

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

MODELAGEM MATEMÁTICA DA PROTEÍNA DIGESTÍVEL  
E DETERMINAÇÃO DA DIGESTIBILIDADE DA PROTEÍNA  
E AMINOÁCIDOS EM INGREDIENTES DE ORIGEM  
VEGETAL PARA TILÁPIAS

Autor: Luiz Vítor Oliveira Vidal  
Orientador: Prof. Dr. Wilson Massamitu Furuya  
Co-orientador: Prof. Dr. Elias Nunes Martins

MARINGÁ  
Estado do Paraná  
Julho – 2012

MODELAGEM MATEMÁTICA DA PROTEÍNA DIGESTÍVEL  
E DETERMINAÇÃO DA DIGESTIBILIDADE DA PROTEÍNA  
E AMINOÁCIDOS EM INGREDIENTES DE ORIGEM  
VEGETAL PARA TILÁPIAS

Autor: Luiz Vítor Oliveira Vidal  
Orientador: Prof. Dr. Wilson Massamitu Furuya  
Co-orientador: Prof. Dr. Elias Nunes Martins

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  
Julho – 2012



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

**MODELAGEM MATEMÁTICA DA PROTEÍNA  
DIGESTÍVEL E DETERMINAÇÃO DA  
DIGESTIBILIDADE DA PROTEÍNA E  
AMINOÁCIDOS EM INGREDIENTES DE  
ORIGEM VEGETAL PARA TILÁPIAS**

Autor: Luiz Vitor Oliveira Vidal  
Orientador: Prof. Dr. Wilson Massamitu Furuya

TITULAÇÃO: Doutor em Zootecnia - Área de Concentração Produção  
Animal

APROVADA em 30 de julho de 2012.

Prof. Dr. Elias Nunes Martins

Prof. Dr. Paulo Cesar Pozza

Prof. Dr. Wilson Rogério Boscolo

Prof.ª Dr.ª Lílian Dena dos Santos

Prof. Dr. Wilson Massamitu

Furuya  
(Orientador)

*“Se A é o sucesso, então A é igual a X mais Y mais Z.  
O trabalho é X; Y é o lazer; e Z é manter a boca fechada.”*

*Albert Einstein*

Aos meus pais, pelo apoio incondicional

À minha família e amigos e colegas, pelo estímulo

À minha namorada, Andressa,  
pela companhia em todos os momentos...

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Maringá, por ter possibilitado meus estudos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (Capes), pela bolsa de estudos e financiamento.

Ao Prof. Dr. Wilson Massamitu Furuya, pela orientação e amizade.

Ao Prof. Dr. Elias Nunes Martins, pelo auxílio nas análises estatísticas e incentivo.

Aos Membros da Banca Examinadora, pelas sugestões e correções.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da UEM, pelos ensinamentos.

Aos colegas Tadeu, Mariana, Lorena e Thêmis, pelo auxílio na condução do experimento, análises químicas e pela amizade.

À Imcopa, pelo fornecimento dos farelos de soja.

À Sr<sup>a</sup>. Nora, da Alimentar, pela soja integral extrusada.

À Corn Products do Brasil, pelo fornecimento dos subprodutos do milho.

Ao Prof. Dr. Wilson Rogério Boscolo e o colega Dacley, pelo envio do trigo e subprodutos.

Aos colegas do Gemaq, Dihego, Diogo, Evandro e Volnei, pela ajuda na extrusão das rações.

À equipe do Aquanutri da Unesp/Botucatu, especialmente o Rafael, Renan e Mariucha, Vivian e Prof. Dr. Luiz Edivaldo Pezzato, pelo apoio na análise de cromo.

À Gisele, do Laboratório de Bromatologia da Unesp/Botucatu, pelo auxílio e dicas nas análises.

Ao Sr. Edgar Ishikawa, Sr. Eduardo Nogueira e Sra. Marianne Kutschenko, da Ajinomoto do Brasil, pelas análises de aminoácidos.

