

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

DIGESTIBILIDADE E DESEMPENHO DE TILÁPIAS DO NILO
(*Oreochromis niloticus*) UTILIZANDO FARINHA DE PENAS
SUBMETIDA A DIFERENTES TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO

Autor: Tadeu Orlandi Xavier
Orientador: Prof. Dr. Wilson Massamitu Furuya
Co-orientador: Prof. Dr. Wilson Rogério Boscolo

Maringá
Estado do Paraná
Fevereiro – 2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

DIGESTIBILIDADE E DESEMPENHO DE TILÁPIAS DO NILO
(*Oreochromis niloticus*) UTILIZANDO FARINHA DE PENAS
SUBMETIDA A DIFERENTES TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO

Autor: Tadeu Orlandi Xavier
Orientador: Prof. Dr. Wilson Massamitu Furuya
Co-orientador: Prof. Dr. Wilson Rogério Boscolo

Tese apresentada como parte das exigências para obtenção do título de DOUTOR EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá - Área de concentração Produção Animal.

Maringá
Estado do Paraná
Fevereiro – 2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)

X3d Xavier, Tadeu Orlandi
Digestibilidade e desempenho de Tilápias do Nilo
(Oreochromis niloticus) utilizando farinha de penas
submetidas a diferentes tecnologias de produção /
Tadeu Orlandi Xavier. -- Maringá, 2015.
74 f. : il., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Wilson Massamitu Furuya.
Coorientadora: Prof. Dr. Wilson Rogério Boscolo.
Tese (doutorado em Zootecnia) - Universidade
Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias,
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia 2015.

1. Tilápia do Nilo (Oreochromis niloticus) -
Aminoácidos 2. Tilápia do Nilo (Oreochromis
niloticus) - Farinha de penas. 3. Tilápia do Nilo
(Oreochromis niloticus) - Nutrição. 4. Tilápia do
Nilo (Oreochromis niloticus) - Digestibilidade e
desempenho. 5. Tilápia do Nilo (Oreochromis
niloticus) - Coproduto industrial. I. Furuya, Wilson
Massamitu, orient. II. Boscolo, Wilson Rogério,
coorient. III. Universidade Estadual de Maringá.
Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-
Graduação em Zootecnia. IV. Título.

CDD 21.ed.639.37

Zss-2039



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

**DIGESTIBILIDADE E DESEMPENHO DE TILÁPIAS DO
NILO (*Oreochromis niloticus*) UTILIZANDO FARINHA
DE PENAS SUBMETIDA A DIFERENTES
TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO**


Autor: Tadeu Orlandi Xavier
Orientador: Prof. Dr. Wilson Massamitu Furuya

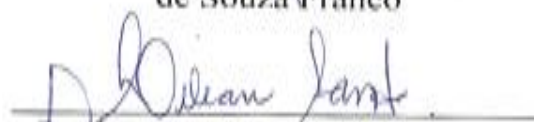
TITULAÇÃO: Doutor em Zootecnia - Área de Concentração Produção
Animal


APROVADA em 23 de fevereiro de 2015.


Prof.^ª Dr.^ª Simara Márcia Marcato


Prof.^ª Dr.^ª Maria Luiza Rodrigues
de Souza Franco


Prof. Dr. Fábio Bittencourt


Prof.^ª Dr.^ª Lilian Dena dos Santos


Prof. Dr. Wilson Massamitu
Furuya
(Orientador)

“Quanto mais aumenta nosso conhecimento, mais evidente fica nossa ignorância.”

(John F. Kennedy)

Aos meus pais, Angelina Sofia Orlandi e Hamilton Vila Xavier,

por todo apoio, carinho, incentivo, confiança, por acreditarem em mim, neste caminho em que segui e por todos os ensinamentos que passaram ao longo de toda minha vida. Obrigado por serem um exemplo a seguir. Meu eterno respeito, gratidão, admiração e amor. Esse título é de vocês;

A meus irmãos, Leandro e Rafael Orlandi Xavier,

pelo apoio, por tudo que passamos juntos esses anos e a parceria. Obrigado por me acompanharem nessa etapa.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me presentear todos os dias de minha vida;

À Universidade Estadual de Maringá (UEM), ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia (PPZ) e ao Departamento de Zootecnia (DZO);

Ao CNPq pelo auxílio da bolsa, processo 141289/2012-0;

Aos meus pais, mais uma vez, Hamilton Vila Xavier e Angelina Sofia Orlandi, os quais sem a presença ativa, nada disso teria acontecido;

Aos meus irmãos, Leandro Orlandi Xavier e Rafael Orlandi Xavier, à Ana Priscilla Vendramini e aos amigos, com os quais dividi não somente a moradia, mas também dificuldades e alegrias durante minha pós-graduação;

Ao Professor, orientador e amigo, Dr. Wilson Massamitu Furuya, pela confiança em meu trabalho, pelos ensinamentos que levarei para minha vida e profissão, pela amizade e incentivo;

Ao Professor, co-orientador e amigo, Dr. Wilson Rogério Boscolo, por todas as dicas, serenidade e bondade sempre presentes, ensinamentos e incentivo na pesquisa;

Aos professores da UEM que, em geral, contribuíram para os meus estudos e aprendizagem;

Aos amigos do Grupo, Mariana Michelato, Themis Sakaguti, Lorena Batista, Luiz Vitor Oliveira Vidal, Daniel Campello, Dacley Neu e Jackeline Dallagnol, pela ajuda durante a realização dos trabalhos, pelo apoio profissional e pessoal e por incontáveis ensinamentos;

Ao colega de profissão e amigo, Rafael Lopes, pela recepção, hospedagem e ajuda na realização das análises concluídas na cidade de Botucatu;

Aos funcionários da CODAPAR, Vitor Moisés Honorato, Cleiton Wellington dos Santos e José Geraldo, pela ajuda na montagem e durante o experimento;

À Empresa Poli Nutri – Nutrição Animal – Maringá, Paraná, pela doação das farinhas de penas;

À Ajinomoto do Brasil Indústria e Comércio de Alimentos LTDA – Animal Nutrition, pela parceria na realização deste projeto, em especial ao Edgar Ishikawa e Marianne Kutschenko, pela doação dos aminoácidos e análises laboratoriais;

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste, *campus* de Toledo, pela estrutura disponibilizada na confecção das rações, em especial a todo o grupo GEMaQ;

À Universidade Estadual Julio de Mesquita Filho – UNESP, *campus* de Botucatu, pela estrutura disponibilizada para realização da leitura de crômio, em especial ao Professor Luiz Edivaldo Pezzato e todos seus orientados;

MUITO OBRIGADO...

BIOGRAFIA

Tadeu Orlandi Xavier, filho de Angelina Sofia Orlandi e Hamilton Vila Xavier, nasceu em São Carlos – SP, no dia 28 de outubro de 1983.

Em março de 2004, ingressou no curso de Zootecnia da Universidade Júlio de Mesquita Filho - UNESP *campus* de Botucatu. Em dezembro de 2008, concluiu a graduação, obtendo o título de Zootecnista.

Em fevereiro de 2009, ingressou no Programa de Pós-Graduação nível mestrado em Zootecnia, na Universidade Estadual de Maringá, sendo que em março de 2011 obteve o grau de Mestre.

Em março de 2011 ingressou no Programa de Pós-Graduação nível doutorado em Zootecnia, na Universidade Estadual de Maringá, e em fevereiro de 2015 obteve o grau de Doutor.

ÍNDICE

	Página
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
CAPÍTULO I	
Introdução Geral	12
Tilápia do Nilo	13
Sistema digestório de peixes	15
Metabolismo protéico e lipídico	16
Farinha de penas hidrolisada	18
Coeficiente de digestibilidade aparente	22
Conclusão da revisão	23
Referências bibliográficas	24
CAPÍTULO II	
Coeficientes de digestibilidade aparente da energia, proteína e aminoácidos da farinha de penas elaborada por diferentes processos tecnológicos para dietas de tilápia do Nilo	34
Resumo	34
Introdução	35
Material e Métodos	36
Resultados	40
Discussão	41
Referências	47
CAPÍTULO III	

Desempenho produtivo de juvenis de tilápia do Nilo alimentados com farinhas de penas submetidas a diferentes processos tecnológicos	59
Resumo	59
Introdução	60
Material e Métodos	61
Resultados	63
Discussão	63
Referências	66
CONSIDERAÇÕES FINAIS	75

LISTA DE TABELAS

Página

CAPÍTULO II

TABELA 1. Composição físico-química da dieta referência.....	53
TABELA 2. Composição físico-química (g/kg) das rações teste	54
TABELA 3. Composição físico-química (g/kg) das farinhas de penas (base em matéria natural).....	55
TABELA 4. Coeficientes de digestibilidade aparente (%) da energia bruta e proteína bruta e coeficiente de absorção aparente (%) dos aminoácidos das farinhas de penas testadas.....	56
TABELA 5. Efeito da pressão, tempo de hidrólise e interação pressão e tempo sobre os coeficientes de absorção aparente dos aminoácidos das farinhas de penas	57
TABELA 6. Valores de proteína digestível, energia digestível e aminoácidos digestíveis (g/kg) das farinhas de penas (na base de matéria natural).....	58

CAPÍTULO III

TABELA 1. Composição físico-química (g/kg) das farinhas de penas utilizadas.....	70
TABELA 2. Formulação (g/kg) da ração referência	71
TABELA 3. Composição físico-química (g/kg) das rações experimentais, com inclusão de farinha de penas com diferentes processos tecnológicos, para juvenis de tilápias do Nilo (matéria natural)	72
TABELA 4. Desempenho zootécnico dos juvenis de tilápias do Nilo alimentados com dietas com inclusão de 10% de farinha de penas elaboradas com variação de pressão e tempo de hidrólise	73
TABELA 5. Composição físico-química dos juvenis de tilápias do Nilo alimentados com dietas com inclusão de 10% de farinha de penas elaboradas com variação de pressão e tempo de hidrólise (matéria natural).....	74

RESUMO

Dois experimentos foram conduzidos para determinar os coeficientes de digestibilidade aparente da energia e nutrientes; coeficientes de absorção aparente dos aminoácidos essenciais e não essenciais da farinha de penas e, por fim, o desempenho produtivo de juvenis de tilápias do Nilo alimentados com farinha de penas (FP) submetida a diferentes tempos e pressões durante a hidrólise. No primeiro experimento, foram utilizados 240 juvenis de tilápias do Nilo ($24,53 \pm 3,11$ g), distribuídos em oito aquários de fibra de vidro, com capacidade de 200 litros cada. Foi elaborada uma dieta referência e oito dietas teste. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2×4 , composto por FP submetidas a duas pressões (2,5 e 3,5 kgf/cm²) e quatro tempos de cozimento (10, 20, 30 e 40 minutos). Com exceção da leucina, ácido glutâmico, alanina, cistina, glicina e tirosina, foi observada interação significativa para os coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta, energia bruta e coeficientes de absorção dos aminoácidos, sendo os melhores resultados encontrados nos animais alimentados com dieta contendo FP processada por 20 minutos a 3,5 kgf/cm². No segundo experimento, com duração de 50 dias, foram utilizados 400 peixes ($6,90 \pm 0,20$ g), distribuídos em 16 aquários de plástico com capacidade de 500 litros cada. Foram elaboradas quatro dietas extrusadas, com inclusão de 10% de farinha de penas. O experimento foi realizado em esquema fatorial 2×2 , sendo duas pressões (2,5 e 3,5 kgf/cm²) e dois tempos de cozimento (20 e 30 minutos). Não foram observadas diferenças significativas ($P > 0,05$) sobre o ganho em peso, conversão alimentar, taxa de eficiência proteica, retenção de proteína e composição corporal dos peixes. Concluiu-se que para coeficientes de digestibilidade aparente e de absorção aparente da farinha de penas, assim como para desempenho zootécnico, recomenda-se hidrólise com cozimento durante 20 minutos a 3,5 kgf/cm² para utilização em dietas de juvenis de tilápia do Nilo.

Palavras-chave: aminoácidos, cozimento de penas, nutrição, peixe, técnica de processamento de farinhas.

ABSTRACT

Two experiments were conducted to determine the apparent digestibility coefficients of energy and nutrients as well as apparent absorption coefficients of essential and nonessential amino acids of feather meal and the productive performance of juvenile tilapia fed feather meal submitted to different pressures and different times during the hydrolysis process. In the first experiment, 240 juveniles of Nile tilapia (24.53 ± 3.11 g), were distributed into eight fiberglass tanks of 200 liters each. A reference diet and eight test-diets were elaborated. A completely randomized design in a 2 x 4 factorial arrangement composed by feather meal subjected to two pressures (2.5 and 3.5 kgf/cm²) and four cooking times (10, 20, 30 and 40 minutes), respectively, was used. Except for leucine, glutamic acid, alanine, cystine, glycine, and tyrosine, significant interaction for apparent digestibility coefficients of crude protein gross energy and apparent absorption coefficients of amino acids were observed; where higher apparent digestibility coefficients and apparent absorption coefficients in feather meal submitted to hydrolysis during 20 minutes at 3.5 kgf /cm² were observed. In the second experiment, during 50 days, 400 fish (6.90 ± 0.20 g), were distributed to 16-500 L plastic aquaria. Four extruded diets with 10% of feather meal were elaborated. A complete randomized design in a 2 x 2 factorial arrangement, composed of two pressures (2.5 and 3.5 kgf/cm²) and two cooking times (20 and 30 minutes) of feather meal was used. No significant differences on weight gain, feed conversion, protein efficiency rate, protein retention and body composition of the fish were observed. It was concluded that considering growth performance, higher apparent digestibility coefficients and apparent absorption coefficients is obtained in feather meal submitted to 20 minutes at 3.5 kgf/cm² during hydrolysis, what is recommended in diets for juvenile Nile tilapia.

Keywords: amino acids, feather cooking, nutrition, fish, processing meal technique.

Capítulo I

Introdução Geral

No Brasil o crescimento da aquicultura está vinculado à produção de tilápias, em tanques-rede e em viveiros escavados, representando cerca de 46% de toda a produtividade aquícola continental no ano de 2011 (MPA, 2014).

A alimentação é responsável por mais de 70% dos custos de produção e os estudos sobre avaliação de alimentos e determinação das exigências nutricionais são importantes para elaboração de dietas de mínimo custo e que permitam o máximo desempenho e saúde dos peixes. Pela variedade de alimentos com composição e valor nutritivo diferenciados, é importante considerar o balanceamento de todos os aminoácidos (Cyrino e Fracalossi, 2013).

Em função do crescente mercado de produção de rações, é necessário disponibilizar grandes variedades de alimentos proteicos e energéticos de qualidade, para atender a demanda nutricional para peixes produzidos em altas densidades. Assim, as farinhas de origem animal, principalmente as originadas de resíduos de abate e/ou processamento de aves, bovinos, suínos e peixes, são consideradas em rações comerciais, principalmente pela elevada disponibilidade. No entanto, o valor nutritivo é bastante variável em função da matéria prima e processamentos utilizados (Bellaver, 2009).

A quantidade total de carne de frango produzida em 2013 no mundo foi de 82,18 milhões de toneladas, sendo que o Brasil ocupou a terceira posição, com mais de 12,31 milhões de toneladas, representando uma das maiores cadeias produtivas do mundo, disponibilizando aproximadamente 1.04 milhões de toneladas de penas por ano e tornando a farinha de penas uma das matérias primas de origem animal mais abundante no mundo (UBA, 2014).

Um dos problemas encontrados na produção de farinhas é a regularidade dos valores nutricionais devido ao processamento a que são submetidas (Albino e Silva, 1996). Esta falta de regularidade pode gerar erros na formulação de dietas e déficit de

aminoácidos para suprir as exigências de aminoácidos limitantes (Portz e Furuya, 2013). Poucas são as informações sobre a utilização de farinhas de penas em dietas para tilápias, apesar de sua elevada disponibilidade. Assim, são necessários estudos sobre o valor nutritivo das farinhas em função das técnicas de processamentos utilizados, com o objetivo de padronizar o valor nutritivo e nutricional do produto, buscando viabilizar sua utilização em rações para tilápias.

Tilápia do Nilo

A tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) é originária do continente africano, amplamente difundida em países de clima tropical e subtropical (Pinheiro et al., 2006). A primeira espécie introduzida no Brasil foi a *Tilapia rendalli*, em São Paulo, meados de 1953 (Castagnolli, 1992). Posteriormente, no início dos anos 70, as tilápias do Nilo e de Zanzibar (*O. urolepis hornorum*) foram introduzidas no nordeste brasileiro, resultado de um acordo de pesquisa e desenvolvimento firmado entre o Departamento Nacional de Obras Contra Secas (DNOCS) e a Universidade de Auburn (Lovshin et al., 1976). Embora a introdução destas espécies tenha sido importante como marco histórico na aquicultura brasileira, teve pouca expressão na produção, pois o desempenho produtivo das espécies introduzidas e as limitações das tecnologias de produção e elaboração de rações dificultaram o sucesso da iniciativa (Lovshin, 2000).

A tilápia vermelha da Flórida e da linhagem Chitralada foram introduzidas no Brasil em meados de 1980 e 1990, respectivamente. Estas espécies eram próprias para o cultivo em regime intensivo e puderam demonstrar seu potencial graças ao desenvolvimento da indústria de rações para peixes. Ainda na década de 80, o grande destaque veio com a construção dos primeiros frigoríficos especializados no abate de tilápias, demonstrando que seu cultivo tornara-se uma atividade empresarial (Lovshin, 2000).

Em 1996, exemplares de tilápia do Nilo da linhagem Chitralada, originadas da Tailândia, foram repassadas a produtores dos Estados do Paraná e Rio Grande do Sul. No intuito de melhorar a produtividade, em março de 2005 na cidade de Maringá – PR, por meio de um convênio realizado entre a Universidade Estadual de Maringá e o “WorldFish Center” com o apoio da SEAP – Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca, atual Ministério de Pesca e Aquicultura (MPA), teve início o melhoramento

genético da linhagem GIFT (*Genetic Improved Farmed Tilapia*) no Brasil (Lopera-Barrero et al., 2011).

Dentre os fatores que incentivaram a disseminação da tilápia do Nilo por todo o território brasileiro, destacam-se: “maturidade sexual precoce” e facilidade na reprodução (Gama, 2008); rápido ritmo de crescimento (Lopera-Barrero et al., 2011); resistência ao manejo e variações climáticas, bem como tolerância a altas densidades de estocagem e a níveis críticos de oxigênio dissolvido (Ferreira et al., 2011). Esses peixes aceitam bem o regime intensivo de criação em viveiros, “raceways” ou tanques-redes (Beveridge e McAndrew, 2000). Quando criadas em altas densidades, demonstram hábito alimentar onívoro, aceitando alimento artificial desde a fase larval (Cyrino e Fracalossi, 2013). Apresentam boa utilização da energia e nutrientes de alimentos de origem vegetal (Takishita et al., 2009), com redução nos custos de produção pela possibilidade de inclusão destes ingredientes na alimentação (Pezzato *et al.*, 2002b) assim como pelas adaptações morfológicas e fisiológicas como dentes faríngeos, pH estomacal ácido e intestino longo (Kubarik, 1997). Além disso, a tilápia pode ser criada em água doce, salobra ou marinha (Furuya, 2010) e sua carne tornou-se conhecida e apreciada globalmente, pelas suas características de sabor suave, coloração branca e sem presença de espinhos em “Y” (Furuya et al., 2005).

Acredita-se, que em decorrência da gradual substituição das carpas por tilápias especialmente nos países asiáticos, que detêm mais de 80% da piscicultura mundial, este grupo será o principal em algumas décadas (FAO, 2014). Sua criação tem aumentado em escala linear, sendo o segundo grupo de peixes de água doce em escala de produção mundial, inferior somente ao grupo das carpas (MPA, 2014).

