academy Press, 1993.
- PEZZATO, L. E.; MIRANDA, E. C.; BARROS, M. M.; FURUYA, W. M. Digestibilidade aparente de ingredientes pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 4, p. 3361-3370, 2002.
- PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M.; FRACALOSSO, D. M.; CYRINO, J. E. P. Nutrição de Peixes. In: CYRINO, J. E. P.; URBINATI, E. C.; FRACALOSSO, D. M.; CYRINO, J. E. P. (Ed.). **Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva**. São Paulo: Aquabio, 2004. v. 1, p. 75-170.
- RINCHARD, J.; LEE, K. J.; DABROWSKI, K.; CIERESZKO, A.; BLOM, J. H.; OTTOBRE, J. S. Influence of gossypol from dietary cottonseed meal on haematology, reproductive steroids and tissue gossypol enantiomer concentrations in male rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture Nutrition**, v. 9, n. 4, p. 275-282, 2003.
- ROBINSON, E. H.; LI, M. H. Use of cottonseed meal in aquaculture feeds. In: LIM, C.; SESSA, D. J. (Ed.). **Nutrition and utilization technology in aquaculture**. Champaign: AOCS Press, 1995. p. 157-165.
- ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; DONZELE, J. L.; GOMES, P. C. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2005.
- SÁ, M. V. C.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M.; PADILHA, P. M. Relative bioavailability of zinc in supplemental inorganic and organic sources for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture Nutrition**, v. 11, n. 4, p. 273-281, 2005.
- SAS-Statistical Analysis Systems Institute. **SAS®/STAT user's guide**: version 6. 4. ed. Cary: SAS Institute Inc., 1995.
- SUGIURA, S. H.; DONG, F. M.; RATHBONE, C. K. Apparent protein digestibility and mineral availabilities in various feed ingredients for salmonid feeds. **Aquaculture**, v. 159, n. 3-4, p. 177-202, 1998.
- WALDROUP, P. W.; KERSEY, J. H. Nutrient composition of cottonseed meal surveyed. **Feedstuffs**, v. 4, n. 1, p. 11-22, 2002.
- WEDEGAORTNER, T. C. Making the most of cottonseed meal. **Feed Management Magazine**, v. 32, n. 9, p. 1-3, 1981.

Received on November 29, 2007.

Accepted on March 24, 2009.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.