Aos funcionários da Codapar, Vítor, Cleiton e Geraldo, pelo auxílio na montagem da estrutura, transporte dos peixes

Aos funcionários do LANA, Creuza, Cleusa, e Augusto, pelo auxílio da realização das análises.

A todos que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

Luiz Vítor Oliveira Vidal, nascido na cidade de Salvador - BA, em 26 de dezembro de 1981, é filho de Jorge Luiz Silva Vidal e Valnice Souza Oliveira Vidal.

Em 2000, ingressou no curso de Medicina Veterinária da Universidade Federal da Bahia, onde, em 2006, obteve o título de Bacharel em Medicina Veterinária.

Em 2006, ingressou na especialização em Piscicultura da Universidade Federal de Lavras, onde em 2007, obteve o título de Especialista em Piscicultura.

Em 2008, ingressou no curso de Mestrado em Zootecnia – área de concentração Produção Animal, do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá, onde realizou estudos na área de Nutrição de Peixes e, em 2010, obteve o título de Mestre em Zootecnia.

Em 2010, ingressou no curso de Doutorado em Zootecnia – área de concentração Produção Animal, do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá, onde realizou estudos sobre Modelagem Matemática em Digestibilidade para Peixes e, em 2012 obteve o título de Doutor em Zootecnia.

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| LISTA DE TABELAS .....   | ix |
| LISTA DE FIGURAS.....  | xi |
| RESUMO.....  | 12 |
| ABSTRACT.....  | 14 |
| CAPITULO I .....   | 16 |
| INTRODUÇÃO GERAL.....  | 17 |
| 1.1.    Tilapicultura .....  | 17 |
| 1.2.    Valor nutritivo dos ingredientes.....  | 18 |
| 1.3.    Ingredientes de origem vegetal .....   | 19 |
| 1.3.1.    Milho e subprodutos.....   | 20 |
| 1.3.2.    Soja e subprodutos .....   | 21 |
| 1.3.3.    Trigo e subprodutos.....   | 21 |
| 1.3.4.    Fatores antinutricionais .....   | 23 |
| 1.4.    Modelagem matemática .....   | 24 |
| LITERATURA CITADA .....  | 27 |
| OBJETIVOS GERAIS.....  | 31 |
| CAPÍTULO II.....   | 32 |
| Modelagem matemática para proteína digestível em ingredientes de origem<br>vegetal para tilápias ..... | 33 |
| RESUMO .....   | 33 |
| ABSTRACT.....  | 34 |
| Introdução .....   | 35 |
| Material e métodos.....  | 36 |

|   |    |
|---|----|
| Resultados e discussão .....  | 39 |
| Conclusões .....  | 45 |
| Referências.....  | 46 |
| CAPÍTULO III.....   | 51 |
| Predição da proteína digestível do milho, soja, trigo e respectivos subprodutos em dietas extrusadas para tilápia do Nilo ..... | 52 |
| RESUMO:.....  | 52 |
| ABSTRACT.....   | 53 |
| Introdução .....  | 54 |
| Material e métodos.....   | 55 |
| Resultados e discussão .....  | 60 |
| Conclusões .....  | 65 |
| Referências.....  | 66 |
| CAPÍTULO IV .....   | 70 |
| Digestibilidade aparente da proteína e aminoácidos do milho, soja, trigo e respectivos subprodutos para tilápias do Nilo .....  | 71 |
| RESUMO .....  | 71 |
| ABSTRACT.....   | 72 |
| Introdução .....  | 73 |
| Material e métodos.....   | 74 |
| Resultados e discussão .....  | 79 |
| Conclusões .....  | 88 |
| Referências.....  | 89 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS .....  | 92 |