De acordo com os dados publicados pelo Ministério da Pesca e Aquicultura, referente ao ano de 2011, a produção de tilápias foi de 254 mil toneladas, o que correspondeu aproximadamente a 46,6% da produção de peixes de água doce no Brasil. No ano de 2010, foi a espécie mais utilizada na piscicultura brasileira (39,4%), seguido pela criação de carpa (23,9%), tambaqui (13,8%) e pacu (5,4%). Estes dados demonstram que há alguns anos a tilapicultura é responsável por mais de 50% do consumo de carne de peixe nacional (MPA, 2014).

O aumento na produtividade ocorreu devido ao apoio governamental na aquicultura, aos investimentos de piscicultores e contratação de novos técnicos, agindo em conjunto com pesquisas relacionadas ao manejo produtivo e reprodutivo, nutrição e

sanidade. Atualmente, há muitas informações específicas sobre a nutrição de tilápias no Brasil. No entanto, apesar da elevada disponibilidade de diferentes matérias primas no país, poucas são as informações sobre o valor nutritivo da farinha de penas para inclusão na alimentação de tilápias.

Sistema digestório de peixes

Os peixes possuem uma grande variedade de hábitos alimentares, podendo ser divididos em detritivos, herbívoros, carnívoros ou onívoros. Dentro dessa classificação, ainda podem ser subdivididos de acordo com a variedade de alimentos que constituem sua dieta. Assim, os peixes apresentam diversas adaptações do sistema digestório, conforme a especialização requerida para ingerir, digerir e absorver os diferentes tipos de alimentos. O trato digestório dos peixes inicia na boca e termina no orifício anal, não sendo separado em intestino delgado e grosso como nos mamíferos, mas em intestino proximal e distal (Baldisserotto, 2013).

As modificações na estrutura anatômica do intestino, assim como seu comprimento, dependem do hábito alimentar da espécie. Os peixes herbívoros apresentam intestino longo e os carnívoros possuem o intestino curto (Kapoor et al., 1975). Por ter um hábito alimentar onívoro, a tilápia do Nilo possui intestino longo em relação ao tamanho do seu corpo, o que favorece a absorção de nutrientes (Baldisserotto, 2013).

Os processos digestivos têm início na boca e na cavidade faríngea, com a redução mecânica das partículas do alimento. Esse processo aumenta a superfície de contato das partículas e melhora a digestão enzimática (Cyrino e Fracalossi, 2013). Nos peixes, o estômago é responsável pelo armazenamento e degradação física e enzimática inicial do alimento ingerido (Grosell et al., 2011). Em peixes com estômago funcional, o baixo pH contido nele e a pepsina desnaturam a maioria das proteínas da dieta, quebrando ligações peptídicas e liberando pequenas cadeias polipeptídicas para a digestão final no intestino (Lovell, 1998).

No intestino proximal, ocorre a maior parte da absorção dos nutrientes, íons e água oriundos da dieta, bem como de nutrientes em suas formas menores (monossacarídeos, aminoácidos e ácidos graxos) (Cyrino e Fracalossi, 2013). Nos

peixes, além da função de digestão e absorção, o intestino pode desempenhar outros papéis, como auxiliar na osmorregulação (Baldisserotto, 2013).

As proteínas da dieta são hidrolisadas no trato digestório pela ação de proteinases e peptidases, e convertidas em aminoácidos ou peptídeos de cadeias curtas. A hidrólise completa é efetuada quando os peptídeos intracelulares chegam ao enterócito. A absorção dos aminoácidos no intestino proximal pode ocorrer por transporte passivo ou ativo (Hepher, 1988).

A absorção dos aminoácidos livres ocorre por meio de transportadores específicos dependentes de Na^+ , não dependentes de Na^+ , e por difusão (Rotta, 2003). Este transporte é dependente de um gradiente formado por um sistema de transporte ativo, usualmente a bomba de Na^+/K^+ , criando um gradiente de sódio favorável à sua entrada no enterócito. Desse modo, o Na^+ entra no enterócito e, como o transportador só funciona se houver um aminoácido conectado, acaba por carregar ambos para dentro da célula. No interior do enterócito, o aminoácido passa por difusão para os capilares sanguíneos existentes nas vilosidades intestinais (Baldisserotto, 2013).

A absorção de peptídeos maiores ocorre na porção distal do intestino, provavelmente por endocitose, sendo posteriormente hidrolisadas a aminoácidos no citosol dos enterócitos antes de entrarem na corrente sanguínea (Baldisserotto, 2013). Este processo ocorre independentemente do tipo de dieta e da idade do animal (Rotta, 2003).

Metabolismo proteico e lipídico

Os aminoácidos livres são distribuídos e carregados pela corrente sanguínea e podem ser metabolizados na biossíntese de novas proteínas funcionais, estruturais ou substituição de outros tecidos (anabolismo); ou desaminado para produzir esqueleto de carbono, utilizado como fonte de energia ou lipogênese (catabolismo) (Hepher, 1988).

Os aminoácidos podem ser oriundos da proteína dietética e da mobilização da proteína corporal, são moléculas exigidas continuamente pelos organismos vivos e desempenham importante papel estrutural e metabólico, sendo constituinte do organismo em todas as etapas de desenvolvimento, responsáveis pela formação de enzimas e hormônios. Os quatro aminoácidos mais limitantes em peixes são: lisina, metionina, treonina e triptofano (NRC, 2011).

Os aminoácidos não são armazenados e quando estão em excesso são desaminados, liberando amônia para excreção e outros compostos nitrogenados para oxidação e produção de energia (Lundstedt, 2003). Em peixes, os maiores locais de desaminação são o fígado, rins e brânquias (Fauconneau, 1985).

O produto final do catabolismo proteico dos peixes é a amônia, que é tóxica e rapidamente é retirada do sangue pelas brânquias, através do grande fluxo de água que passa por essa estrutura, e pelas fezes, prevenindo o acúmulo nos tecidos. A amônia excretada na água requer menos energia para ser eliminada do que a ureia ou ácido úrico (Lundstedt, 2003). Em teleósteos, a amônia representa cerca de 80% do total da excreção de nitrogênio, sendo influenciada principalmente por fatores relacionados com a quantidade e qualidade da dieta fornecida (Chakraborty & Chakraborty, 1998). Assim, torna-se importante avaliar estes parâmetros em uma dieta para evitar adição em excesso de nutrientes que contribuirão de forma imprópria para o peixe e principalmente para o meio ambiente.

As proporções entre proteínas anabolizadas e proteínas catabolizadas dependem da exigência do peixe, do conteúdo de proteína da dieta, da composição em aminoácidos, da exigência energética e da quantidade de energia disponível a partir de outras fontes (lipídios e carboidratos) (Lundstedt, 2003). Assim, a quantidade de lipídios e carboidratos são importantes para obtenção de energia na dieta e também sua proporção com a proteína que deve ficar em torno de 9,13 e 14,3 kcal ED g⁻¹ de PD (Boscolo et al., 2006), garantindo a redução do catabolismo e da excreção de amônia para o meio aquático.

Os carboidratos vegetais são classificados em polissacarídeos de reserva (amido) e polissacarídeos estruturais (ou não amiláceos), sendo que o amido constitui a principal reserva de energia dos vegetais (Voet e Voet, 2006). Embora no ambiente natural aquático as fontes de carboidratos sejam relativamente escassas, em geral, as espécies onívoras e herbívoras conseguem utilizar de forma eficiente os monossacarídeos (Cyrino e Fracalossi, 2013).

Outro nutriente ligado ao fornecimento de energia aos peixes são os lipídios, um grupo de substâncias caracterizadas vulgarmente pela sua insolubilidade em água, que somados às proteínas, são os principais constituintes orgânicos dos tecidos corporais (Cyrino e Fracalossi, 2013).

Após a ingestão, no intestino, os lipídios sofrem a ação dos sais biliares separando-os em pequenos glóbulos de gorduras chamados micelas. A formação das micelas auxilia a solubilização dos produtos da digestão lipídica, facilitando a atuação de enzimas. Assim, os lipídios são absorvidos principalmente como monoglicerídeos e ácidos graxos (Baldisserotto, 2013).

Os ácidos graxos de cadeia curta são absorvidos para o enterócito por difusão, e através da bicamada lipídica chegam à corrente sanguínea. Porém, os ácidos graxos de cadeia longa e monoglicerídeos dependem das micelas para chegar ao enterócito, atravessando a membrana apical por difusão ou proteínas transportadoras. Dentro do enterócito, haverá uma ressíntese de triglicerídeos que juntamente com lipoproteínas, colesterol, fosfolipídios e vitaminas lipossolúveis, formarão os quilomícrons, e assim transportado até a corrente sanguínea com ajuda de proteínas transportadoras por exocitose (Baldisserotto, 2013).

Farinha de penas hidrolisada

As tilápias apresentam hábito alimentar onívoro, podendo ser alimentadas com rações formuladas e processadas exclusivamente com ingredientes de origem vegetal. Entretanto, a farinha de origem animal é comumente utilizada em rações comerciais para obter melhor balanceamento de aminoácidos (Cyrino e Fracalossi, 2013).

Em função do crescente mercado de produção de rações, é necessário disponibilizar grandes quantidades de alimentos proteicos para atender a elevada demanda de rações para peixes produzidos em altas densidades. Neste cenário, a farinha de penas ganha cada vez mais espaço com seu alto teor de proteína, principalmente por ser subproduto e resíduo do abate de aves, evitando problemas de poluição ambiental e contribuindo com a redução de custos na cadeia produtiva.

As indústrias de processamento de subprodutos de origem animal, chamadas de graxarias, tem a função de processar os resíduos provenientes do frigorífico, produzindo farinhas para rações animais (Barros, 2007). A utilização destas farinhas é uma alternativa politicamente correta a ser aplicada na nutrição animal, podendo ser utilizadas para reduzir custos com a alimentação.

As graxarias apresentam dificuldades em adotar um padrão contínuo no material produzido devido à variação nos valores da composição da matéria prima, deterioração

microbiana (Aldrich et al., 2007) e tipo de constituintes utilizados para compor as farinhas de origem animal (Nascimento, 2000). A contaminação bacteriana, características sensoriais e presença de poliaminas também influenciam diretamente a sua qualidade e a conseqüentemente da ração (Butolo, 2010).

A legislação nacional não proíbe sua utilização, porém os abatedouros devem se adequar às normas de produção e inspeção higienicossanitárias impostas pelos órgãos reguladores para obtenção de uma matéria prima de qualidade (Bellaver, 2005).

Assim, medidas de fiscalização e controle de resíduos foram tomadas por meio da lei 6.198 (Brasil, 1974) e o subseqüente decreto 76.986 (Brasil, 1976), revogado pelo decreto 6.296 (Brasil, 2007), juntamente as instruções normativas IN 04/2007 - Regulamento técnico sobre as condições higienicossanitárias e de boas práticas de fabricação para estabelecimentos fabricantes de produtos destinados à alimentação animal; e IN 09/2010 - Registro de estabelecimento produtor de farinhas e produtos gordurosos destinados à alimentação animal e registro do comércio de farinhas e produtos gordurosos destinados à alimentação animal obtidos de estabelecimentos que processam resíduos não comestíveis de animais; descritas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, definem as normas de inspeção e fiscalização de produtos de origem animal destinados à alimentação animal no Brasil.

A produção de subprodutos avícolas se baseia no rendimento em peso vivo da carcaça de frangos, aproximadamente 75%, sem absorção de chiller. Enquanto que os miúdos (coração, fígado, moela e pés) somam cerca de 8% do peso da ave viva. Assim, o rendimento da carcaça com miúdos é de aproximadamente 83% (Laboissière, 2010), as penas (7,47%), vísceras (7,16%), condenação sanitária (1,21%), sangue (0,79%) e resíduos (0,37%)(Picchi, 1994). Por essa razão, as indústrias de subprodutos geralmente classificam suas farinhas de origem animal oriundas de frangos em apenas duas classes: farinha de penas e farinha de vísceras, ou as mesmas em suas formas mistas (Olivo et al. 2006).

Segundo o relatório anual da União Brasileira de Avicultura (UBA, 2014), no ano de 2013, a produção brasileira de frangos de corte atingiu aproximadamente 6,7 bilhões de aves abatidas. Em torno de 7,47% do peso corporal das aves é representado por penas (Picchi, 1994) e peso final médio das aves de 2,22 kg (IBGE, 2013). Calcula-se que a quantidade residual de penas seja de aproximadamente 1.038 mil toneladas/ano, viabilizando a produção, utilização e pesquisa de farinha de penas. Esses valores são

referentes apenas às farinhas de penas oriundas da produção de frangos, não levando em consideração as penas oriundas da produção de perus, entre outros.

Em função dessa produção, a farinha de penas pode ser utilizada como fonte alternativa na alimentação animal (Bellaver, 2002), respeitando a porcentagem máxima de 10% a ser adicionada a ração (Pastore et al., 2013), de forma a não causar perdas na produção, e quando a mesma apresentar custos que tornem viável sua inclusão na dieta.

Segundo Prum e Brush (2002) as penas são estruturas originadas a partir de papilas vivas da derme, constituídas estruturalmente pelo cálcio, raque, barbas e barbelas; e o processamento tecnológico dessas estruturas dará origem a farinha de penas. O conteúdo de proteína bruta da farinha de penas varia de 78 e 92%, mas possui baixa digestibilidade pelo fato da maior parte da proteína (85 a 90%) ser composta por queratina, muito resistente às enzimas proteolíticas (Scapim et al., 2003). A farinha de penas é constituída de aproximadamente 2% de extrato etéreo, 8% de umidade e 4% de matéria mineral. Apresenta elevados teores de glicina, alanina, serina, cistina e valina (Harrap e Woods, 1964), com quantidades de cistina que variam de 4,5 a 5,5%, sendo considerada uma boa fonte de aminoácidos sulfurados, mas possui baixos níveis de histidina, lisina e metionina (Butolo, 2010).

A farinha de penas hidrolisada é um subproduto resultante da cocção pressurizada de penas limpas e não decompostas, originada do abate de aves, sendo permitida a participação de sangue, desde que não altere significativamente a sua composição média. O teor de gordura na farinha de penas é um indicador da sua qualidade, sendo que níveis acima de 5% indicam “contaminação” com outros tecidos animais (ANFAR, 2005).

Para realização da hidrólise, são utilizados digestores, equipamentos mecânicos, que permitem realizar a cocção das penas. O digestor contém uma abertura superior para carregamento das penas e uma abertura inferior para descarregamento. O excesso de umidade do produto resultante pode provocar o aumento de fungos e bactérias, acidificação e rancificação das farinhas de penas durante o período de armazenamento, mas este fator pode ser controlado através dos secadores. Ao final, o produto terá sua granulometria padronizada passando pelo processo de moagem (Fonseca, 1991).

A farinha de penas crua na alimentação pode trazer danos à criação de animais, devido à baixa disponibilidade de seus nutrientes. A baixa digestibilidade da proteína é atribuída à ocorrência de pontes de hidrogênio, interações hidrofóbicas dentro da

molécula de queratina, pontes de dissulfeto presentes na cistina e ao empacotamento das cadeias de proteínas nas formas de α e β queratina, o que proporciona alta estabilidade da proteína e atribuem uma baixa digestibilidade à farinha de penas (Nascimento et al., 2000).

A farinha de penas apresenta alto índice de cistina em sua composição, de 4,5 a 5,5% (Butolo, 2010), favorecendo a formação de pontes de dissulfeto e apresentando alto índice de ligações intercadeias. A presença de glicina e alanina, aminoácidos de cadeia R curta, proporciona maior proximidade entre as ligações e também auxilia na baixa digestibilidade (Nelson e Cox, 2011). Além disso, é rica em resíduos hidrofóbicos, alanina, valina, leucina, isoleucina e fenilalanina, aumentando a insolubilidade e dificultando a hidrólise proteica (Campbell e Farrell, 2008).

O valor nutritivo da farinha de penas pode ser aumentado por meio de hidrólise da queratina a partir do cozimento a vapor e sob pressão. A pressão utilizada no cozimento influencia os teores de cistina, pela sua conversão em lantionina, ocorrendo perda de 50% do enxofre nesse processo (Robbins et al., 1980) ou pela quebra da cistina, formando duas moléculas de cisteína, enfraquecendo as ligações entre as alfa hélices e beta camadas da queratina (Nelson e Cox, 2011; Campbell e Farrell, 2008). Os níveis de lantionina estão em torno de 20 a 30% do valor total da cistina e há indícios de que a lantionina esteja diretamente relacionada com a baixa digestibilidade da farinha de penas (Butolo, 2010).

O efeito do processamento sobre a digestibilidade da proteína e aminoácidos da farinha de penas para aves e suínos foi avaliado por diversos autores (Albino et al., 1992; Wang e Parsons, 1997; Moritz e Latshaw, 2001). O mais comum é a utilização de digestores cilíndricos com camisa de vapor e com injeção direta de vapor sob pressão de 4,0 a 4,5 kgf/cm², e tempo de cozimento das penas de 30 a 45 minutos (Holanda, 2009). O valor energético das farinhas de penas também pode ser influenciado pelo tipo de processamento utilizado (Dale, 1992; Nascimento et al., 2002).

A digestibilidade dos aminoácidos da farinha de penas e a qualidade da proteína dependem basicamente do tempo de cocção, da pressão e da secagem, fatores que variam de um sistema de processo tecnológico para outro (Sinhorini, 2013). O excessivo tempo de processamento resulta em produto com baixo valor nutritivo da proteína em consequência das perdas dos aminoácidos sulfurados (Shirley e Parson, 2000), enquanto que a insuficiência no tempo de processamento reduz o valor nutritivo

da farinha de penas pela sua hidrólise incompleta. A hidrólise parcial pode gerar produto final de baixa qualidade.

A adequada combinação entre temperatura e pressão durante o processamento da produção de farinha de penas pode influenciar a qualidade do produto final, sendo variável de acordo com os equipamentos utilizados.

A farinha de penas pode ser incluída em rações para aves e suínos na proporção de 4 – 9% da dieta sem influenciar negativamente o desempenho produtivo (Apple et al., 2003; Senkoylu et al., 2005). Em rações de peixes, pode ser incluída em até 10% para tilápias (Pastore et al., 2013) podendo chegar a 15% para truta arco íris (Bureau et al., 2000). Valores acima do citado poderão causar desbalanço na dieta e elevar a fração de aminoácidos que não é utilizada pelos peixes, resultando em elevado custo para metabolização e aumento da excreção de nitrogênio ao meio ambiente. Em peixes, destacam-se as pesquisas realizadas por Pezzato et al. (2002b) e Guimarães et al. (2008), que apresentaram valores de coeficientes de digestibilidade aparente da farinha de penas de 29,1% e 78,5%, respectivamente. Por outro lado, não foram especificadas as tecnologias do processamento utilizadas para obtenção das matérias-primas.

A inclusão de farinha de penas deve considerar somente valores de aminoácidos digestíveis e somente o valor de proteína bruta. Assim, com os avanços dos processos tecnológicos do setor de “graxaria” dos abatedouros, há a possibilidade de obtenção de farinhas de melhor valor nutritivo para inclusão em rações para organismos aquáticos.

Coefficiente de digestibilidade aparente

Os peixes, por estarem em um ambiente aquático, têm dependência direta e indireta do meio em que vivem. Por esta razão o balanceamento da dieta tem influência direta no comportamento, integridade estrutural, saúde, funções fisiológicas, reprodução e o crescimento dos peixes. A base de dados de digestibilidade dos nutrientes para peixes é uma condição para a formulação de rações precisas, para regulação e controle dos resíduos lançados no meio aquático e para obter um melhor desempenho dos animais alimentados com determinado alimento.

Os fatores considerados na avaliação de um ingrediente começam pela composição química e a variação da composição, seguida da determinação da

digestibilidade, teste de palatabilidade, dose resposta e sua incorporação à formulação de forma que não comprometa o processamento da dieta (Glencross et al., 2007).

A digestibilidade aparente é obtida pela diferença entre a quantidade de energia ou nutriente consumida e a quantidade de energia ou nutriente excretada nas fezes, sendo a digestibilidade verdadeira diferenciada pela correção, considerando a presença de materiais de origem endógena ou metabólica nas fezes (Sakomura e Rostagno, 2007), entretanto em peixes a diferença entre digestibilidade aparente e verdadeira pouco influencia nas práticas de alimentação (NRC, 2011). O termo digestibilidade é utilizado quando o nutriente é digerido ou “quebrado” em partículas menores para sua absorção, assim, a proteína é digerida a aminoácidos, os quais são absorvidos (Baldisserotto, 2013).

Várias metodologias e estruturas têm sido utilizadas para determinar os coeficientes de digestibilidade aparente de ingredientes e rações para peixes. Dentre os métodos mais empregados, estão os de extrusão do conteúdo final do intestino, dissecação da porção distal do intestino, sucção mecânica anal e método de Guelph (Pezzato et al., 2002a).

O método de Guelph é o mais utilizado e consiste em um aquário cilíndrico de fundo cônico onde as fezes decantam em direção ao tubo coletor, onde ficam depositadas e posteriormente coletadas (Sakomura e Rostagno, 2007). Para obter os valores da digestibilidade ou absorção aparente são usados indicadores, compostos indigestíveis, preferencialmente de fácil determinação e fornecidos com o alimento, sendo posteriormente identificados e quantificados nas fezes (Owes e Hanson, 1992).

Na maioria dos estudos de digestibilidade é feita uma dieta prática, chamada de dieta-referência (Glencross et al., 2007) e uma dieta teste, contendo 70% da dieta referêcia e 30% do ingrediente a ser testado. Assim, as diferenças entre a dieta-referência e a teste são devido ao ingrediente testado e contabilizado no cálculo da digestibilidade do mesmo (Cho e Slinger, 1979).

A composição centesimal é o primeiro indício do valor nutritivo de um alimento, porém seu real valor também depende da aceitabilidade e da capacidade do animal em aproveitar os nutrientes dos alimentos (Hepher, 1988). Espécies distintas assimilam de forma diferente a energia e nutrientes dos alimentos. O método “in vivo” mais utilizado para avaliação destes valores em alimentos para animais de produção é a determinação do coeficiente de digestibilidade (Pond et al., 2005). Portanto, a determinação destes

coeficientes é de fundamental importância para adequada formulação de rações para peixes (Pezzato et al., 2004; Köprücü e Özdemir, 2005).

A formulação de dietas com base em energia, proteína e aminoácidos digestíveis é mais precisa do que a formulação com base em seus valores totais, pois gera redução do custo de produção e melhorias no desempenho e qualidade da carne (Pezzato et al., 2009).

Os peixes não possuem exigências de proteína, mas de dietas com proporções e quantidades adequadas de aminoácidos para deposição de proteína corporal (Oliva-Teles, 2000; Webster e Lim, 2002), e também da adequada relação entre energia digestível e proteína digestível (Portz e Furuya, 2013). Para adequada suplementação de aminoácidos, é necessário o conhecimento do seu valor nutritivo, utilizado para determinação das exigências nutricionais, para possibilitar aos peixes a máxima utilização da fração proteica da dieta (Furuya et al., 2010).

Assim, o conhecimento dos coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta, energia e aminoácidos das farinhas de penas submetidas à hidrólise de diferentes tempos e pressões é importante para avaliação e elaboração de dados para atender as exigências de forma que permita viabilizar economicamente a criação de tilápias.

Conclusão da revisão

O crescente mercado de cultivo de peixes demanda ingredientes para incrementar a produção de rações. Assim, a farinha de penas hidrolisada é interessante pelo seu alto teor proteico. Contudo, a inclusão da farinha de penas nas formulações de rações depende do estudo dos efeitos do processo tecnológico a que são submetidas, da digestibilidade e do seu desempenho zootécnico. Desta forma, teremos informações que permitirão a obtenção de um produto final de melhor qualidade e viável economicamente.

Referências bibliográficas

ALBINO, L. F.; ROSTAGNO, H. S.; SANT'ANNA, R.; FONSECA, J. B. Determinação dos valores de aminoácidos metabolizáveis e proteína digestível de alimentos para aves. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 21, p. 1059, 1992.

ALDRICH, G.; LYONS T. P.; JACQUES K. A. USA poultry meal: quality issues and concerns in pet foods. **Nutritional Biotechnology in the Feed and Food Industries**, p. 467, 2007.

ANFAR - Associação Nacional dos Fabricantes de Rações; MARA - Ministério da Agricultura e Abastecimento; SINDIRAÇÕES - Sindicato Nacional da Indústria de Alimentação Animal; CBNA - Colégio Brasileiro de Nutrição Animal. **Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal** - São Paulo: ANFAR BRASIL. p. 204, 2005.

APPLE, J. K.; BOGER, C. B.; BROWN, D. C.; MAXWELL, C. V.; FRIESEN, K. G.; ROBERTS, W. J.; JOHNSON Z. B. Effect of feather meal on live animal performance and carcass quality and composition of growing-finishing swine. **Journal of Animal Science**. v. 81, p. 172-181, 2003.

BALDISSEROTTO, B. **Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura**. 3. ed. Santa Maria: UFSM 352p. 2013.

BAKER, D. H. R. C.; BLUTHENTHAL, K. P.; BOEBEL, G. L.; CZARNECKI, L. L.; SOUTHERN G. M.; WILLIS. Protein-amino acid evaluation of steamed-processed feather meal. **Poultry Science**. v. 60, p. 1865-1872, 1981.

BARROS, F. D. **Reciclagem de resíduos de origem animal: um estudo qualitativo entre processos contínuos e descontínuos e a geração de odores fugitivos**. São Caetano do Sul: IMT-CEUN, 2007. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, 2007.

BELLAVER, C. Ingredientes de origem animal destinados à fabricação de rações. In: SIMPÓSIO SOBRE INGREDIENTES NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL. Campinas, SP, 2001. **Anais...** Campinas: CBNA, p. 167-190, 2001.

BELLAVER, C. Uso de resíduos de origem animal na alimentação de frangos de corte. In: SIMPÓSIO BRASIL SUL DE AVICULTURA 2, **Anais...** Chapecó: ACAVEMBRAPA. p. 6-22. 2002.

BELLAVER, C. Limitações e vantagens do uso de farinhas de origem animal na alimentação de suínos e de aves. In: **II Simpósio Brasileiro Alltech da Indústria de Alimentação Animal**, Curitiba, 2005.

BELLAVER, C. Qualidade no processamento em fábricas de farinhas e gorduras animais. In: **V Encontro Técnico Unifrango**, Maringá, 2009.

BEVERIDGE, M. C. M.; McANDREW, B. J. **Tilapias: biology and exploitation**. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, Netherlands, 493p. 2000.

BOSCOLO, W. R.; FEIDEN, A.; SIGNOR, A.; SIGNOR, A. A.; BARD, J. J.; ISHIDA, F. A., Energia digestível para alevinos de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*, L.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 3, p. 629-633, 2006.

BRASIL. 1974. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento [MAPA]. Dispõe sobre a inspeção e a fiscalização obrigatórias dos produtos à alimentação animal, e dá outras providências. **Lei N° 6.198, 26 dez. 1974**. Diário Oficial da República Federativa, Brasília, 27 dez. 1974.

BRASIL. 1976. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento [MAPA]. Regulamenta a Lei nº 6.198, de 26 de dezembro de 1974. **Decreto N° 76.986, 06 jan. 1976**. Diário Oficial da República Federativa, Brasília, 07 jan. 1976.

BRASIL. 2007. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento [MAPA]. Aprova o Regulamento da Lei nº 6.198, de 26 de dezembro de 1974, dá nova redação aos artigos. 25 e 56 do Anexo ao Decreto nº 5.053, de 22 de abril de 2004, e dá outras providências. **Lei N° 6.296, 11 dez. 2007**. Diário Oficial da República Federativa, Brasília, 12 dez. 2007. BUREAU, D. P.; HARRIS, A. M.; BEVAN, D. J.; SIMMONS, L. A.; AZEVEDO, P. A.; CHO, C. Y. Feather meals and meat and bone meals from different origins as protein sources in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* diets. **Aquaculture**, v.181(3), p. 281-291, 2000.

BUTOLO, J. E. **Qualidade de Ingredientes na Alimentação Animal**, 2. ed. Campinas: CBNA, 273p. 2010.

CAMPBELL, M. K.; FARRELL, S. O. **Bioquímica, volume 3: bioquímica metabólica**, 5. ed. São Paulo, Thomson Learning, 845p. 2008.

CASTAGNOLLI, N. **Piscicultura de água doce**. Jaboticabal: FUNEP, 189p. 1992.

CHAKRABORTY, S. C. e CHAKRABORTY, S. Effect of dietary protein level on excretion of ammonia in Indian major carp (*Labeo rohita*), fingerlings. **Aquaculture Nutrition**, v. 4, p. 47-51, 1998.

CHO, C. Y.; SLINGER, S. J. Apparent digestibility measurement in feedstuffs for rainbow trout. In: J. HALVER e K. TIEWS (editores), **Finfish nutrition and fishfeed technology**, v. 2, p. 239-247, 1979.

CYRINO, J. E. P. e FRACALOSI, D. M. **Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para aquicultura brasileira**, 1. ed. Florianópolis, Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 375p. 2013.

DALE, N. True metabolizable energy of feather meal. **Journal Applied Poultry Research**. v. 1, p. 331-334, 1992.

EISSLER, C. R. e FIRMAN, J. D. Effects of feather meal on the performance of turkeys. **Journal Applied Poultry Research**. v. 5, p. 246-253, 1996.

FAUCONNEAU, B. Protein synthesis and protein deposition in fish. In: COWEY, C. B., MACKIE, A. M., BELL, J. G. (Org.). **Nutrition and feeding fish**. London: Academic Press, p. 17-45, 1985.

FERREIRA, P. M. F.; BARBOSA, J. M.; SANTOS, E. L.; SOUZA, R. N.; SOUZA, S. R. Avaliação do consumo de oxigênio da tilápia do Nilo submetidas a diferentes estressores. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v. 6, n. 1, p. 56-62, 2011.

FONSECA, J. B.; ABÉ, P. T.; SANTANA, R.; ROSTAGNO, H. S. Determinação dos valores de energia e de aminoácidos aparentemente metabolizáveis da farinha de penas. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 20, n. 3, p. 291-297, 1991.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 07 jan. 2014.

FURUYA, W. M.; BOTARO, D.; MACEDO, R. M. G.; SANTOS, V. G.; SILVA, L. C. R.; SILVA, T. C.; FURUYA, V. R. B.; SALES, P. J. P. Aplicação do conceito de proteína ideal para redução dos níveis de proteína em dietas para tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 5, p. 1433-1441, 2005.

FURUYA, W. M. **Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias**. Toledo: GFM, 100p. 2010.

GAMA, C. S. A criação de tilápia no estado do Amapá como fonte de risco ambiental. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 3, p. 525-530, 2008.

GLENCROSS, B. D.; BOOTH, M.; ALLAN, G. L. A feed is only as good as its ingredients – a review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v. 13, p. 17–34, 2007.

GROSELL, M.; FARRELL, A. P.; BRAUNER, C. J. **The multifunctional gut of fish**. San Diego: Academic Press, 448p. 2011.

GUIMARÃES, I. G.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M. Amino acid availability and protein digestibility of several protein sources for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture Nutrition**, v.14, p. 396-404, 2008.

HARRAP, B. S. e WOODS, E. F. Soluble derivatives of feather keratin: molecular weight and conformation. **Biochemical Journal**, v. 92, n. 1, p. 19, 1964.

HEPHER, B. **Nutrition of pond fishes**. Cambridge: Cambridge University Press, 307p. 1988.

HOLANDA, M. A. C. **Avaliação nutricional da farinha de penas hidrolisadas na alimentação de frangos de corte**. 95 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - (IBGE), **Pesquisa Trimestral do Abate de Animais: terceiro trimestre de 2013**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/abate-leite-couro-ovos_201303_1.shtm> Acesso em: 03 fev. 2014.

KÖPRÜCÜ, R.; ÖZDEMİR, Y. Apparent digestibility of selected feed ingredients for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v. 250, p. 308-316, 2005.

KUBARIK, J. Tilapia on highly flexible diets. **Feed International**, v. 6, p. 16-18, 1997.

LABOISSIÈRE, M. Digestibilidade e retenção de nutrientes em rações iniciais com farinha de penas e sangue com diferentes processamentos para frangos. In: **Conferência APINCO 2010 de Ciência e Tecnologia Avícolas, 2010**, Santos-SP. Anais do Prêmio Lamas 2010. Campinas-SP: Fundação APINCO de Ciência e Tecnologia Avícolas, 2010.

LOPERA-BARRERO, N. M.; RIBEIRO, R. P.; POVH, J. A.; VARGAS MENDEZ, L. D.; POVEDA-PARRA, A. R.; DIGMAYER, M. As principais espécies produzidas no Brasil. In: **Produção de organismos aquáticos: uma visão geral no Brasil e no mundo**. Guaíba: Agrolivros, p. 143-206, 2011.

LOVELL, T. **Nutrition and feeding of fish**. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 271p. 1998.

LOVSHIN, L. L. Tilapia culture in Brazil. In: COSTA-PIERCE, B. A.; RAKOCY, J. E. (Org.). **Tilapia Aquaculture in the Americas**. Baton Rouge: The World Aquaculture Society, v. 2, p. 133-140, 2000.

LOVSHIN, L. L.; PEIXOTO, J. T.; VASCONCELOS, E. A. **Considerações ecológicas e econômicas sobre tilápia no nordeste do Brasil**. In. VARGAS, J. I.; LOUREIRO, C. G. C.; ANDRADE, R. M. (Org.). Anais do I Encontro Nacional sobre Limnologia, Piscicultura e Pesca Continental. Fundação João Pinheiro, Diretoria de Tecnologia e Meio Ambiente, Centro de Recursos Naturais. Belo Horizonte, MG, Brasil, p. 227-237, 1976.

LUNDSTEDT, L. M. **Aspectos adaptativos dos processos digestivos e metabólicos de juvenis de pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*) arraçoados com diferentes níveis de proteína e energia**. 140 f. Tese (Doutorado em Genética e Evolução) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.

MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA – MPA. **Boletim estatístico da pesca e aquicultura**. Disponível em: <<http://www.mpa.gov.br>>. Acesso em: 17 jan. 2014.

MORITZ, J. S.; LATSHAW, J. D. Indicators of nutritional value of hydrolyzed feather meal. **Poultry Science**. v. 80, p. 79-86, 2001.

NASCIMENTO, A. H. **Determinação do valor nutritivo da farinha de vísceras e da farinha de penas para aves, utilizando diferentes metodologias**. 106 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa - MG, 2000.

NASCIMENTO, A. H.; GOMES P. C.; ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, F. T.; TORRES, R. A. Composição química e valores de energia metabolizável das farinhas de penas e vísceras determinados por diferentes metodologias para aves. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 3, p. 1409-1417, 2002.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrient requirements of fish and shrimp**. Washington, D.C.: National Academy Press, 376p. 2011.

NELSON, D. L.; COX, M. M., **Lehninger princípios de bioquímica**, 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 1274p. 2011.

OLIVA-TELES, A. Recent advances in European sea bass and gilthead sea bream nutrition. **Aquaculture**, v. 8, p. 477-492, 2000.

OLIVO, R.; RABELO, R. A.; DEMARTINI, A. C. **O Mundo do Frango – Cadeia Produtiva da carne de frango**. Criciúma-SC: Imprint. p. 567-578. 2006.

PASTORE, S. C. G.; GAIOTTO, J. R.; RIBEIRO, F. A. S.; NUNES, A. J. P. Formulação de Rações e Boas Práticas de Fabricação. In: FRACALOSSO, D. M.; CYRINO, J. E. P. (Ed.). **NUTRIAQUA: Nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira**. Florianópolis: Aquabio, p. 295-346, 2013.

PEZZATO, L. E.; MIRANDA, E. C.; QUINTERO PINTO, L. G.; FURUYA, W. M.; BARROS, M. M.; MAGALHÃES ROSA, G. J.; LANNA, E. A. T. Avaliação de dois métodos de determinação de coeficientes de digestibilidade aparente com a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.). **Acta Scientiarum**, v. 24, n. 4, p. 965-971, 2002a.

PEZZATO, L. E., MIRANDA, E. C., BARROS, M. M., PINTO, L. G. Q., FURUYA, W. M. e PEZZATO A. C. Digestibilidade aparente de ingredientes pela tilápia do Nilo

(*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 4, p. 1595-1604, 2002b.

PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M.; FRACALOSSI, D. M.; CYRINO, J. E. P. Nutrição de peixes. In: CYRINO, J. E. P.; URBINATI, E. C.; FRACALOSSI, D. M.; CASTAGNOLLI, N. (Org.). **Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva**. São Paulo: Tecart, p.75-169. 2004.

PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M.; FURUYA, W. M. Valor nutritivo dos alimentos utilizados na formulação de rações para peixes tropicais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 43-51, 2009.

PICCHI, V. **Graxaria – Estrutura e Operacionalização**. In: Abate e Processamento de Frangos, Ed. Facta, p. 111-114, 1994.

PINHEIRO, L. M. S.; MARTINS, M. R.; PINHEIRO, L. A. S.; PINHEIRO, L. E. L. Rendimento industrial de filetagem de tilápia tailandesa (*Oreochromis spp.*). **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 58, n. 2, p. 257-262, 2006.

POND, W. G.; CHURCH, D. C.; POND, K. R. **Basic animal nutrition and feeding**. Hoboken: Wiley, 608p. 2005.

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: Aquabio, p. 65-77, 2013.

PRUM, R. O.; BRUSH, A. H. The evolutionary origin and diversification of feathers. **The Quarterly review of biology**, v. 77, n. 3, p. 261-295, 2002.

ROBBINS, K. R.; BAKER, D. H.; FINLEY, J. W. Studies on the utilization of lysinoalanine and lanthionine. **The Journal of Nutrition**, v. 110, p. 907-915, 1980.

ROTTA, M. A. **Aspectos gerais da fisiologia e estrutura do sistema digestivo dos peixes relacionados à piscicultura**. Corumbá: Série Documentos, Embrapa, 49p. 2003.

SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. Jaboticabal, SP: Funep, 283p. 2007.

SANTOS, A. L. S.; GOMES, A. V. C.; PESSÔA, M. F.; MOSTAFÁ, S.; CURVELLO, F. A. Níveis de inclusão de farinha de penas na dieta sobre o desempenho e características de carcaça de codornas para corte. **Acta Scientiarum Animal Science**. Maringá, v. 28, p. 27-30, 2006.

SCAPIM, M. R. S.; LOURES, E. G.; ROSTAGNO, H. S.; CECOM, P. R.; SCAPIM, C. A. Avaliação nutricional da farinha de penas e de sangue para frangos de corte submetida a diferentes tratamentos térmicos. **Acta Scientiarum Animal Sciences**. Maringá, v. 25, n. 1, p. 91-98, 2003.

SENKOYLU, N.; SAMLI, H. E.; AKYUREK, H.; AGMA, A.; YASAR, S. Performance and egg characteristics of laying hens fed diets incorporated with poultry by-product and feather meals. **Journal Applied Poultry Science Research**. v. 14, p. 542-547, 2005.