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO II

|   |    |
|---|----|
| Tabela II - 1 - Estatística descritiva da base de dados para o ajuste dos modelos.....  | 37 |
| Tabela II - 2 - Estatística descritiva da base de dados para validação dos modelos..  | 38 |
| Tabela II - 3 - Análise de trilha entre as variáveis de composição química, coeficiente de digestibilidade aparente da proteína bruta e a proteína digestível ..... | 40 |
| Tabela II - 4 - Modelos matemáticos ajustados para estimar a proteína digestível em ingredientes de origem vegetal para tilápias .....                              | 41 |
| Tabela II - 5 - Identidade dos modelos ajustados para estimar a proteína digestível em ingredientes de origem vegetal .....   | 43 |
| Tabela II - 6 - Parâmetros de validação e exatidão para os modelos ajustados para ingredientes de origem vegetal .....  | 44 |

### CAPÍTULO III

|   |    |
|---|----|
| Tabela III - 1 - Modelos ajustados para estimar a proteína digestível de ingredientes para peixes .....   | 55 |
| Tabela III - 2 - Composição da dieta-referência (na base de matéria seca).....  | 57 |
| Tabela III - 3 - Composição química do milho, soja, trigo e subprodutos (na base de matéria seca) .....   | 58 |
| Tabela III - 4 - Coeficiente de digestibilidade aparente da proteína bruta, proteína digestível observada para tilápia do Nilo e estimada por modelos matemáticos em ingredientes de origem vegetal (na base de matéria seca) ..... | 62 |
| Tabela III - 5 - Estatística para a regressão entre os valores obtidos e estimados de proteína digestível pelos Modelos I, II, III, IV, V .....   | 64 |

## CAPÍTULO IV

|   |    |
|---|----|
| Tabela IV - 1 - Composição da dieta-referência (na base de matéria seca).....   | 75 |
| Tabela IV - 2 - Composição química do milho, soja, trigo e subprodutos (na base de matéria seca) .....  | 76 |
| Tabela IV - 3 - Perfil de aminoácidos da dieta-referência e alimentos utilizados nas dietas experimentais (na base de matéria seca) .....   | 77 |
| Tabela IV - 4 - Coeficientes de digestibilidade aparente da proteína e aminoácidos do milho, soja, trigo e subprodutos.....   | 82 |
| Tabela IV - 5 - Análise de trilha entre a composição química e os coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta do milho, soja, trigo e subprodutos.....                             | 83 |
| Tabela IV - 6 - Correlação e coeficientes de determinação da regressão múltipla entre os coeficientes de digestibilidade da proteína bruta e aminoácidos do milho, soja, trigo e subprodutos..... | 84 |
| Tabela IV - 7 - Atendimento da exigência nutricional e distância Euclidiana entre o perfil digestível de aminoácidos e a exigência nutricional da tilápia do Nilo .....                           | 86 |

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO II

- Figura II - 1 - Validação independente do modelo obtido com dados de ingredientes alternativos..... 43
- Figura II - 2 - Validação independente do modelo obtido com dados de sementes e coprodutos..... 43

### CAPÍTULO III

- Figura III - 1 - Relação entre a PDE I e PDO ..... 63
- Figura III - 2 - Relação entre a PDE II e PDO..... 63
- Figura III - 3 - Relação entre a PDE III e PDO ..... 63
- Figura III - 4 - Relação entre a PDE IV e PDO ..... 63
- Figura III - 5 - Relação entre a PDE V e PDO ..... 63

### CAPÍTULO IV

- Figura IV - 1 - Raiz da Distância Euclidiana entre a exigência nutricional da tilápia do Nilo e o perfil digestível de aminoácidos dos ingredientes de origem vegetal..... 87