SHIRLEY, R. B.; PARSON, C. M. Effect of pressure on amino acid digestibility of meat and boné meal for poultry. **Poultry Sciences**, v. 79, p. 1775-1781, 2000.

TAKASHITA, S. S.; LANNA, E. A. T.; DONZELE J. L.; BONFIM, M. A. D.; QUADROS, M.; SOUZA, M. P. Digestible lysine levels in diets for fingerlings Nile tilapia. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 2099-2105, 2009.

UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA – (UBA) - **Relatório anual 2014**. Disponível em:
<<http://www.ubabef.com.br/files/publicacoes/8ca705e70f0cb110ae3aed67d29c8842.pdf>>
> Acesso em: 01 março2014.

VOET, D.; VOET, J., **Bioquímica**. 3. ed. Porto Alegre, Artmed, 2006.

WANG, X.; PARSONS, C. M. Effect of processing systems on protein quality of feather meals and hog hair meals. **Poultry Science**. v. 76, p. 491-496, 1997.

WEBSTER, C. D.; LIM, C. E. **Nutrition Requirements and Feeding of Finfish for Aquaculture**. CABI Publishing Wallingford: Oxfordshire, UK, p. 1-27, 2002.

OBJETIVOS

Determinar, por meio de ensaios de digestibilidade e desempenho produtivo com tilápias do Nilo, a composição físico-química, parâmetros zootécnicos, coeficientes de digestibilidade aparente da proteína e energia, coeficientes de absorção aparente dos aminoácidos e o valor nutritivo da farinha de penas elaboradas por diferentes processos tecnológicos.

Capítulo II

Coefficientes de digestibilidade aparente da energia, proteína e aminoácidos da farinha de penas elaborada por diferentes processos tecnológicos para dietas de tilápia do Nilo¹

Resumo: O presente experimento foi realizado com o objetivo de determinar os coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) da proteína e energia e o coeficiente de absorção aparente (CAA) dos aminoácidos de farinha de penas submetida a diferentes processamentos. Foram utilizados 240 juvenis de tilápia do Nilo (24,53 ±3,11g), distribuídos em oito aquários de fibra de vidro com capacidade de 200 litros cada. Foram elaboradas nove dietas extrusadas, sendo uma dieta referência e oito dietas testes compostas por 70% da dieta referência e 30% do alimento teste. O experimento foi realizado em esquema fatorial 2 x 4, sendo duas pressões (2,5 e 3,5 kgf/cm²) e quatro tempos de cozimento (10, 20, 30 e 40 minutos). Para a determinação dos coeficientes de digestibilidade aparente da energia e proteína e coeficientes de absorção aparente dos aminoácidos foi utilizado o método de Guelf modificado e óxido de crômio III (Cr₂O₃) como indicador. Com exceção da leucina, ácido glutâmico, alanina, cistina, glicina e tirosina, foi observada interação significativa (P<0,05) entre pressão e tempo de hidrólise das farinhas de penas para os coeficientes de digestibilidade aparente da energia bruta e proteína bruta e coeficientes de absorção aparente dos aminoácidos, sendo os melhores resultados encontrados nos animais alimentados com dieta contendo farinha de penas processada por 20 minutos a 3,5 kgf/cm². Concluiu-se que o processo tecnológico para produção da farinha influencia em sua digestibilidade, sendo recomendada hidrólise por cozimento durante 20 minutos a 3,5 kgf/cm² para utilização na alimentação de juvenis de tilápia do Nilo.

Palavras-chave: resíduos do abate de aves, nutrição de peixes, *Oreochromis niloticus*, valor nutritivo da farinha.

¹ Artigo redigido de acordo com as normas do periódico científico *Journal of the World Aquaculture Society*.

Introdução

De hábito alimentar onívoro, as tilápias utilizam eficientemente a energia e os nutrientes dos alimentos de origem animal e vegetal, possibilitando maior flexibilidade na formulação de rações (Cyrino e Fracalossi 2013). As tilápias se destacam pela rusticidade ao manejo, boa adaptação ao clima e ambiente, elevada taxa de crescimento e carne de boa aceitação pelo consumidor, pois não possuem espinhas intramusculares em “Y” em seu filé (Popma e Masser 1999).

A proteína dietética é o nutriente de maior custo em dietas para organismos aquáticos. Os peixes, em relação às aves e mamíferos, possuem elevadas exigências de proteínas e aminoácidos (Baldisserotto 2013). Os aminoácidos essenciais são exigidos dieteticamente para atender às demandas fisiológicas e imunológicas dos animais (NRC 2011), pois são precursores de enzimas, hormônios, anticorpos e possuem importante papel estrutural e metabólico (Nelson e Cox, 2011). Devido ao elevado custo da farinha de peixe, os nutricionistas têm avaliado fontes alternativas de proteína de origem animal.

A farinha de penas é um subproduto resultante do cozimento, sob pressão, de penas não decompostas, originadas do abate de aves, pois a farinha de penas crua na alimentação pode trazer danos à criação de animais, devido à baixa disponibilidade de seus nutrientes. Neste cozimento, chamado de hidrólise, os digestores, por meio da pressão, quebram a proteína das penas aumentando sua absorção pelo animal (Sinhorini, 2013).

Pela elevada produção de aves no Brasil, há disponibilidade de farinha de penas, um alimento utilizado como fonte proteica de origem animal com elevadas proporções de glicina, alanina, serina, cistina e valina (Harrap e Woods 1964). O conteúdo de proteína bruta da farinha de penas varia de 78 e 92%, mas possui baixa digestibilidade pelo fato da maior parte da proteína (85 a 90%) ser composta por queratina (Butolo 2010).

A determinação dos coeficientes de digestibilidade aparente da energia (CDA) e nutrientes e dos coeficientes de absorção aparente (CAA) dos aminoácidos é importante para formulação de rações para peixes (Köprücü e Özdemir 2005). A digestibilidade dos aminoácidos da farinha de penas e a qualidade da proteína dependem basicamente do processo tecnológico utilizado (Sinhorini, 2013).

Ainda que exista elevada correlação entre os valores médios de CDA da proteína e do CAA dos aminoácidos, é importante determinar a digestibilidade individual dos aminoácidos, pois o CDA da proteína nem sempre reflete a digestibilidade dos aminoácidos (Furuya 2010). Poucas são as informações sobre a influência do processamento das farinhas de penas no seu valor nutritivo para peixes. Assim, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de determinar os CDA da energia, proteína e CAA dos aminoácidos de farinhas de penas submetidas a diferentes processos tecnológicos para juvenis de tilápias do Nilo.

Material e Métodos

Peixes e Manejo inicial

O ensaio de digestibilidade *in vivo* foi conduzido na Estação Experimental de Piscicultura da Universidade Estadual de Maringá, UEM/Codapar, localizada no distrito de Floriano, pertencente ao município de Maringá – PR, durante 47 dias. Foram adquiridos 1000 tilápias do Nilo da linhagem GIFT (0,5 g) da Piscicultura Sgarbi, Palotina, PR, Brasil e mantidos em dois “hapas” de 1 m³, alimentados duas vezes ao dia com ração comercial extrusada (Pirá Ideal Tilápias; Guabi, Campinas, SP, Brasil) com 36% de proteína bruta, durante 60 dias até a saciedade aparente. Após atingir peso médio de 24,53 ±3,11 g, 240 juvenis foram distribuídos em oito aquários de digestibilidade para adaptação ao manejo e instalações. Ao final dos 47 dias de experimento, os peixes atingiram o peso médio de 48,90 ±5,28 g, ainda classificados como juvenis.

Dietas experimentais

As farinhas de penas foram provenientes da empresa Poli Nutri – Nutrição Animal (Poli Nutri, Maringá, PR, Brasil) constituídas por penas limpas, subprodutos resultantes do abate de aves. As penas passaram pelo processo de cocção através do aumento da temperatura e pressão que ocorre no digestor. Esta etapa do processo tecnológico de aumento de temperatura, pressão e o tempo de hidrólise foi o único diferencial na produção das farinhas de penas testadas. Após esse processo, as penas permaneceram no digestor por 80 minutos (pré-secagem), em seguida as penas passaram pelo secador primário (120°C máximo) e secador secundário (100°C máximo), seguido da moagem.

Na confecção das farinhas de penas testadas, foram utilizadas duas pressões e quatro tempos de cozimento. Assim, as farinhas de penas testadas possuíam as seguintes descrições: cozimento durante 10 minutos e pressão de 2,5 kgf/cm²; cozimento durante 20 minutos e pressão de 2,5 kgf/cm²; cozimento durante 30 minutos e pressão de 2,5 kgf/cm²; cozimento durante 40 minutos e pressão de 2,5 kgf/cm²; cozimento durante 10 minutos e pressão de 3,5 kgf/cm²; cozimento durante 20 minutos e pressão de 3,5 kgf/cm²; cozimento durante 30 minutos e pressão de 3,5 kgf/cm² e cozimento durante 40 minutos e pressão de 3,5 kgf/cm². Para a determinação dos coeficientes de digestibilidade aparente da energia e proteína e dos coeficientes de absorção aparente dos aminoácidos, foi elaborada dieta referência prática com 4.406 kcal energia bruta/kg e 273,20 g/kg de proteína bruta (NRC, 2011), tendo como indicador o óxido de crômio na proporção de 2,00 g/kg da dieta (Tabela 1).

As farinhas de penas foram adicionadas à dieta referência na proporção de 30%, constituindo as dietas teste (Tabela 2). Na confecção das rações teste, após moagem, pesagem e homogeneização (Y-mixer - TE 200/5, Tecnal, Piracicaba, SP, Brasil) dos ingredientes, foi acrescida água na proporção de 23% do peso total da ração. A mistura foi processada em extrusor de rosca simples (Ex-Micro®, Ribeirão Preto, SP, Brasil) e desidratada em estufa de ventilação forçada (TE 391-1, Tecnal) a 55°C durante 24 horas nas instalações da UNIOESTE em Toledo-PR. Foi utilizada matriz com furos de 2,3 mm de diâmetro durante a extrusão.

Manejo alimentar e Coleta de dados

As fezes foram coletadas pelo método de Guelph modificado (Pezzato et al. 2002) em oito aquários cônicos de fibra de vidro com capacidade individual de 200 L e aeração constante. Em cada aquário, foram distribuídas 30 tilápias da variedade GIFT, com peso vivo médio de 24,53 ± 3,11 g. A água utilizada no ensaio de digestibilidade foi proveniente de uma fonte natural previamente estocada em dois tanques circulares de 2000 litros cada, mantidos *indoor*, com a finalidade de evitar mudanças na temperatura e proliferação de plâncton. Os peixes foram adaptados às instalações e manejo, e alimentados com dieta referência durante sete dias, sendo que nenhuma coleta foi realizada nesse período. As rações foram fornecidas diariamente no período entre 11:00 e 17:00 horas, para retardar o início da excreção e, conseqüentemente, aproximar do horário de retirada dos coletores, diminuindo a lixiviação de nutrientes. Durante este

período de seis horas, os peixes foram alimentados a cada 30 minutos, até a saciedade aparente. Quarenta minutos após o último arraçoamento, todos os tanques foram lavados e a água totalmente renovada para que os frascos coletores fossem acoplados individualmente no fundo do aquário, às 18:30 horas. Após o período de adaptação, foi iniciada a coleta das fezes, sendo realizada inicialmente a coleta correspondente à ração referência e posteriormente duas rações-teste por período. A cada coleta, as fezes dos primeiros três dias foram desprezadas para evitar a mistura com as fezes da dieta anterior. As fezes originadas de cada dieta foram coletadas em quadruplicata, sendo considerado como repetição o “pool” de fezes coletado em cada aquário no período de cinco dias. As fezes foram coletadas às 8:00 horas da manhã, armazenadas em frascos identificados e acondicionadas em freezer a -21°C, até o final do período de coleta.

Análises laboratoriais

Ao final do período total de coleta, as fezes foram desidratadas em estufa de ventilação forçada, a 55°C durante 48h, e moídas em moinho tipo bola. As análises físico-química das farinhas de penas, das rações e das fezes foram realizadas no Laboratório de Análise de Alimentos do Departamento de Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá – DZO/UEM, de acordo com a metodologia descrita por AOAC (1995).

O conteúdo de óxido crômico das dietas e fezes foram determinados de acordo com Bremer-Neto et al. (2005), no Laboratório de Bromatologia da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Estadual Paulista, UNESP/Botucatu.

As análises de aminoácidos foram realizadas no laboratório da Ajinomoto do Brasil Indústria e Comércio de Alimentos Ltda (Ajinomoto – *Animal Nutrition Division*, São Paulo, SP, Brasil) por meio de Cromatógrafo Líquido de Alta Performance (HPLC) por hidrólise de 0,3 mg de amostra em 1 mL de 6 N HCl, durante 22 horas. A amostra obtida foi diluída em 0,02N HCl, e injetada no analisador automático de aminoácidos (Hitachi L-888, Tokyo, Japan).

Determinação dos parâmetros zootécnicos avaliados

Os coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) da energia e proteína e os coeficiente de absorção aparente (CAA) dos aminoácidos das farinhas de penas foram calculados de acordo com as expressões descritas no NRC (2011):

$$CDA \text{ ou } CAA (\%) = 100 - \left[100 \times \left(\frac{\%I_R}{\%I_F} \right) \times \left(\frac{\%N_F}{\%N_R} \right) \right]$$

Em que: CDA (%) = coeficiente de digestibilidade aparente; CAA (%) = coeficiente de absorção aparente; I_R = % de óxido de cromo na ração; I_F = % de óxido de cromo nas fezes; N_R = nutrientes na ração; N_F = nutriente nas fezes.

$$CDA_{ing} = CDA_{RT} + (CDA_{RT} - CDA_{RR}) \times \left[\left(\frac{b \times N_{RR}}{a \times N_{Ing}} \right) \right]$$

Em que: CDA_{ing} = coeficiente de digestibilidade aparente do ingrediente; CDA_{RT} = coeficiente de digestibilidade aparente da ração com o alimento-teste; CDA_{RR} = coeficiente de digestibilidade aparente da ração-referência; b = porcentagem da ração referencial; a = porcentagem do ingrediente teste; N_{RR} = nutriente na ração-referência; N_{ing} = nutriente na ração teste.

$$CAA_{ing} = CAA_{RT} + (CAA_{RT} - CAA_{RR}) \times \left[\left(\frac{b \times N_{RR}}{a \times N_{Ing}} \right) \right]$$

Em que: CAA_{ing} = coeficiente de absorção aparente do ingrediente; CAA_{RT} = coeficiente de absorção aparente da ração com o alimento-teste; CAA_{RR} = coeficiente de absorção aparente da ração-referência; b = porcentagem da ração-referência; a = porcentagem do ingrediente teste; N_{RR} = nutriente na ração-referência; N_{ing} = nutriente na ração-teste.

Delineamento estatístico

O delineamento foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 4, sendo duas pressões (2,5 e 3,5 kgf/cm²) e quatro tempos (10, 20, 30 e 40 minutos) de cozimento durante a hidrólise das farinhas de penas. Os dados foram submetidos ao teste fatorial 2 x 4 com pressão e tempo como variáveis independentes, seguido de teste de Tukey a 5% de probabilidade para verificar as diferenças entre os grupos. Não observando diferença significativa, foram analisadas separadamente as duas variáveis da pressão pelo teste *t* ao nível de 5% de probabilidade e em seguida as variáveis para

tempos também com teste de t a 5%. As análises foram efetuadas por meio do protocolo GLM do software Statistic 7.1. (Statsoft 2005).

Resultados

Observaram-se diferenças nos dados obtidos nas análises físico-químicas de energia bruta, proteína bruta, aminoácidos e extrato etéreo entre as farinhas de penas submetidas a diferentes tempos e pressões de hidrólise. As diferenças foram observadas nos teores de extrato etéreo, de 37,90 a 60,75g/kg, enquanto a proteína bruta variou de 717,00 a 778,30g/kg. Entre os aminoácidos, a cistina variou de 25,28 a 34,80g/kg, enquanto a isoleucina variou de 32,17 a 44,90g/kg (Tabela 3).

Os coeficientes de digestibilidade aparente da proteína das farinhas de penas variaram de 58,34 a 78,88% (Tabela 4). Os aminoácidos que apresentaram as maiores médias de coeficiente de absorção aparente foram: triptofano (87,94%), alanina (81,66%) e ácido glutâmico (80,58%). O ácido aspártico apresentou valores médios de coeficiente de absorção aparente de 44,48%, ficando muito abaixo dos valores apresentados pelo coeficiente de absorção aparente dos demais aminoácidos. A valina foi o aminoácido que demonstrou maior sensibilidade durante o processamento, com coeficiente de absorção aparente de 90,10% para a farinha submetida a menor pressão e tempo de hidrólise, e 43,30% na farinha com maior pressão e tempo de hidrólise.

As farinhas de penas com cozimento sob pressão de 3,5 kgf/cm² apresentaram maiores médias de coeficientes de digestibilidade aparente e coeficiente de absorção aparente, assim como o cozimento por 20 e 30 minutos apresentam maiores valores que os demais tempos, tendo a farinha de penas com cozimento durante 20 minutos e pressão de 3,5 kgf/cm² demonstrado média de valores de coeficientes de digestibilidade aparente e coeficiente de absorção aparente maiores que as demais farinhas (Tabela 4). O maior coeficiente de digestibilidade aparente da energia bruta (68,25%) foi observado com a farinha de penas com cozimento durante 20 minutos e pressão de 3,5 kgf/cm², enquanto o menor coeficiente de digestibilidade aparente da energia bruta (49,25%) foi observado na farinha de penas com cozimento durante 40 minutos e pressão de 2,5 kgf/cm².

Foi observada interação significativa ($P < 0,05$) entre pressão e tempo de hidrólise dos coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta e energia bruta e dos coeficiente de absorção aparente dos aminoácidos das farinhas de penas (Tabela 4).

Com exceção da leucina, ácido glutâmico, alanina, cistina, glicina e tirosina, todos os aminoácidos apresentaram interação ($P < 0,05$) entre pressão e tempo de hidrólise, incluindo a proteína bruta e energia bruta. O ácido aspártico apresentou a maior diferença ($P < 0,05$) entre as interações analisadas. A farinha de penas com cozimento durante 20 minutos e pressão de $3,5 \text{ kgf/cm}^2$ demonstrou as melhores correlações entre os valores de coeficientes de digestibilidade aparente para proteína bruta e energia bruta e os valores de coeficiente de absorção aparente dos aminoácidos.

Os aminoácidos que não apresentaram interação significativa entre pressão e tempo tiveram seus resultados analisados separadamente para pressão e posteriormente para tempo (Tabela 5). A pressão apresentou efeito significativo ($P < 0,05$) para o coeficiente de absorção aparente da alanina, enquanto o tempo apresentou efeito significativo para o coeficiente de absorção aparente da glicina.

O teor de proteína digestível variou de 454,06 a 599,68 g/kg, seguindo os valores de composição físico-química e coeficientes de digestibilidade aparente de cada farinha (Tabela 6). Destaca-se a diferença entre os valores de isoleucina digestível da farinha de penas com cozimento por 10 minutos a pressão de $2,5 \text{ kgf/cm}^2$ em relação aos menores valores observados nas demais farinhas de penas, que variou de 32,57g/kg para a farinha de penas com cozimento por 10 minutos a pressão de $2,5 \text{ kgf/cm}^2$ e 20,42 a 24,70 g/kg para as demais farinhas. A cistina apresentou grande variação na composição das farinhas, de 16,01 e 23,01 g/kg.

Discussão

Observou-se elevada variabilidade no teor de energia bruta, proteína bruta, e aminoácidos das farinhas de penas submetidas a diferentes tempos e pressões de hidrólise. A variabilidade no teor de proteína bruta e de aminoácidos das farinhas avaliadas não pode ser atribuída à matéria-prima utilizada para a confecção das mesmas, mas dos processos tecnológicos aplicados para obtenção das diferentes farinhas de penas, uma vez que foram obtidas de matéria-prima de mesma origem.

A farinha de penas é um produto originado do cozimento das penas sob pressão por determinado tempo. O processo tecnológico influencia indiretamente o teor de proteína bruta (Papadopoulos et al. 1986), pois a pressão de cozimento afeta principalmente a cistina, que se converte em lantionina, com perda de metade do enxofre (Butolo 2010), fato que foi confirmado por Holanda (2009) e observado neste

experimento pela redução de 27,4% nos teores de cistina das farinhas de penas submetidas a maior pressão (3,5 kgf/cm²) durante o processamento (Tabela 3).

A isoleucina apresentou valores variados entre os tratamentos, entretanto, apresenta seu maior valor na farinha com processamento de menor pressão (2,5 kgf/cm²) de cozimento e por menor tempo (10 minutos), apresentando nas demais farinhas uma queda brusca nos valores. Gregory et al. (1956) relataram relativa instabilidade de alguns aminoácidos ao processamento da farinha de penas, dentre eles, a cistina e isoleucina.

Butolo (2010) afirma que, embora o cozimento aumente a disponibilidade de alguns aminoácidos, destroem outros, principalmente os instáveis ao calor, além disso, o cozimento das penas aumenta a concentração da glicina, entretanto a cistina, histidina, lisina e tirosina decrescem (Moran e Summers 1968). Contudo, as farinhas de penas testadas apresentaram concentração constante de lisina e histidina e aumento de tirosina com o incremento da pressão e temperatura de cozimento.

Shirley e Parson (2000) afirmam que condições de processamento submetido à baixa pressão no digestor podem requerer longo tempo de hidrólise, assim como alta pressão requer menor tempo de hidrólise. Os autores acrescentam que no caso de ocorrer um processamento excessivo das farinhas de penas, haverá redução na concentração dos aminoácidos, principalmente pela perda dos sulfurados.

O processo tecnológico de cozimento das penas para obtenção da farinha disponibiliza os aminoácidos em sua forma livre, quebrando sua fração proteica. Baldisserotto (2013) afirmou que dietas contendo apenas aminoácidos livres apresentam menor aproveitamento da “proteína total” devido à não absorção de pequenas cadeias polipeptídicas na porção final do intestino, e o excesso de aminoácidos livres em proporções não adequadas pode causar inibição da absorção devido à competição pelo mesmo transportador durante a absorção intestinal.

O processo tecnológico mais comum é utilizando digestores cilíndricos com vapor sob pressão de 4,0 a 4,5 kgf/cm² e tempo de cozimento das penas de 30 a 45 minutos (Holanda, 2009). Scapim et al. (2003) testaram, com frangos, tratamentos com diferentes tempos de hidrólise (30, 40, 50 e 60 minutos) e tempos de secagem das penas (75, 90, 105 e 120 minutos à temperatura de 180°C) a uma mesma pressão (4 kgf.cm²). Segundo os autores, os resultados obtidos por eles encontram divergências quando comparados a outros trabalhos, inclusive ao presente estudo, o que justifica a

necessidade em padronizar os processos para a obtenção de produtos de maior qualidade. Entretanto, a alta temperatura de secagem da farinha de penas utilizada pelos autores pode ter influenciado os resultados pela desnaturação da proteína e aminoácidos.

O tempo de pré-secagem apresenta influência positiva, mostrando que o tempo de pré-secagem no digestor desempenha importante papel na qualidade (Rocha e Silva 2004) e no aumento proteico da farinha de penas (Sinhorini 2013). Assim, Sinhorini (2013) acredita que este fator esteja relacionado à secagem das penas hidrolisadas na alta umidade relativa presente nos digestores quando comparada à secagem feita com ar quente nos secadores. O tempo de pré-secagem, no presente trabalho, foi o mesmo para todas as farinhas analisadas (80 minutos) e embora não esteja relacionado às diferenças entre as farinhas, pode ser um fator colaborador na qualidade e nos valores de digestibilidade que ficaram acima dos 29,12 %, citado por Pezzato et al. (2002).

O tempo de processamento influencia a digestibilidade dos aminoácidos, pois o tratamento térmico altera a estrutura das proteínas e favorece diferentes tipos de ligações entre as proteínas, lipídios e carboidratos, presentes nas farinhas (Naber et al. 1961; Papadopoulos et al. 1986). Os autores afirmaram que essas novas ligações químicas com lipídios e carboidratos podem comprometer a disponibilidade dos aminoácidos.

A variação no valor energético das farinhas de penas é influenciado pelo tipo de processo tecnológico ao qual as penas são submetidas (Dale 1992; Nascimento et al. 2002). Neste trabalho foi observada oscilação dos valores de energia bruta entre as farinhas de penas, não havendo um padrão (Tabela 3), diferente de Scapim et al. (2003) que relataram a diminuição dos valores de energia bruta com o aumento no tempo de processamento.

Blasi et al. (1991) trabalharam com quatro farinhas de penas submetidas a diferentes tempos de hidrólise (10, 12, 15 e 18 minutos) e observaram que o teor de proteína variou de 842,00 e 930,00g/kg, diferença observada em menor escala no presente trabalho (Tabela 3). Existe grande variação nos teores de proteína bruta das farinhas de penas, de 987,00 g/kg (Papadopoulos et al. 1986), 833,00 g/kg (Pezzato et al. 2002), 792,00 g/kg (Gonçalves e Carneiro 2003) e 761,00 g/kg (González-Rodríguez et al. 2013).

Harrap e Woods (1964) observaram elevadas quantidades de glicina, alanina, serina, cistina e valina na farinha de penas. No entanto, neste trabalho, observou-se

destaque nos valores de serina, cistina e valina nas farinhas de penas, independentemente da técnica de processamento aplicada (Tabela 3).

A composição físico-química do alimento é o primeiro indício do seu valor nutritivo, porém a aceitabilidade e a capacidade do animal de aproveitar esses nutrientes fornecerá um valor real sobre seu valor nutritivo (Hepher 1988), obtido através da análise de digestibilidade.

O valor nutritivo do alimento é estimado pelo coeficiente de digestibilidade (Pond et al. 2005). Essa determinação é importante na formulação de dietas (Pezzato et al. 2004; Köprücü e Özdemir 2005) pois fornece informações detalhadas do alimento e proporciona o balanceamento mais preciso com base em aminoácidos digestíveis, gerando melhoras no desempenho e qualidade de carne (Pezzato et al. 2009). O coeficiente de digestibilidade aparente da proteína das farinhas de penas com diferentes tecnologias de processamento apresentou variação de 58,34 a 78,88% (Tabela 4), indicando melhoria na digestibilidade das farinhas com o aumento da pressão, com consequências sobre os valores nutritivos das mesmas.

Outros autores trabalhando com pacu (Abimorad e Carneiro 2004) e *Snakehead* “*Ophiocephalus argus*” (Yu et al. 2012), observaram valores de digestibilidade da proteína semelhantes aos encontrados no presente estudo, 75,73 e 64% respectivamente.

No trabalho realizado por Senhorini (2013), a elevação na variável pressão (considerando 2,0 até 4,5 kgf/cm²), exceto para o tempo de 10 minutos, acarretou na redução significativa da proteína e da digestibilidade da farinha de penas. Os resultados obtidos pelo autor demonstraram que a pressão teve uma grande influência no processo de obtenção de farinha de penas. Acredita-se que a redução da proteína e do valor da digestibilidade estejam relacionados ao aumento de temperatura, que é diretamente proporcional a pressão.

Não houve diferença significativa no CDA da proteína bruta entre as pressões 2,5 e 3,5 kgf/cm² no tempo de 10, 30 e 40 minutos, entretanto no tempo de 20 minutos a pressão 3,5 kgf/cm² demonstrou melhores resultados se comparada ao processamento com pressão a 2,5 kgf/cm² e tempo de 10, 20 e 40 minutos (Tabela 4). Senhorini (2013) relata que os valores de digestibilidade apresentaram diferenças para os tempos de hidrólise de 10 e 20 minutos, mas para o tempo de 20 minutos nas pressões 2,5; 3,0 e 3,5 kgf/cm² os resultados não foram diferentes entre si.

Além de lisina e metionina (Rawles et al. 2006), a farinha de penas é deficiente em histidina e triptofano (Hertrampf e Piedad-Pascual 2000), o que também foi observado neste trabalho (Tabela 3). A lisina e metionina apresentaram deficiência não somente na composição físico-química das farinhas, mas também nos coeficientes de absorção aparente (Tabela 4). O triptofano se apresenta em quantidades superiores quando comparado a outras farinhas e por isso não é considerado deficiente na farinha de penas por Butolo (2010), entretanto, sua proporção em relação aos demais aminoácidos é pequena.

Os aminoácidos mais limitantes em peixes são a lisina, metionina, treonina e triptofano, dos quais três deles são apresentados em baixa quantidade ou baixa digestibilidade em farinha de penas. Estes aminoácidos são considerados essenciais e estão relacionados diretamente ao crescimento, deposição de proteína muscular e corporal, e os animais dependem da dieta para sua obtenção (NRC 2011). Sendo as penas um subproduto do abate de aves, porém importante para as fábricas de rações, a farinha de penas demonstra deficiência em alguns aminoácidos essenciais e digestibilidade, tornando-a um ingrediente a ser utilizado na dieta como fonte proteica secundária.

Os valores de coeficientes de absorção aparente da lisina, histidina e metionina das farinhas de penas avaliadas (Tabela 4) encontram-se acima dos valores descritos para a farinha de sangue com secagem por “tambor” (38,65; 36,18 e 31,20) e abaixo dos valores descritos para a farinha de sangue *spray-dried* (89,83; 88,89 e 85,88), apresentando valores de lisina, histidina, metionina e triptofano abaixo dos descritos para farinha de peixes (95,32; 88,33; 92,73 e 93,35), farinha de carne e ossos (83,09; 84,96; 95,09 e 81,12), e farinha de vísceras (95,84; 96,66; 97,28 e 93,17), respectivamente, apresentados por Pezzato et al. (2009). Os baixos valores de metionina da farinha de penas podem ser consequência das perdas dos aminoácidos sulfurados durante o processamento (Butolo 2010).

Considerando o valor médio entre os coeficientes de absorção aparente de todas as farinhas testadas, o triptofano obteve maior valor em relação aos demais aminoácidos, seguido da Alanina. Entre os aminoácidos essenciais, Allan et al. (2000) destacaram que a lisina e a metionina são considerados limitantes pela baixa quantidade presente na farinha de penas e não por sua menor digestibilidade. Os coeficientes de absorção aparente de alguns aminoácidos das farinhas de penas aproximaram-se aos valores

descritos por Guimarães et al. (2008) com tilápias do Nilo, particularmente para histidina (77,86), fenilalanina (77,78), treonina (74,47), alanina (82,62), ácido glutâmico (78,45) e tirosina (68,08), sendo superior para os demais aminoácidos, com exceção do triptofano (78,24).

Os melhores valores de CAA das farinhas de penas testadas foram apresentados com 20 e 30 minutos de hidrólise, para ambas as pressões (2,5 e 3,5 kgf/cm²) (Tabela 4). Sinhorini (2013) relata elevação nos valores de digestibilidade nas penas processadas com tempo de 30 e 40 minutos de hidrólise, e valores de digestibilidade mais baixos nos tempos de 10, 20, 50 e 60 minutos de hidrólise, contrastando com o atual estudo.

No presente estudo, foi observada interação significativa ($P < 0,05$) entre pressão e tempo de hidrólise da farinha de penas sobre os coeficientes de absorção aparente da maioria dos aminoácidos, exceto para leucina, ácido glutâmico, alanina, cistina, glicina e tirosina (Tabela 4). Os aminoácidos que não apresentaram interação significativa foram analisados separadamente, para tempo e pressão de hidrólise. A alanina apresentou resultados significativos ($P < 0,05$) para pressão e a glicina apresentou resultados significativos para tempo (Tabela 5), demonstrando que, separadamente, as variáveis pressão e tempo apresentam pouca influência sobre os valores de digestibilidade. Scapim et al. (2003) relataram que o tempo de hidrólise é o fator que mais influencia a digestibilidade da farinha de penas, mas resultados diferentes foram demonstrados por Blasi et al. (1991), que descrevem baixa relação do coeficiente de absorção aparente com o tempo de hidrólise.

Apesar dos menores coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta e coeficiente de absorção aparente dos aminoácidos, as farinhas utilizadas apresentaram elevados conteúdos de aminoácidos digestíveis em relação aos valores descritos para a farinha de carne e ossos (Parsons et al. 1997; Pozza et al. 2004; Noreen e Salim 2008) e farinha de peixes (González-Rodríguez et al. 2013; Hu et al. 2013) devido ao maior conteúdo de aminoácidos totais (Tabela 6). Embora apresente alto conteúdo de aminoácidos, os mesmos possuem proporções diferentes, assim a farinha de penas apresenta valores proporcionalmente baixos para lisina e principalmente metionina, limitando seu uso, tendo em vista que a soja, principal fonte de proteína nas rações de organismos aquáticos, também é deficiente em metionina. Assim, é importante ter valores de digestibilidade e controle sistemático da matéria-prima, para que os

resultados auxiliem e possibilitem decisões eficientes na formulação das rações (Sinhorini et al. 2009).

Em rações de peixes, a farinha de penas é utilizada como fonte de aminoácidos essenciais e não essenciais, uma vez que os peixes exigem dietas com elevadas quantidades de proteína e aminoácidos. Mesmo apresentando menores coeficientes de digestibilidade aparente e coeficientes de absorção aparente de aminoácidos, quando comparado com outras fontes proteicas de origem animal, destaca-se a farinha de penas por ser utilizada em rações para organismos aquáticos, desde que seja considerado o limite de sua inclusão prevista na literatura, a técnica de processamento e o balanceamento de energia, nutriente e aminoácidos da farinha de penas utilizada.

Concluiu-se que a farinha de penas obtida pelo processo tecnológico de 20 minutos de cozimento e 3,5 kgf/cm² de pressão proporciona os melhores resultados de coeficiente de digestibilidade aparente para energia bruta e proteína bruta e coeficiente de absorção aparente de aminoácidos em dietas para juvenis de tilápia do Nilo.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Ajinomoto do Brasil Indústria e Comércio de Alimentos Ltda – *Animal Nutrition* pelas análises de aminoácidos. À empresa POLINUTRI, pelo fornecimento das farinhas de penas. Ao professor Luiz Edivaldo Pezzato e seus orientados, pelo apoio às análises de óxido de crômio. O projeto foi parcialmente financiado pelo Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq.

Referências

- Abimorad, E. G. & Carneiro, D. J. 2004. Métodos de coleta de fezes e determinação dos coeficientes de digestibilidade da fração proteica e da energia de alimentos para o Pacu, *Piractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33, 5, 1101-1109.
- Allan, G. L., Parkinson, S., Booth, M. A., Stone, D. A., Rowland, S. J., Frances, J. & Warner-Smith, R. 2000. Replacement of fish meal in diets for Australian silver perch, *Bidyanus bidyanus*: I. Digestibility of alternative ingredients. *Aquaculture*, 186, 293–310.

- Association of Official Analytical Chemists (AOAC) 1995. Official Methods of Analysis of Official Analytical Chemists International (16th edn). Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.
- Baldisserotto, B. 2013. Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura. 3ª Edição. UFSM, Santa Maria.
- Blasi, A. D., Klopfenstein, T. J., Drouillard, J. S. & Sindt, M. H. 1991. Hydrolysis time as a factor affecting the nutritive value of feather meal and feather meal-blood meal combinations for growing calves. *Journal of Animal Science*, 69, 1272-1278.
- Bremer Neto, H., Graner, C. A. F., Pezzato, L. E. & Padovani, C. R. 2005. Determinação de rotina do cromo em fezes, como marcador biológico, pelo método espectrofotométrico ajustado da 1,5-difenilcarbazida. *Ciência Rural*, 25, 691- 697.
- Butolo, J. E. 2010. Qualidade de Ingredientes na Alimentação Animal, 2. ed. CBNA, Campinas.
- Cyrino, J. E. P. & Fracalossi, D. M. 2013 editores. Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para aquicultura brasileira, 1ª ed, Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, Florianópolis.
- Dale, N. 1992. True metabolizable energy of feather meal. *Journal Applied Poultry Research*. 1, 331-334.
- Furuya, W. M. 2010. Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias. Toledo: GFM.
- Gonçalves, E. G. & Carneiro, D. J. 2003. Coeficientes de digestibilidade aparente da proteína e energia de alguns ingredientes utilizados em dietas para o pintado (*Pseudoplatystoma coruscans*). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 32, 779-786.
- González-Rodríguez, Á., Celada, J. D., Carral, J. M., Sáez-Royuela, M. & Fuertes, J. B. 2014. Evaluation of a practical diet for juvenile tench (*Tinca tinca* L.) and substitution possibilities of fish meal by feather meal. *Animal Feed Science and Technology*, 187, 61-67.

- Gregory, B. R., Wilder, O. H. M. & Ostby, P. C. 1956. Studies on the amino acid and vitamin composition of feather meal. *Poultry Science*, 35, 234-235.
- Guimarães, I. G., Pezzato, L. E. & Barros, M. M. 2008. Nutrient digestibility of several grain products and by-products in extruded diets for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Journal of the Aquaculture Society*, 39, 781-789.
- Harrap, B. S. & Woods, E. F. 1964. Soluble derivatives of feather keratin. 2. Molecular weight and conformation. *Biochemical Journal*, 92, 1, 19.
- Hertrampf, J. W. & Piedad-Pascual, F. 2000. Handbook on ingredients for Aquaculture Feeds. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherland.
- Hepher, B. 1988. Nutrition of pond fishes. Cambridge, Cambridge University Press.
- Holanda, M. A. C. 2009. Avaliação nutricional da farinha de penas hidrolisada na alimentação de frangos de corte. 95 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- Hu, L., Yun, B., Xue, M., Wang, J., Wu, X., Zheng, Y. & Han, F. 2013. Effects of fish meal quality and fish meal substitution by animal protein blend on growth performance, flesh quality and liver histology of Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*). *Aquaculture*, 372, 52-61.
- Köprücü, R. & Özdemir, Y. 2005. Apparent digestibility of selected feed ingredients for Niletilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 250, 308-316.
- Moran, E. T. & Summers, J. D. 1968. Keratins as Sources of Protein for the Growing Chick 4. Processing of Tannery By-Product Cattle Hair into a Nutritionally Available High Protein Meal: Metabolizable Energy, Amino Acid Composition and Utilization in Practical Diets by the Chick. *Poultry Science*, 47, 570-576.
- Naber, E. C., Touchburn, S. P., Barnett, B. D. & Morgan, C. L. 1961. Effect of processing methods and amino acid supplementation on dietary utilization of feather meal protein by chicks. *Poultry Science*, 40, 1234-1245.