## RESUMO

Em três estudos foi utilizada a modelagem matemática como ferramenta para avaliação da digestibilidade de ingredientes de origem vegetal para tilápias e as relações entre nutrientes digestíveis e as exigências nutricionais da espécie. No primeiro estudo foram avaliados os valores de proteína digestível (PD), coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta (CDAPB), proteína bruta (PB), fibra bruta (FB), extrato etéreo (EE) e matéria mineral (MM) de ensaios biológicos obtidos na literatura, foram submetidos à regressão linear múltipla e análise de trilha, para todos os ingredientes e separados como sementes e coprodutos, além de ingredientes alternativos. Foi realizada a validação dos modelos ajustados por meio de dados independentes também obtidos em literatura. No segundo estudo, foram avaliados os modelos matemáticos ajustados para estimar a proteína digestível em ingredientes para diversas espécies de peixe, assim como vários grupos alimentares, verificando a aplicabilidade dos mesmos para ingredientes de origem vegetal, fornecidos a tilápias do Nilo em dietas extrusadas. No terceiro estudo foram avaliados os coeficientes de digestibilidade aparente da proteína e aminoácidos, a correlação entre estes valores. Os valores digestíveis dos aminoácidos foram comparados com a exigência nutricional da espécie em função da proteína digestível. Para o segundo e terceiro estudos foram utilizados juvenis de tilápia do Nilo com peso de  $30,38 \pm 4,52$  g, alimentados com uma dieta prática extrusada, com o óxido de cromo III como indicador de digestibilidade. O sistema de coleta de fezes foi o Guelph adaptado. Os peixes foram alimentados à saciedade, seis vezes, entre às 11h e às 16h, com a colocação dos tubos coletores às 17h para que a fezes sedimentassem durante à noite, para posterior coleta às 08h. No primeiro estudo, a análise de trilha estimou a proteína bruta como variável independente mais influente sobre a proteína digestível, independente da separação em subgrupos. Menos da metade da variação do CDAPB é justificada pela variação da composição química. O modelo para sementes e coprodutos foi o melhor entre os ajustados, em que foi utilizada somente uma variável independente para estimar a proteína digestível dos ingredientes e apresentou coeficientes de exatidão elevados e as hipóteses de nulidade individuais aceitas. Desta forma, os valores estimados, correspondem aos valores observados. No segundo estudo, nenhum dos modelos teve as hipóteses de nulidade aceitas, individuais ou conjuntas.

Porém, observou-se que modelos ajustados para grupos alimentares mais restritos foram mais eficientes, assim os dois modelos ajustados para sementes e coprodutos foram os que estimaram valores de PD mais próximos dos observados, destacando-se o modelo ajustado para espécies indistintas. No terceiro estudo, os coeficientes de digestibilidade aparentes foram altos para todos os ingredientes, sendo os mais baixos para os ingredientes ricos em fibra bruta, nos grupos do milho e trigo. Os coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta e aminoácidos revelaram alta correlação, com coeficiente de determinação de 100% nos três grupos avaliados. Apesar de deficiente em alguns aminoácidos, o grupo do trigo mostrou-se mais equilibrado com relação ao atendimento das exigências nutricionais da espécie, fato confirmado pela Distância Euclidiana, calculada na Análise de Agrupamento Hierárquico. O grupo da soja, apesar de não ser o mais próximo da exigência nutricional da espécie, mostra-se bastante útil na formulação, por apresentar excessos de alguns aminoácidos, como a lisina. Isso permite compensar as deficiências de outros alimentos importantes na formulação de dietas para peixes, como os do grupo do milho.

Palavras-chave: nutrição, estimativa, valor nutritivo, validação, exigências, nutriente limitante.