- Nascimento, A. H., Gomes P. C., Rostagno, H. S., Albino, F. T. & Torres, R. A. 2002. Composição química e valores de energia metabolizável das farinhas de penas e vísceras determinados por diferentes metodologias para aves. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 3, 1409-1417.
- National Research Council – NRC. 2011. Nutrient requirements of fish and shrimp. National Academy Press, Washington, DC.
- Nelson, D. L. & Cox, M. M. 2011. *Lehninger princípios de bioquímica*, 5. ed. Artmed. Porto Alegre.
- Noreen, U. & Salim, M. 2008. Determination of nutrient digestibility and amino acid availability of various feed ingredients for *Labeo rohita*. *International Journal of Agriculture and Biology*, 10, 551-555.
- Papadopoulos, M. C., EL Boushy, A. R., Roodbeen, A. E. & Ketelaars, E. H. 1986. Effect of processing time and moisture content on amino acid composition and nitrogen characteristics of feather meal. *Animal Feed Science Technology*, 14, 279-290.
- Parsons, C. M., Castanon, F. & Han, Y., 1997. Protein and amino acid quality of meat and bone meal. *Poultry Science*, 76, 361-368.
- Pezzato, L. E., Miranda, E. C., Barros, M. M., Pinto, L. G. Q., Furuya, W. M. & Pezzato, A. C. 2002. Digestibilidade aparente de ingredientes pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Rev. Bras. Zootecnia*, 31, 1595-1604.
- Pezzato, L. E., Barros, M. M., Fracalossi, D. M. & Cyrino, J. E. P.. 2004. Nutrição de peixes. In: *Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva* (eds. Cyrino, J. E. P., Urbinati, E. C., Fracalossi, D. M. e Castagnolli, N.) 75-169. Tecart, São Paulo.
- Pezzato, L. E., Barros, M. M. & Furuya, W. M. 2009. Valor nutritivo dos alimentos utilizados na formulação de rações para peixes tropicais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38, 43-51.

- Pond, W. G., Church, D. C., & Pond, K. R. 2005. Basic animal nutrition and feeding. Hoboken, Wiley.
- Popma, T. J. & Masser, M. 1999. Tilapia: life history and biology. SRAC Publication, 283, 1-4.
- Pozza, P. C., Gomes, P. C., Donzele, J. L., Santiago, H., Rostagno, M. S. D. S. P. & Nogueira, E. T., 2004. Digestibilidade ileal aparente e verdadeira de aminoácidos de farinhas de carne e ossos para suínos. Revista Brasileira de Zootecnia, 33, 1181-1191.
- Rawles, S. D., Riciie, M., Gaylorij, T. G., Webb, J., Freeman, N. W. & Davis, M., 2006. Evaluation of poultry by-product meal in commercial diets for hybrid striped bass (*Morone chrysops female x Morone saxatilis male*) in recirculated tank production. Aquaculture, 259, 377-389.
- Robbins, K. R., Baker, D. H. & Finley, J. W. 1980. Studies on the utilization of lysinoalanine and lanthionine. The Journal of Nutrition, 110, 907-915.
- Rocha T. C. & Silva, B. A. N. 2004. Utilização da Farinha de Penas na Alimentação de Animais Monogástricos. Revista Eletrônica Nutritime, 1, 1, 35-43.
- Sinhorini, R. M, Aguiar, W., Piasson A., Viviam, F. & Dalmora, J. V. 2009. Manual de Boas Práticas de Fabricação de Farinhas e Óleos de Origem Animal. 1. ed. Enéas Marques, 253 p.
- Sinhorini, R. M. 2013. Processo de produção de farinha de penas hidrolisadas: estudos de otimização do teor protéico e do valor de digestibilidade da proteína. 110f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Londrina, Paraná.
- Scapim, M. R. S., Loures, E. G., Rostagno, H. S., Cecon, P. R. & Scapim, C. A. 2003. Avaliação nutricional da farinha de penas e de sangue para frangos de corte submetida a diferentes tratamentos térmicos. Acta Scientiarum Animal Sciences. Maringá, 25, 1, 91-98.

Shirley, R. B. & Parson, C. M. 2000. Effect of pressure on amino acid digestibility of meat and bone meal for poultry. *Poultry Sciences*, 79, 1775-1781.

Statsoft, Inc. 2005. *STATISTICA* (data analysis software system), version 7.1.

Yu, H. R., Zhang, Q., Cao, H., Wang, X. z., Huang, G. Q., Zhang, B. R. & Cui, Y. 2013. Apparent digestibility coefficients of selected feed ingredients for juvenile snakehead, *Ophiocephalus argus*. *Aquaculture Nutrition*, 19, 2, 139 – 147.

TABELA 1. Composição físico-química da dieta referência

Ingrediente	g/kg
Milho, grão	405,20
Farelo de soja 45%	380,00
Farinha de vísceras de aves	172,60
Fosfato bicálcico	15,00
Óleo de soja	10,00
Suplemento mineral e vitamínico ¹	8,00
Óxido de crômio ^{III}	2,00
Sal comum	5,00
Vitamina C ²	1,00
Antioxidante ³	0,20
Antifúngico ⁴	1,00
Composição físico-química (g/kg) (Base na matéria natural)	
Matéria seca ⁵	941,76±0,27
Proteína bruta ⁵	273,20±0,09
Extrato etéreo ⁵	64,80±0,08
Energia bruta, kcal/kg ⁵	4.405,90±6,36
Energia digestível, kcal/kg	3.679,37±5,15
Proporção Ca/P ⁵	1,01:1
Aminoácidos ⁶	
Lys	17,58±0,001
Met	5,22±0,001
Thr	12,24±0,01
Arg	21,26±0,01
His	6,82±0,004
Ile	12,49±0,02
Leu	24,72±0,02
Phe	14,79±0,01
Val	15,89±0,006
Trp	2,92±0,001
Asp	29,42±0,05
Glu	50,18±0,13
Ala	15,00±0,09
Cys	5,19±0,001
Gly	17,70±0,02
Ser	17,22±0,05
Tyr	10,45±0,001

Lys = lisina; Met = metionina; Trp = triptofano; Arg = arginina; His = histidina; Ile = isoleucina; Leu = leucina; Phe = fenilalanina; Val = valina; Thr = treonina; Asp = ácido aspártico; Glu = ácido glutâmico; Ala = alanina; Cys = cistina; Gly = glicina; Ser = serina; Tyr = tirosina.

¹Suplemento mineral e vitamínico (por kg): vitamina A, 1 200 000 IU; vitamina D3, 200 000 IU; vitamina E, 12 000 mg; vitamina K3, 2 400 mg; vitamina B1, 4 800 mg; vitamina B2, 4 800 mg; vitamina B6, 4 000 mg; vitamina B12, 4 800 mg; ácido fólico = 1200 mg; pantotenato D-cálcio, 12 000 mg; ácido ascórbico, 48 000 mg; biotina, 48 mg; colina, 65 000 mg; ácido nicotínico, 24 000 mg; ferro, 10 000 mg; sulfato de cobre, 600 mg; sulfato de manganês, 4 000 mg; sulfato de zinco, 6 000 mg; iodo de potássio, 20 mg; cobalto, 2 mg; selênio, 20 mg; ²Vitamina C: sal calcítico, princípio ativo-42% ácido ascórbico-2-monofosfato; ³Butil-hidrox-tolueno; ⁴Propionato de cálcio; ⁵Valores determinados pelo Laboratório de Análise de Alimentos do Departamento de Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá – DZO/UEM; ⁶Valores determinados pela Ajinomoto do Brasil Indústria e Comércio de Alimentos Ltda, São Paulo, Brasil.

TABELA 2. Composição físico-química (g/kg) das rações teste

Pressão (kgf/cm ²)	2,5				3,5			
	10	20	30	40	10	20	30	40
Tempo (minutos)								
Matéria seca ¹	940,00±0,09	940,00±0,09	940,00±0,08	950,00±0,13	950,00±0,05	940,00±0,03	940,00±0,10	950,00±0,01
Proteína bruta ¹	423,10±1,24	431,30±0,41	431,10±0,91	439,80±0,15	443,50±0,97	434,50±0,59	440,40±1,21	432,20±0,05
Extrato etéreo ¹	65,80±0,84	64,20±0,14	66,00±0,21	56,40±0,12	67,00±0,19	75,60±0,66	67,00±0,01	67,30±0,01
Matéria mineral ¹	64,70±0,008	65,50±0,06	63,00±0,11	65,50±0,01	61,50±0,12	67,40±0,15	64,80±0,01	69,30±0,22
EB (kcal/kg ⁻¹) ¹	4697±1,25	4676±13,67	4702±23,89	4702±16,52	4698±22,24	4687±13,73	4697±15,45	4716±21,75
Proporção Ca/P ¹	0,92:1	0,91:1	0,93:1	0,97:1	0,92:1	0,95:1	0,91:1	0,99:1
Aminoácidos ²								
Arg	32,70±0,05	30,10±0,06	31,70±0,03	33,80±0,03	30,70±0,05	26,30±0,004	30,40±0,05	33,30±0,07
Phe	22,70±0,08	21,40±0,03	22,20±0,05	23,20±0,008	21,80±0,005	20,70±0,02	20,40±0,02	22,30±0,03
His	7,10±0,02	7,30±0,007	7,60±0,03	7,90±0,02	7,80±0,02	7,20±0,02	7,20±0,003	7,30±0,02
Ile	20,30±0,02	19,50±0,01	19,80±0,003	21,20±0,006	19,40±0,001	19,00±0,009	18,80±0,02	20,60±0,03
Leu	37,60±0,01	36,30±0,006	37,50±0,07	39,50±0,05	36,70±0,06	34,70±0,08	34,90±0,03	38,20±0,02
Lys	18,80±0,02	18,60±0,25	16,10±0,002	15,40±0,03	13,70±0,002	16,20±0,003	14,10±0,007	14,30±0,006
Met	5,10±0,01	4,90±0,08	5,30±0,10	5,30±0,05	5,00±0,04	5,10±0,10	4,90±0,02	4,90±0,008
Thr	19,30±0,04	19,10±0,02	19,10±0,02	20,30±0,03	19,10±0,02	17,80±0,005	17,40±0,01	19,70±0,01
Trp	3,70±0,005	3,80±0,04	3,90±0,12	3,90±0,001	4,00±0,03	3,90±0,04	3,80±0,01	3,90±0,09
Val	27,90±0,06	26,90±0,07	27,50±0,04	29,50±0,07	26,90±0,09	25,90±0,03	25,90±0,07	28,70±0,09
Asp	36,60±0,001	36,00±0,07	37,00±0,02	38,90±0,04	35,90±0,02	34,10±0,05	34,20±0,008	37,50±0,03
Glu	63,40±0,05	60,20±0,14	60,90±0,003	65,90±0,03	58,60±0,02	56,80±0,13	57,10±0,007	62,20±0,04
Ala	21,70±0,07	21,60±0,14	22,00±0,01	22,70±0,07	21,20±0,09	19,60±0,09	20,30±0,09	21,80±0,13
Cys	15,20±0,01	14,10±0,01	13,10±0,05	14,00±0,07	13,40±0,07	12,10±0,02	11,90±0,09	13,20±0,01
Gly	31,70±0,02	30,50±0,03	31,00±0,02	33,70±0,11	29,60±0,03	29,60±0,03	29,00±0,05	32,50±0,04
Ser	37,60±0,07	36,60±0,04	36,10±0,05	39,00±0,03	36,10±0,006	34,50±0,004	33,40±0,03	37,90±0,008
Tyr	15,00±0,05	14,00±0,06	14,10±0,12	14,90±0,10	13,30±0,04	13,40±0,004	13,40±0,02	14,60±0,13

EB = energia bruta; Arg = arginina; Phe = fenilalanina; His = histidina; Ile = isoleucina; Leu = leucina; Lys = lisina; Met = metionina; Thr = treonina; Trp = triptofano; Val = valina; Asp = ácido aspártico; Glu = ácido glutâmico; Ala = alanina; Cys = cistina; Gly = glicina; Ser = serina; Tyr = tirosina.

¹Valores determinados pelo Laboratório de Análise de Alimentos do Departamento de Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá – DZO/UEM;

²Valores determinados pela Ajinomoto do Brasil Indústria e Comércio de Alimentos Ltda, São Paulo, Brasil.

TABELA 3. Composição físico-química (g/kg) das farinhas de penas (base em matéria natural)

Pressão (kgf/cm ²)	2,5				3,5			
	10	20	30	40	10	20	30	40
Tempo (minutos)								
Matéria seca ¹	905,97±0,002	903,41±0,09	902,44±0,09	903,28±0,03	904,41±0,08	902,18±0,23	901,99±0,14	899,53±0,01
Proteína bruta ¹	717,00±1,64	769,60±0,69	754,80±1,03	778,30±0,69	770,30±0,94	760,20±0,76	755,60±1,73	761,40±1,12
Extrato etéreo ¹	59,16±0,54	59,53±0,23	54,27±0,28	37,90±0,37	49,76±0,11	52,51±0,23	60,75±1,89	54,77±0,08
Matéria mineral ¹	32,27±0,14	29,40±0,09	30,55±0,09	25,44±0,15	26,58±0,07	31,91±0,08	27,01±0,03	30,68±0,14
EB (kcal.kg ⁻¹) ¹	5.128±6,64	5.164±15,29	5.030±31,19	5.061±0,42	5.131±9,63	5.078±22,97	5.144±8,73	5.078±17,77
Proporção Ca/P ¹	0,99:1	0,78:1	0,72:1	0,76:1	0,61:1	0,79:1	0,99:1	1,01:1
Aminoácidos ²								
Arg	53,52±0,19	52,44±0,06	50,43±0,01	52,14±0,15	54,10±0,11	52,34±0,05	53,24±0,09	54,14±0,15
Phe	37,87±0,08	36,73±0,02	34,84±0,09	35,25±0,03	37,74±0,01	35,78±0,06	36,56±0,01	37,66±0,02
His	9,37±0,03	10,59±0,000	8,97±0,03	8,17±0,01	10,12±0,03	9,85±0,001	8,37±0,02	9,76±0,03
Ile	44,90±1,48	33,78±0,000	32,17±0,05	33,71±0,05	34,53±0,02	33,33±0,05	34,41±0,07	34,60±0,06
Leu	65,53±0,13	63,60±0,07	60,01±0,18	60,25±0,02	65,16±0,03	62,19±0,08	63,14±0,06	65,24±0,02
Lys	24,33±0,03	25,32±0,02	22,09±0,04	21,74±0,04	24,69±0,05	24,46±0,02	22,40±0,04	23,89±0,04
Met	5,62±0,01	5,91±0,02	5,22±0,02	5,26±0,005	5,53±0,01	6,05±0,01	5,54±0,02	5,78±0,05
Thr	31,68±0,02	31,30±0,01	30,19±0,02	30,80±0,003	31,38±0,008	30,60±0,02	30,85±0,03	31,23±0,01
Trp	4,90±0,01	5,77±0,001	5,90±0,03	5,96±0,002	6,03±0,01	5,81±0,01	5,43±0,05	5,81±0,01
Val	49,98±0,17	47,93±0,004	46,41±0,07	48,00±0,12	49,91±0,11	47,40±0,01	49,21±0,10	50,17±0,11
Asp	51,57±0,12	50,51±0,21	46,33±0,14	48,56±0,15	51,13±0,22	49,10±0,26	50,19±0,17	50,95±0,14
Glu	81,25±0,13	79,72±0,08	74,29±0,22	77,39±0,01	78,88±0,04	77,79±0,21	80,24±0,01	80,41±0,01
Ala	38,06±0,06	37,61±0,05	34,97±0,14	35,13±0,02	37,93±0,02	36,75±0,05	37,19±0,06	39,18±0,03
Cys	27,88±0,02	28,19±0,10	31,71±0,01	34,80±0,02	30,63±0,11	26,59±0,004	27,61±0,05	25,28±0,02
Gly	61,28±0,21	59,18±0,03	56,89±0,08	60,02±0,15	59,94±0,11	60,10±0,07	62,81±0,04	62,82±0,03
Ser	81,86±0,20	78,31±0,01	76,71±0,27	80,12±0,008	81,02±0,07	77,21±0,14	81,59±0,03	80,76±0,03
Tyr	33,27±0,11	31,07±0,02	28,44±0,04	28,16±0,09	31,50±0,05	31,35±0,10	33,78±0,02	34,74±0,02

EB = energia bruta; Arg = arginina; Phe = fenilalanina; His = histidina; Ile = isoleucina; Leu = leucina; Lys = lisina; Met = metionina; Thr = treonina; Trp = triptofano; Val = valina; Asp = ácido aspártico; Glu = ácido glutâmico; Ala = alanina; Cys = cistina; Gly = glicina; Ser = serina; Tyr = tirosina.

¹Valores determinados pelo Laboratório de Análise de Alimentos do Departamento de Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá – DZO/UEM;

²Valores determinados pela Ajinomoto do Brasil Indústria e Comércio de Alimentos Ltda, São Paulo, Brasil.

TABELA 4. Coeficientes de digestibilidade aparente (%) da energia bruta e proteína bruta e coeficiente de absorção aparente (%) dos aminoácidos das farinhas de penas testadas

Pressão (kgf/cm ²)	2,5				3,5				Valor P Pressão x tempo
	10	20	30	40	10	20	30	40	
PB	67,52 ^{bcd}	65,34 ^{bcd}	71,85 ^{abc}	58,34 ^d	61,40 ^{cd}	78,88 ^a	73,08 ^{ab}	69,62 ^{abcd}	0,001
EB	55,69 ^{ab}	53,76 ^{ab}	60,36 ^{ab}	49,25 ^b	51,30 ^{ab}	68,25 ^a	56,67 ^{ab}	55,79 ^{ab}	0,04
Aminoácidos essenciais									
Arg	66,93 ^{ab}	65,35 ^{ab}	69,24 ^a	59,39 ^b	58,13 ^b	73,29 ^a	65,17 ^{ab}	65,58 ^{ab}	0,0005
Phe	77,72 ^{abc}	77,05 ^{abc}	81,70 ^{abc}	73,42 ^{bc}	72,55 ^c	86,73 ^a	80,20 ^{abc}	83,16 ^{ab}	0,002
His	79,96 ^a	74,76 ^{ab}	73,86 ^{ab}	61,07 ^b	71,20 ^{ab}	81,13 ^a	72,45 ^{ab}	76,44 ^a	0,002
Ile	72,54 ^{ab}	66,53 ^{ab}	70,82 ^{ab}	60,56 ^b	61,00 ^{ab}	74,12 ^a	68,08 ^{ab}	68,44 ^{ab}	0,006
Leu	76,90	70,34	69,89	72,62	63,32	76,79	73,71	70,21	0,06
Lys	62,51 ^{ab}	60,97 ^{ab}	53,18 ^{bc}	48,28 ^c	51,31 ^{bc}	72,12 ^a	56,94 ^{bc}	46,11 ^c	0,0009
Met	62,40 ^a	44,32 ^c	47,76 ^{bc}	60,48 ^a	59,36 ^a	58,86 ^a	56,06 ^{ab}	58,08 ^a	0,0005
Thr	73,69 ^a	70,06 ^a	70,44 ^a	51,61 ^b	62,09 ^{ab}	75,91 ^a	63,26 ^{ab}	71,19 ^a	0,0001
Trp	93,26 ^a	88,60 ^a	88,52 ^b	86,29 ^{bc}	86,88 ^{bc}	88,72 ^b	87,16 ^{bc}	84,09 ^c	0,001
Val	90,13 ^a	63,75 ^b	63,40 ^b	47,73 ^{cd}	56,49 ^{cd}	57,58 ^{cd}	53,44 ^{bcd}	43,32 ^d	0,001
Aminoácidos não essenciais									
Asp	49,89 ^a	49,23 ^{ab}	45,37 ^{abc}	43,19 ^{bc}	35,44 ^d	42,18 ^c	42,08 ^c	48,44 ^{ab}	0,000001
Glu	82,90	77,78	85,15	77,83	72,75	85,43	80,07	82,75	0,06
Ala	80,86	79,62	83,06	76,24	80,54	87,13	84,71	81,11	0,19
Cys	57,42	58,87	70,31	66,12	57,63	76,32	62,69	70,13	0,052
Gly	66,79	68,14	69,71	62,57	61,84	73,67	67,92	55,42	0,24
Ser	52,89 ^b	49,59 ^b	72,69 ^a	65,40 ^{ab}	65,73 ^{ab}	77,85 ^a	65,83 ^{ab}	73,40 ^a	0,001
Tyr	75,00	67,79	73,42	63,07	60,59	74,56	67,56	72,40	0,06

EB = energia bruta; PB = proteína bruta; Arg = arginina; Phe = fenilalanina; His = histidina; Ile = isoleucina; Leu = leucina; Lys = lisina; Met = metionina; Thr = treonina; Trp = triptofano; Val = valina; Asp = ácido aspártico; Glu = ácido glutâmico; Ala = alanina; Cys = cistina; Gly = glicina; Ser = serina; Tyr = tirosina.