## ABSTRACT

In three studies the mathematical modeling was used as a tool for evaluating the digestibility of plant ingredients for tilapia and the relationships between digestible nutrients and nutritional requirements of the species. In the first, digestible protein (DP), apparent digestibility coefficient of crude protein (ADCCP), crude protein, crude fiber, ether extract and mineral matter of biological assays obtained from the literature were subjected to multiple linear regression and path analysis, to all ingredients and subgroups, as seeds and byproducts as well as alternative ingredients. The models were validated by independent data also obtained in the literature. In the second, mathematical models adjusted to estimate the digestible protein ingredients for various fish species were evaluated, as well as various feed groups to check their applicability to plant ingredients, provided to the tilapia in extruded diets. In the third study, the apparent digestibility of protein and amino acids were evaluated, as well as the correlation between these values. The digestible amino acids content of the ingredients were compared with the nutritional requirement of the species as a function of digestible protein. For the second and third studies juvenile Nile tilapia weighing  $30.38 \pm 4.52$  g were used, fed with a practical extruded diet, with chromium III ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) oxide as an indicator of digestibility. The system used for feces collection was adapted from Guelph. Fish were fed to satiation six times, between 11h and 16h, with the placement of the collector tubes at 17h for the stool sedimentation overnight and later collection at 08h. In the first study path analysis estimated the crude protein as the most influential independent variable on the digestible protein, independent of separation into subgroups. Less than half of the ADCCP variation is explained by the variation of the chemical composition. The model for seeds and byproducts was the best among the adjusted models: it uses only one independent variable to estimate the digestible protein

of the ingredients, showed high accuracy coefficients and the individual null hypothesis accepted, in this way, the estimated values do correspond to observed values. In the second study, none of the models had the null hypothesis accepted, either individual or paired. However, it was observed that models adjusted for more restricted feed groups were more efficient, so the two models adjusted for seeds and byproducts had the estimated values closer to the observed DP, especially the model adjusted for indistinct species. In the third study, the apparent digestibility coefficients were high for all ingredients, being the lowest ones for the crude fiber-rich ingredients, in the corn and wheat groups. The apparent digestibility of crude protein and amino acids showed high correlation with a determination coefficient of 100% in the three groups. Although deficient in certain amino acids, the wheat group was more balanced with respect to providing the nutritional requirements of the species, a fact confirmed by the Euclidean distance, calculated in the Hierarchical Cluster Analysis. The group of soybean, although not as close to the nutritional requirements of the species, appears to be quite useful for formulation, because it shows an excess of some amino acids, such as lysine. This compensates the deficiency of other important feeds in diet formulation for fish, such as the corn group.

Keywords: nutrition, estimate, nutritional value, validation, requirements, limiting nutrient

## **CAPITULO I**

## INTRODUÇÃO GERAL

### 1.1. Tilapicultura

A aquicultura é a criação de organismos aquáticos, incluindo peixes, moluscos, crustáceos e plantas aquáticas, em água doce, salobra e salgada. Até meados do século XX, a contribuição da aquicultura para a produção total de pescado era pequena, crescendo de 3,2 para 5,2% entre os anos de 1950 e 1970. Nas décadas de 1980 e 1990, a produção aquícola acumulou crescimento de 243,00 e 80,33%, respectivamente. Desta forma, a contribuição da aquicultura com o total de pescado produzido passou dos 30,57% no ano 2000 alcançando 44,85% em 2009 (FAO, 2011).

De 2000 a 2009, a produção mundial de tilápias pela aquicultura cresceu 160,27% contra 309,62% da produção brasileira, que representa 4,29% da produção mundial de 3,1 milhões de toneladas. O grupo tilápias já é o segundo mais produzido no mundo, em primeiro estão as carpas. Acredita-se que este grupo será o principal em algumas décadas pela gradual substituição das carpas por tilápias especialmente nos países asiáticos, que concentram mais de 80% da piscicultura mundial (FAO, 2011).

No Brasil, as tilápias já representam 31,99% da produção total da aquicultura, com produção de 132,957 toneladas (FAO, 2011). O crescimento da tilapicultura brasileira foi mais resultado da intensificação da atividade que do surgimento de grandes novos projetos ou aumento da área de produção, sendo atualmente utilizada para criação em tanques de terra e tanques-rede, em diversas regiões do país. Por ser considerada espécie de hábito alimentar onívoro, possui capacidade elevada de utilização dos nutrientes de origem vegetal e animal, o que permite maior flexibilidade para elaboração de rações de mínimo custo (Zimmermann & Fitzsimmons, 2004).