TABELA 5. Efeito da pressão, tempo de hidrólise e interação pressão e tempo sobre os coeficientes de absorção aparente dos aminoácidos das farinhas de penas

	Pressão (kgf/cm ²)		Valor P pressão	Tempo (minutos)				Valor P tempo
	2,5	3,5		10	20	30	40	
Aminoácidos essenciais								
Leu	72,43	71,01	0,57	70,11	73,56	71,8	71,41	0,82
Aminoácidos não essenciais								
Glu	80,92	80,25	0,79	77,83	81,60	82,61	80,29	0,56
Ala	79,94b	83,37a	0,03	80,7	83,38	83,88	78,68	0,07
Cys	63,18	66,19	0,31	57,53	67,60	66,50	68,13	0,09
Gly	66,80	64,71	0,45	61,31ab	70,90a	68,82a	58,99b	0,006
Tyr	69,82	68,78	0,70	67,80	71,18	70,49	67,74	0,74

Leu = leucina; Glu = ácido glutâmico; Ala = alanina; Cys = cistina; Gly = glicina; Tyr = tirosina.

TABELA 6. Valores de proteína digestível, energia digestível e aminoácidos digestíveis (g/kg) das farinhas de penas (na base de matéria natural)

Valores digestíveis								
Pressão (kgf/cm ²)	2,5				3,5			
	10	20	30	40	10	20	30	40
PB	484,10	502,87	542,35	454,06	472,94	599,68	552,21	530,06
EB (kcal/g ⁻¹)	2855	2776	3036	2492	2632	3466	2915	2833
Aminoácidos essenciais								
Arg	35,82	34,27	34,92	30,96	31,45	38,36	34,69	35,50
Phe	29,43	28,30	28,46	25,88	27,38	31,03	29,32	31,32
His	7,49	7,92	6,62	4,99	7,21	7,99	6,06	7,46
Ile	32,57	22,47	22,78	20,42	21,06	24,70	23,43	23,68
Leu	50,39	44,73	41,94	43,75	41,26	47,76	46,54	45,80
Lys	15,21	15,44	11,74	10,49	12,66	17,64	12,76	11,01
Met	3,51	2,62	2,49	3,18	3,28	3,56	3,11	3,36
Thr	23,35	21,93	21,27	15,90	19,48	23,23	19,51	22,23
Trp	4,53	5,12	5,23	5,09	5,26	5,20	4,65	4,91
Val	45,05	30,58	29,42	22,77	28,19	27,29	26,30	21,73
Aminoácidos não essenciais								
Asp	25,73	24,87	21,02	20,97	18,12	20,71	21,12	24,68
Glu	67,35	62,01	63,26	60,24	57,39	66,45	64,25	66,54
Ala	30,78	29,94	29,04	26,78	30,55	32,02	31,50	31,78
Cys	16,01	16,60	22,30	23,01	17,65	20,29	17,31	17,73
Gly	40,93	40,33	39,66	37,55	37,06	44,27	42,66	34,81
Ser	43,30	38,83	55,76	52,40	53,26	60,11	53,71	59,28
Tyr	24,95	21,06	20,88	17,76	19,08	23,38	22,82	25,15

EB = energia bruta; PB = proteína bruta; Arg = arginina; Phe = fenilalanina; His = histidina; Ile = isoleucina; Leu = leucina; Lys = lisina; Met = metionina; Thr = treonina; Trp = triptofano; Val = valina; Asp = ácido aspártico; Glu = ácido glutâmico; Ala = alanina; Cys = cistina; Gly = glicina; Ser = serina; Tyr = tirosina

Capítulo III

Desempenho produtivo de juvenis de tilápia do Nilo alimentados com farinhas de penas submetidas a diferentes processos tecnológicos

Resumo: O objetivo do presente estudo foi avaliar o desempenho produtivo de juvenis de tilápias do Nilo alimentados com farinhas de penas submetidas a diferentes processos tecnológicos. Foram utilizados 400 peixes ($6,90 \pm 0,20$ g), distribuídos em 16 aquários de plástico com capacidade de 500 litros cada. O experimento foi realizado em esquema fatorial 2 x 2, sendo duas pressões (2,5 e 3,5 kgf/cm²) e dois tempos de cozimento (20 e 30 minutos). Foram elaboradas quatro dietas práticas extrusadas contendo 10% de farinha de penas em cada, sendo as farinhas de penas testadas o único diferencial entre as rações. Os peixes foram alimentados até saciedade aparente, por meio de arraçamento manual durante 50 dias. Não foram observadas diferenças significativas ($P > 0,05$) sobre o ganho em peso, conversão alimentar, taxa de eficiência proteica e eficiência de retenção de proteína. A utilização de farinhas de penas submetidas a diferentes processamentos não resultou em efeito sobre a composição corporal dos peixes. Entre as farinhas de penas utilizadas, recomenda-se aquela com cozimento durante 20 minutos e pressão de 3,5 kgf/cm² para utilização em dietas de juvenis de tilápia do Nilo.

Palavras-chave: índices zootécnicos, farinha de penas hidrolisada, *Oreochromis niloticus*.

Introdução

O Brasil é o maior produtor de tilápias da América do Sul (FAO 2014) com produção de mais de 250 mil toneladas em 2011 (MPA 2014). Tal fato deve-se ao seu rápido crescimento, boa conversão alimentar e qualidade da sua carne (Furuya 2010).

A proteína é o nutriente de maior custo em dietas para peixes (Ahmed e Khan 2007) e o balanceamento e disponibilidade dos aminoácidos são variáveis entre os alimentos. Os alimentos de origem animal geralmente são incluídos em dietas para peixes para melhorar o balanceamento de aminoácidos, além de fornecerem energia (Cyrino e Fracalossi 2013). Dentre eles, destaca-se a farinha de penas, um subproduto resultante do cozimento sob pressão de penas, originada do abate de aves, não decompostas (Butolo 2010).

O conteúdo de proteína bruta da farinha de penas varia de 78 e 92%, constituída basicamente por queratina e, assim, uma excelente fonte de aminoácido sulfurado (Butolo 2010), porém deficiente em histidina, lisina, metionina e triptofano (Hertrampf e Piedad-Pascual 2000). O processamento utilizado para a obtenção da farinha de penas e a composição físico-química da matéria prima são os fatores que mais afetam sua qualidade (Bellaver 2009).

O excessivo tempo de processamento tecnológico de obtenção da farinha resulta em produto com baixo valor nutritivo da proteína e aminoácidos, enquanto a insuficiência no tempo de processamento reduz o valor nutritivo da farinha de penas pela sua hidrólise incompleta (Sinhorini 2013). As pontes de hidrogênio, interações hidrofóbicas dentro da molécula de queratina e pontes de dissulfeto presentes na cistina, são responsáveis pela alta estabilidade da proteína, resultando em baixa digestibilidade dos aminoácidos (Scapim et al. 2003). Portanto, pesquisas devem ser realizadas buscando adequado processo tecnológico para obtenção de nutrientes mais disponíveis para ser absorvido pelo animal.

Em busca de uma ração eficiente do ponto de vista zootécnico, o uso da farinha de penas é recomendado como mais uma fonte alternativa de proteína e poucas são as informações sobre sua utilização em dietas para peixes. Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar os efeitos da inclusão da farinha de penas diferentemente processada no desempenho produtivo de juvenis de tilápia do Nilo.

Material e Métodos

Local

O experimento foi realizado na Estação Experimental de Piscicultura da Universidade Estadual de Maringá, UEM/Codapar, localizada no distrito de Floriano, pertencente ao município de Maringá – PR.

Dietas experimentais e Manejo alimentar

As farinhas de penas utilizadas eram provenientes da empresa Poli Nutri – Nutrição Animal (Poli Nutri, Maringá, PR, Brasil), constituídas por subprodutos resultante do abate de aves e obtidas por meio de penas limpas. As penas passaram pelo processo de cocção através do aumento da temperatura e pressão que ocorre no digestor, sendo que este processo tecnológico é o único diferencial na produção das farinhas de penas testadas. Após esse processo, as penas permaneceram no digestor por 80 minutos (pré-secagem), em seguida as penas passaram pelo secador primário (120°C máximo) e secador secundário (100°C máximo), seguido da moagem. Na confecção das farinhas de penas testadas foram utilizadas duas pressões e dois tempos de cozimento. Assim, foram avaliadas quatro farinhas de penas hidrolisadas com dois tipos de pressão (2,5 kgf/cm² e 3,5 kgf/cm²) de cozimento e dois tempos (20 e 30 minutos) de cozimento (Tabela 1). Foram elaboradas quatro dietas, segundo as exigências nutricionais de tilápias descritas no NRC (2011). As farinhas de penas foram incluídas na proporção de 10% (Pastore et al. 2013) da dieta (Tabela 2 e 3). Os ingredientes foram moídos em moinho tipo martelo, com peneira contendo furos com 0,5 milímetros de diâmetro. As dietas foram processadas em extrusora de rosca simples (Ex-Micro®, Ribeirão Preto, SP, Brasil) com matriz contendo furos de 1,5 mm de diâmetro e desidratada em estufa de ventilação forçada (TE 391-1, Tecnal) a 55°C durante 24 horas. O arraçoamento foi realizado diariamente de forma manual às 8:00 - 10:30 – 13:00 – 15:30 – 17:00 horas. Durante os cinco períodos, a alimentação foi fornecida até a saciedade aparente dos peixes, sem que houvesse sobras.

Peixes e Condições experimentais

Foram utilizados 400 juvenis de tilápias do Nilo da linhagem GIFT (6,80 ±0,20g) provenientes da Piscicultura Sgarbi, Palotina, PR, Brasil. Os peixes foram distribuídos em 16 aquários de plástico, com capacidade de 500 litros cada, dotadas de um sistema de renovação constante de água provinda de uma mina e aeração por meio de soprador de ar central. Assim, cada repetição era constituída por

um aquário com 25 peixes. Os parâmetros de temperatura (°C) e oxigênio dissolvido (mg/L) foram aferidos diariamente no período da manhã e da tarde, por meio de oxímetro digital (YSI-55). A água dos tanques foi renovada diariamente por cinco vezes. Além disso, foram realizadas duas sifonagens semanais para retirada das fezes. O experimento teve duração de 50 dias. Durante o período experimental, foram observados valores médios de $27,25 \pm 3,72^{\circ}\text{C}$ para a temperatura e $6,20 \pm 1,35 \text{ mg.L}^{-1}$ para o oxigênio dissolvido.

Coleta de dados

Ao final do experimento, os peixes foram mantidos em jejum por 24 horas para o esvaziamento do trato gastrintestinal para análise de composição corporal. Em seguida, foram insensibilizados em eugenol a 75 mg/L (Deriggi et al. 2006) para realização das medidas individuais de peso (g). Após pesagem, quinze peixes de cada tanque foram utilizados para análise da composição química. Os dados de desempenho foram avaliados por meio do ganho em peso (peso corporal final – peso corporal inicial); conversão alimentar aparente (ração fornecida /ganho em peso); taxa de eficiência proteica (ganho em peso/proteína consumida); eficiência de retenção de proteína ((conteúdo final de proteína da carcaça x peso final) – (conteúdo inicial proteína corporal x peso inicial)/proteína consumida) e sobrevivência ($100 \times (\text{número de peixes ao final do experimento} / \text{número de peixes ao início do experimento})$).

Análises laboratoriais

As análises laboratoriais das rações e peixes foram realizadas no Laboratório de Análise de Alimentos do Departamento de Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá – DZO/UEM, de acordo com a metodologia descrita por AOAC (1995). Para as análises, as amostras de peixes foram moídas em moinho de carne elétrico e a pré-secagem foi realizada em estufa de ventilação forçada (TE 391-1, Tecnal, Piracicaba, SP, Brasil) a 55°C até peso constante.

Delineamento experimental

Os dados foram submetidos à análise de variância em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2×2 , sendo duas pressões (2,5 e 3,5 kgf/cm²) e dois tempos (20 e 30 minutos) de hidrólise, utilizando-se o teste F a 5% de probabilidade para comparação dos quadrados médios dos fatores testados.

O modelo matemático utilizado foi o seguinte:

$$Y_{ij} = \mu + P_i + T_j + PE_{ij} + \epsilon_{ij},$$

Em que Y_{ij} = valor da variável dependente estudada; μ = média geral; P_i = efeito da pressão i ; T_j = efeito do tempo j ; PE_{ij} = interação pressão \times tempo; e e_{ij} = erro aleatório associado a cada observação. As análises foram efetuadas por meio do protocolo GLM do software Statistic 7.1. (Statsoft 2005).

Resultados

As dietas elaboradas apresentaram composições de proteína e aminoácidos conforme os valores estimados durante a formulação das rações (Tabela 3). Não foi observada ocorrência de mortalidade relacionada com as dietas avaliadas. Também não foi observada a ocorrência de anormalidades externas dos peixes ao final do experimento.

A composição físico-química das farinhas de penas (Tabela 1) não apresenta diferenças entre os valores analisados, com exceção do extrato etéreo, que variou de 37,60 a 60,30 g/kg.

Os peixes iniciaram o experimento com peso médio de 6,80 gramas e finalizaram com peso médio de 42,18 gramas, conversão alimentar média de 1,10 e sobrevivência de 98%.

Não foi observado efeito significativo da interação pressão e tempo de hidrólise das farinhas de penas sobre o desempenho produtivo (Tabela 4) e composição química do peixe (Tabela 5). A pressão e o tempo de hidrólise das farinhas de penas não influenciou ($P > 0.05$) o desempenho produtivo e a composição química dos peixes.

Discussão

Os parâmetros de qualidade da água monitorados, temperatura e oxigênio, no período experimental, permaneceram dentro da faixa adequada para o bem estar da espécie, cujos valores médios foram de 27,25 °C para a temperatura e 6,20 mg.L⁻¹ para oxigênio dissolvido. Pois, segundo El-Sayed (2006), as tilápias apresentam máximo crescimento quando criadas com temperaturas entre 24 e 30 °C e, de acordo com Popma e Lovshin (1995), os teores de oxigênio dissolvido devem ser acima de 4 mg.L⁻¹.

As farinhas de penas utilizadas na elaboração das dietas apresentaram pequena diferença em sua composição físico-química (Tabela 1) e valor nutritivo. Assim, o fato de não terem sido observadas diferenças sobre o desempenho produtivo, apesar das farinhas incluídas participarem com cerca de 25% da proteína das dietas, indicam o atendimento das exigências nutricionais da espécie. Considerando as exigências quantitativas de aminoácidos essenciais (incluindo cistina e tirosina) de tilápias do Nilo, descritas no NRC (2011), entende-se que todas as dietas atenderam tais

requerimentos, bem como as proporções de aminoácidos com base no conceito de proteína ideal (Furuya 2010).

Para aves, apesar do elevado valor proteico, a farinha de penas é caracterizada pela baixa digestibilidade da proteína, uma vez que é composta basicamente por queratina (Scapim et al. 2003). Por este motivo, Bishop et al. (1995) e Finkler (2013) recomendam a inclusão de 9,9 e 8%, respectivamente, para tilápias. No entanto, apesar de utilizar a taxa máxima de inclusão de farinhas de penas (10 %), descrita por Cyrino e Fracalossi (2013), não resultou em deficiência ou desbalanceamento de energia ou aminoácidos nas dietas.

A farinha de penas não possui elevadas concentrações de lisina e metionina (Harrap e Woods 1964; Allan et al. 2000), aminoácidos essenciais e limitantes em dietas para peixes (NRC 2011). Segundo Bishop et al. (1995), valores de inclusão maiores que 10% podem acarretar em resultados negativos sobre o crescimento e ganho em peso, em consequência do desbalanço de aminoácidos. Entretanto, Poppi et al. (2011) descrevem valores de inclusão de 18% para truta arco-íris, desde que seja feita suplementação com aminoácidos limitantes.

O valor energético das farinhas de penas pode ser influenciado pelo tipo de processamento utilizado (Dale 1992; Nascimento 2002; Metwally 2004), podendo gerar diferença no consumo de ração pelos peixes. Apesar das diferenças nos valores energéticos apresentados pelas farinhas de penas utilizadas, as mesmas não influenciaram o consumo de ração, no desempenho produtivo e na composição físico-química dos peixes (Tabela 4 e 5).

Finkler (2013), trabalhando com tilápia do Nilo, não encontrou diferenças entre os teores de proteína bruta, extrato etéreo e matéria mineral das carcaças dos peixes alimentados com a dieta controle e com inclusão de 8% de farinha de penas. No presente estudo, os diferentes processamentos tecnológicos das farinhas de penas testadas não apresentou diferenças ($P>0,05$) para estes valores (Tabela 5).

Os avanços nos métodos de processamentos têm possibilitado a obtenção de farinhas com maiores valores de energia e nutrientes digestíveis (Pezzato et al. 2002) e aminoácidos disponíveis (Guimarães et al. 2008). A melhoria na qualidade das farinhas de penas avaliadas possibilitou a inclusão das mesmas, permitindo o adequado crescimento dos peixes, que aumentaram em 6,3 vezes o peso inicial em 50 dias de experimento, que variou de 6,80 a 42,18 (Tabela 4). Este crescimento está dentro das metas previstas para tilápias do Nilo nesta fase de crescimento (Cyrino e Fracalossi 2013).

Peixes jovens são mais sensíveis a mudanças nas dietas, e respondem rapidamente a diferenças nutricionais (Lovell 1998), assim como o crescimento apresentado é superior ao necessário para expressar possíveis diferenças nutricionais da alimentação (NRC 2011).

Foram observados bons valores de retenção proteica variando de 49,43 a 51,54% (Tabela 4), refletindo boa utilização dos aminoácidos dietéticos, indicando que os teores e o balanceamento aminoacídico em todas as dietas foram adequados, de forma a permitir eficientemente a utilização da proteína. Este fato não se deve unicamente às farinhas de penas utilizadas, mas também ao balanço energético das dietas, o que possibilita a melhora no balanceamento de aminoácidos (Li et al. 2009).

Laporte (2007) realizou experimento com “Gilthead sea bream” (*Sparus aurata L.*), alimentados com farinha de penas hidrolisadas enzimaticamente e submetidas à hidrólise por temperatura e pressão. O autor afirmou que a farinha de penas hidrolisada sob temperatura e pressão apresentou melhores resultados sobre o desempenho produtivo dos peixes quando comparada com aqueles obtidos com peixes alimentados com a farinha de penas hidrolisadas enzimaticamente. Resultados contrários foram descritos por Fasakin et al. (2005), em experimento com tilápia híbrida (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis mossambicus*), onde a farinha de penas hidrolisada enzimaticamente apresentou melhores resultados. Porém, diversos fatores podem afetar a composição e valor nutritivo das farinhas de penas, como a origem e composição da matéria prima utilizada, o processo de calor e a agitação mecânica para sua confecção e o armazenamento do produto final (Aldrich et al. 2007).

Ainda que a substituição da farinha de peixes pela farinha de penas não tenha sido recomendada em dietas para tilápias (Fasakin et al. 2005; Wang et al. 2006), Fowler et al. (1991) e Bureau et al. (2000) descreveram a farinha de penas como uma boa fonte secundária de proteína em dietas para organismos aquáticos, podendo ser utilizada com restrições em termos de inclusão. Assim, o balanceamento de aminoácidos da dieta deve ser considerado para maximizar a deposição corporal (Oliva-Teles 2000; Furuya 2010) e a saúde dos peixes (Webster e Lim 2002).

Devido ao menor tempo de processo tecnológico e otimização da produção na indústria, a farinha de penas com pressão 2,5kgf/cm² por 20 minutos de hidrólise poderia ser a melhor opção. Contudo, o MAPA estabelece que farinhas de origem animal devem passar por processamento a temperaturas não inferiores a 133°C durante 20 minutos ininterruptos, a uma pressão mínima de 3 bar ou 3,06 kgf/cm² (Brasil 2008).

No presente trabalho, a inclusão de 10% de farinhas de penas submetidas a diferentes processamentos tecnológicos não resultou em diferenças sobre o crescimento, conversão alimentar, utilização da proteína dietética e composição química de tilápias (Tabela 4 e Tabela 5). Assim,

recomenda-se a farinha de penas com menor tempo de cozimento (20 minutos) e hidrólise com pressão de 3,5kgf/cm² como fonte de proteína secundária em dietas para juvenis de tilápia do Nilo.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Ajinomoto do Brasil Indústria e Comércio de Alimentos Ltda – *Animal Nutrition*, pelas análises de aminoácidos. À empresa POLINUTRI, pelo fornecimento das farinhas de penas. O projeto foi parcialmente financiado pelo Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq.

Referências

- Aldrich, G., Lyons T. P. & Jacques K. A. 2007. USA poultry meal: quality issues and concerns in pet foods. *Nutritional Biotechnology in the Feed and Food Industries*, 467.
- Allan, G. L., Parkinson, S., Booth, M. A., Stone, D. A., Rowland, S. J., Frances, J. & Warner-Smith, R. 2000. Replacement of fish meal in diets for Australian silver perch, *Bidyanus bidyanus*: I. Digestibility of alternative ingredients. *Aquaculture*, 186, 293–310.
- Ahmed, I. & Khan, M. 2006. Dietary branched-chain amino acid valine, isoleucine and leucine requirements of fingerling Indian major carp, *Cirrhinus mrigala*. *British Journal of Nutrition*, 96, 450-460.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC) 1995. *Official Methods of Analysis of Official Analytical Chemists International* (16th edn). Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.
- Baker, D. H. R. C., Bluthenthal, K. P., Boebel, G. L., Czarnecki, L. L.; Southern G. M. & Willis. 1981. Protein-amino acid evaluation of steamed-processed feather meal. *Poultry Science*, 60, 1865-1872.
- Belaver, C. 2009. Qualidade no processamento em fábricas de farinhas e gorduras animais. In: V Encontro Técnico Unifrango, Maringá.
- Bishop, C. D., Angus, R. A. & Watts, S. A. 1995. The use of feather meal as a replacement for fish meal in the diet of *Oreochromis niloticus* fry. *Bioresour Technology*, Oxford, 54, 291-295.

- Brasil. 2008. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento [MAPA]. Aprova o regulamento técnico da inspeção higiênico-sanitária e tecnológica do processamento de resíduos de animais e o modelo de documento de transporte de resíduos animais. Instrução normativa MAPA N° 34, 28 maio 2008. Diário Oficial da República Federativa, Brasília, 29 maio 2008.
- Bureau, D. P., Harris, A. M., Bevan, D. J., Simmons, L. A., Azevedo, P. A. & Cho, C. Y. 2000. Feather meals and meat and bone meals from different origins as protein sources in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets. *Aquaculture*. 181, 281-291.
- Butolo, J. E. 2010. Qualidade de Ingredientes na Alimentação Animal, 2. ed. CBNA, Campinas.
- Cyrino, J. E. P. & Fracalossi, D. M. 2013 editores. Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para aquicultura brasileira, 1ª ed, Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, Florianópolis.
- Dale, N. 1992. True metabolizable energy of feather meal. *Journal Applied Poultry Research*. 1, 331-334.
- Deriggi, G. F., Inoue, L. A. K. A. & Moraes, G. 2006. Stress responses to handling in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus): assessment of eugenol as an alternative anesthetic. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, 28, 269-274.
- El-Sayed, A. F. M. 2006. Tilapia culture. CABI Publishing, Wallingford.
- Fasakin, E. A., Serwata, R. D. & Davies, S. J. 2005. Comparative utilization of rendered animal derived products with or without composite mixture of soy bean meal in hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* x *Oreochromis mossambicus*) diets. *Aquaculture* 249, 329-338.
- Finkler, J. K. 2013. Farinha de penas em dietas para tilápia do Nilo. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Estadual do Paraná – UNIOESTE – Campus de Marechal Cândido Rondon, 54.
- Food and Agriculture Organization – FAO. 2014. Disponível em:<<http://www.fao.org>>. Acesso em: 07 jan. 2014.
- Fowler, L. G. 1991. Poultry by-product meal as dietary-protein source in fall chinook salmon diets. *Aquaculture*. 99, 309-321.

- Furuya, W. M. 2010. Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias. GFM, Toledo.
- Guimarães, I. G., Pezzato, L. E. & Barros, M. M. 2008. Nutrient digestibility of several grain products and by-products in extruded diets for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Journal of the Aquaculture Society, 39, 781-789.
- Harrap, B. S. & Woods, E. F. 1964. Soluble derivatives of feather keratin. 2. Molecular weight and conformation. Biochemical Journal, 92, 1, 19.
- Hertrampf, J. W. & Piedad-Pascual, F. 2000. Handbook on ingredients for Aquaculture Feeds. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherland.
- Laporte, J. 2007. Nutritional evaluation of animal by-products for the partial replacement of fishmeal in diets for gilthead sea bream (*Sparus aurata L.*).
- Li, P., Mai, K., Trushenski, J. & Wu, G. 2009. New developments in fish amino acid nutrition: towards functional and environmentally oriented aquafeeds. Amino acids, 37, 43-53.
- Lovell, T. Nutrition and feeding of fish. 2ed. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, USA.
- Metwally, M. A. 2004. Evaluation and the optimum use of feather meal as a non-conventional feedstuff for poultry diets. Egyptian Poultry Science Journal, 24, 1, 41-62.
- Ministério da Pesca e Aquicultura - MPA. 2014. Boletim estatístico da pesca e aquicultura. Disponível em: <<http://www.mpa.gov.br>>. Acesso em: 17 jan. 2014.
- Nascimento, A. H., Gomes P. C., Rostagno, H. S., Albino, F. T. & Torres, R. A. 2002. Composição química e valores de energia metabolizável das farinhas de penas e vísceras determinados por diferentes metodologias para aves. Revista Brasileira de Zootecnia. 3, 1409-1417.
- National Research Council – NRC. 2011. Nutrient requirements of fish and shrimp. National Academy Press, Washington, DC.
- Oliva-Teles, A. 2000. Recent advances in European sea bass and gilthead sea bream nutrition. Aquaculture, 8, 477-492.
- Pastore, S. C. G., Gaiotto, J. R., Ribeiro, F. A. S. & Nunes, A. J. P. 2013. Formulação de Rações e Boas Práticas de Fabricação. In: Fracalossi, D. M. & Cyrino, J. E. P. (Ed.). NUTRIAQUA:

- Nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira. Aquabio, Florianópolis, 295-346.
- Pezzato, L. E., Miranda, E. C., 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, 1595-1604.
- Popma, T. J. & Lovshin L. L. 1995. Worldwide Prospects for Comercial Production of Tilapia. Internatinal Center for Aquaculture and Aquatic Environments, Auburn.
- Poppi, D. A., Quinton, V. M., Bureau, D. P. 2011. Development of a test diet for acessing the bioavailability of arginine in feather meal fed to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture Nutrition, 314, 100 –109.
- Scapim, M. R. S., Loures, E. G., Rostagno, H. S., Cecon, P. R. & Scapim, C. 2003. A. Avaliação nutricional da farinha de penas e de sangue para frangos de corte submetida a diferentes tratamentos térmicos. Acta Scientiarum Animal Sciences. Maringá, 25, 1, 91-98.
- Sinhorini, R. M. 2013. Processo de produção de farinha de penas hidrolisadas: estudos de otimização do teor protéico e do valor de digestibilidade da proteína. 110f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Londrina, Paraná.
- Silva, D. J. & Queiroz, A. C. 2002. Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos). Imprensa Universitária, Viçosa.
- Statsoft, Inc. 2005. STATISTICA (data analysis software system), version 7.1.
- Wang, Y., Guo, J. L., Bureau, D. P. & Cui, Z. H. 2006 Replacement of fish meal by rendered animal protein ingredients in feeds for cuneate drum (*Nibea miichthioides*). Aquaculture. 252, 476-483.
- Webster, C. D. & Lim, C. E. 2002. Nutrition Requirements and Feeding of Finfish for Aquaculture. CABI Publishing, Wallingford, Oxfordshire.

TABELA 1. Composição físico-química (g/kg) das farinhas de penas utilizadas

Pressão (kgf/cm ²) Tempo (minutos)	2,5		3,5	
	20	30	20	30
Matéria seca ¹	903,41±0,09	902,44±0,09	902,18±0,23	901,99±0,14
Proteína bruta ¹	769,60±0,69	754,80±1,03	760,20±0,76	755,60±1,73
Extrato etéreo ¹	59,53±0,23	54,27±0,28	52,51±0,23	60,75±1,89
Matéria Mineral ¹	29,40±0,09	30,55±0,09	31,91±0,08	27,01±0,03
Energia bruta ¹ (kcal.kg ⁻¹)	5.164±15,29	5.030±31,19	5.078±22,97	5.144±8,73
Aminoácidos essenciais ² (g/kg)				
Arginina	52,44±0,06	50,43±0,01	52,34±0,05	53,24±0,09
Fenilalanina	36,73±0,02	34,84±0,09	35,78±0,06	36,56±0,01
Histidina	10,59±0,000	8,97±0,03	9,85±0,001	8,37±0,02
Isoleucina	33,78±0,000	32,17±0,05	33,33±0,05	34,41±0,07
Leucina	63,60±0,07	60,01±0,18	62,19±0,08	63,14±0,06
Lisina	25,32±0,02	22,09±0,04	24,46±0,02	22,40±0,04
Metionina	5,91±0,02	5,22±0,02	6,05±0,01	5,54±0,02
Treonina	31,30±0,01	30,19±0,02	30,60±0,02	30,85±0,03
Triptofano	5,77±0,001	5,90±0,03	5,81±0,01	5,43±0,05
Valina	47,93±0,004	46,41±0,07	47,40±0,01	49,21±0,10
Aminoácidos não essenciais ² (g/kg)				
Ácido aspártico	50,51±0,21	46,33±0,14	49,10±0,26	50,19±0,17
Ácido glutâmico	79,72±0,08	74,29±0,22	77,79±0,21	80,24±0,01
Alanina	37,61±0,05	34,97±0,14	36,75±0,05	37,19±0,06
Cistina	28,19±0,10	31,71±0,01	26,59±0,004	27,61±0,05
Glicina	59,18±0,03	56,89±0,08	60,10±0,07	62,81±0,04
Serina	78,31±0,01	76,71±0,27	77,21±0,14	81,59±0,03
Tirosina	31,07±0,02	28,44±0,04	31,35±0,10	33,78±0,02

¹Valores determinados pelo Laboratório de Análise de Alimentos do Departamento de Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá – DZO/UEM;

²Valores determinados pela Ajinomoto do Brasil Indústria e Comércio de Alimentos Ltda, São Paulo, Brasil.

TABELA 2. Formulação (g/kg) da ração-referência

Ingredientes	g/kg
Farelo de trigo	329,98
Milho	314,83
Farinha vísceras de aves	220,00
Farinha de penas	100,00
Farelo de soja	12,99
Óleo de soja	10,00
Suplemento mineral e vitamínico ¹	5,00
Sal comum	5,00
Vitamina C	1,00
Antifúngico ²	1,00
Antioxidante ³	0,20

¹Níveis de garantia por quilograma do produto (DSM-Roche®, São Paulo, SP, Brasil): Vit. A, 24.000 UI; Vit. D3, 6.000 UI; Vit. E, 300 mg; Vit. K3, 30 mg; Vit. B1, 40 mg; Vit. B2, 40 mg; Vit. B6, 35 mg; Vit. B12, 80 mg; Ác. fólico, 12 mg; Pantotenato Ca, 100 mg; Vit. C, 600 mg; Biotina, 2 mg; Colina, 1.000 mg; Niacina; Ferro, 200 mg; Cobre, 35 mg; Manganês, 100 mg; Zinco, 240 mg; Iodo, 1,6 mg; Cobalto, 0,8 mg.

²MoldZapAquativa®:dipropionato de amônia, ácido acético, ácido sórbico e ácido benzoico - Alltech do Brasil Agroindustrial Ltda.

³Banox®: BHA, BHT, galato de propila e carbonato de cálcio - Alltech do Brasil Agroindustrial Ltda.

TABELA 3. Composição físico-química (g/kg) das rações experimentais, com inclusão de farinha de penas com diferentes processos tecnológicos, para juvenis de tilápias do Nilo (matéria natural)

Pressão (kgf/cm ²)	2,5		3,5	
	20	30	20	30
Tempo (minutos)				
Matéria seca	942,43±0,28	937,18±0,12	931,24±0,05	935,78±0,24
Proteína bruta	305,18±0,60	294,64±0,003	301,51±0,01	296,86±0,77
Extrato etéreo ¹	60,55±0,66	64,60±0,16	72,05±0,06	64,55±0,40
Energia bruta (kcal.kg ⁻¹)	4.599±1,66	4.519±27,89	4.485±5,85	4.529±14,40
Aminoácidos essenciais ² (g/kg)				
Arginina	22,23±0,02	21,24±0,006	21,65±0,0007	21,00±0,04
Fenilalanina	14,07±0,002	13,48±0,02	13,65±0,006	13,56±0,04
Histidina	6,05±0,008	5,83±0,01	6,69±0,02	5,39±0,001
Isoleucina	12,70±0,02	12,12±0,001	12,30±0,01	12,02±0,02
Leucina	24,79±0,01	23,79±0,04	24,15±0,008	23,96±0,08
Lisina	15,46±0,03	14,90±0,02	15,18±0,03	16,46±0,01
Metionina	4,79±0,01	4,75±0,03	4,88±0,01	4,73±0,007
Treonina	12,92±0,001	12,56±0,02	12,84±0,003	12,01±0,002
Triptofano	2,63±0,05	2,64±0,01	2,54±0,02	2,58±0,002
Valina	16,94±0,01	16,33±0,003	16,54±0,003	17,03±0,02
Aminoácidos não essenciais ² (g/kg)				
Ácido aspártico	22,99±0,08	22,07±0,11	22,18±0,09	21,99±0,008
Ácido glutâmico	45,39±0,02	42,71±0,03	43,91±0,002	44,88±0,08
Alanina	17,55±0,02	16,93±0,03	17,17±0,03	15,59±0,09
Cistina	9,43±0,02	8,68±0,03	8,53±0,07	8,19±0,02
Glicina	23,25±0,0009	22,12±0,01	22,59±0,02	22,86±0,04
Serina	21,82±0,01	20,83±0,04	21,28±0,03	21,11±0,01
Tirosina	10,90±0,01	10,87±0,05	11,02±0,08	10,00±0,007

¹Valores determinados pelo Laboratório de Análise de Alimentos do Departamento de Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá – DZO/UEM;

²Valores determinados pela Ajinomoto do Brasil Indústria e Comércio de Alimentos Ltda, São Paulo, Brasil.

TABELA 4. Desempenho zootécnico dos juvenis de tilápias do Nilo alimentados com dietas com inclusão de 10% de farinha de penas elaboradas com variação de pressão e tempo de hidrólise

	Farinha de Penas Hidrolisada							
	Pressão (kgf/cm ²)		Valor de P	Tempo (minutos)		Valor de P	DP	Valor de P interação Pressão x Tempo
	2,5	3,5		20	30			
Peso inicial (g)	6,79	6,80	0,70	6,79	6,80	0,41	0,02	0,70
Peso final (g)	42,74	41,62	0,26	41,76	42,60	0,41	1,96	0,93
GP (g/peixe)	35,94	34,82	0,26	34,97	35,79	0,41	1,96	0,93
CA	1,10	1,09	0,72	1,09	1,10	0,57	0,05	0,25
TEP	2,59	2,63	0,65	2,61	2,61	0,96	0,15	0,50
ERP (%)	50,70	50,27	0,84	49,43	51,54	0,31	4,06	0,31
Sobrevivência (%)	97,00	98,00	0,70	97,00	98,00	0,70	0,63	0,72

DP = desvio padrão; GP = ganho em peso; TEP = taxa de eficiência proteica; ERP = eficiência de retenção de proteína

TABELA 5. Composição físico-química dos juvenis de tilápias do Nilo alimentados com dietas com inclusão de 10% de farinha de penas elaboradas com variação de pressão e tempo de hidrólise (matéria natural)

Composição (g/100g)	Farinha de Penas Hidrolisada							
	Pressão (kgf/cm ²)		P	Tempo (minutos)		P	DP	P Pressão x Tempo
	2,5	3,5		20	30			
Umidade	70,81	71,28	0,10	71,35a	70,74b	0,02	0,58	0,25
Energia bruta (cal/g)	1687,12	1654,64	0,15	1673,18	1668,59	0,84	44,86	0,07
Proteína bruta	11,97	12,02	0,86	11,99	12,00	0,97	0,52	0,06
Extrato etéreo	11,18	10,80	0,30	10,99	10,99	0,99	0,72	0,85
Matéria mineral	2,54	2,61	0,45	2,61	2,53	0,38	0,18	0,11

DP = desvio padrão

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O avanço na produção de tilápias no Brasil demanda rações que atendam às exigências nutricionais, pois o confinamento em altas densidades reduz a contribuição do alimento natural, ocorrendo total dependência da energia e nutrientes da dieta.

As proteínas e aminoácidos possuem funções importantes no organismo dos peixes, por isso é de suma importância determinar a quantidade e qualidade da proteína nos ingredientes utilizados para confecção das rações.

Os ingredientes de origem animal possuem elevados teores de proteína com adequado balanceamento de aminoácidos. Dentre esses ingredientes, a farinha de penas hidrolisada demonstra valor nutritivo para ser utilizado em dietas para organismos aquáticos, pois apesar da menor digestibilidade da proteína bruta e aminoácidos, possui elevados teores dos mesmos.

Embora a farinha de penas hidrolisada não apresente valores de coeficientes de digestibilidade aparente e coeficiente de absorção aparente que se comparem a outras farinhas de origem animal, farinha de vísceras, farinha de sangue e farinha de peixes, a farinha de penas possui altos valores totais de proteína e aminoácidos. Com o processamento adequado das penas, a farinha de penas hidrolisadas poderá ser utilizada na fabricação de rações para organismos aquáticos.

Durante o período experimental, a farinha de penas apresentou um aumento considerável do seu valor no mercado nacional. Este fato pode ter sido causado pela melhoria no processamento desse subproduto, aumentando sua qualidade e encarecendo o custo de produção. Outra possibilidade está na utilização da queratina, presente nas penas, na indústria de cosméticos.

Em função da elevada disponibilidade no Brasil, é possível viabilizar o uso de farinha de penas hidrolisada em rações de tilápias do Nilo quando a mesma apresentar valores que torne viável sua inclusão na dieta. A farinha de penas pode ser utilizada como fonte de aminoácidos essenciais e não essenciais. Mesmo apresentando proteína e aminoácidos de baixa digestibilidade, se forem considerados os níveis de inclusão adequados, a mesma pode e é utilizada em rações para organismos aquáticos, mas deve ser considerado o processamento, que influencia o valor nutricional e nutritivo da farinha de penas.