São conhecidas mundialmente mais de 100 espécies de tilápias agrupadas em seis gêneros: *Tilapia*, *Tristamella*, *Danakilia*, *Saroterodon*, *Oreochromis* e *Pelmatochromis*, além dos híbridos comerciais. Os registros mais antigos de cultivos de

tilápias são alguns desenhos, com mais de 4.000 anos, encontrados no Egito. Há 40 anos seu cultivo estava restrito a países como África e Jordânia (Trewavas, 1983).

Atualmente, as tilápias são conhecidas nos países tropicais e subtropicais do mundo todo. Das 100 espécies de tilápias reportadas, calcula-se que 20 são exploradas em cativeiro e as mais conhecidas são: *Tilápia rendalli*, *Tilápia zilli*, *Oreochromis mossambicus*, *Oreochromis niloticus*, *Oreochromis aureus* e *Oreochromis urolepis hornorum*, além dos híbridos interespecíficos. Estes peixes caracterizam-se por apresentar cores vivas, habitar em águas lânticas, realizar desova parcelada e possuir domínio territorial definido na época de reprodução para proteger sua prole (Lund & Figueira, 1989). As tilápias e seus híbridos possuem bons atributos para a exploração intensiva, como resistência ao manejo, alta produtividade por superfície explorada e bom rendimento econômico (Morales, 1995; Fitzsimmons, 2000).

A produção de tilápias em grande escala no Brasil está se fixando em grandes reservatórios de água pública, para a produção de peixes em tanques-rede, principalmente tilápias do Nilo. Busca-se, portanto, escala de produção necessária para redução de custos e, competir com outros países exportadores (Furuya et al., 2010). Assim, em muitas situações, são necessárias informações para melhorar o processo de elaboração de dietas, dadas as variações diárias dos preços das matérias-primas.

## **1.2. Valor nutritivo dos ingredientes**

Os peixes são animais pecilotérmicos, com dependência direta e indireta do ambiente, portanto mais afetados pelas variações de condições ambientais que animais terrestres. Os hábitos alimentares e as dietas dos peixes não só influenciam diretamente seu comportamento, integridade estrutural, saúde, funções fisiológicas, reprodução e crescimento, como também alteram as condições ambientais do sistema de produção – qualidade da água (Cyrino et al., 2010).

Para proporcionar saúde aos peixes confinados e minimizar impactos ambientais, é fundamental que se obtenham maiores informações do valor nutritivo dos alimentos e das necessidades nutricionais dessas espécies de peixes, as quais permitam balancear dietas para diferentes fases da vida. Em função do sistema intensivo de cultivo, procura-se nutrir os peixes de forma que suportem o rápido crescimento e o estresse a que estão constantemente expostos, minimizando desta forma as possíveis perdas (Pezzato et al., 2009).

A dieta influencia o comportamento, a integridade estrutural, a saúde, as funções fisiológicas, reprodução e o crescimento dos peixes. Pelo efeito sobre o crescimento, impacto ambiental e custo final da fórmula, a proteína é um dos componentes de maior importância nas dietas (Wilson, 2002). A formulação de dietas com base em proteína e aminoácidos digestíveis é mais acurada do que aquela com base em valores totais, pois, frequentemente, leva à redução do custo de produção e melhorias no desempenho e qualidade da carne (Pezzato et al., 2009).

A análise química e o primeiro indício do valor nutritivo de um alimento, porém o seu real valor, também depende da aceitabilidade e da capacidade do animal em aproveitar os nutrientes dos mesmos (Hepher, 1988). As espécies animais assimilam de forma diferente os alimentos, sendo essa variação quantificada por meio da determinação de seus coeficientes de digestibilidade (Pond et al., 2005). Portanto, a determinação da digestibilidade dos ingredientes é de fundamental importância para adequada formulação de dietas para peixes (Pezzato et al., 2004).

O termo digestibilidade refere-se ao desaparecimento de um nutriente pelo trato digestório, enquanto o termo disponibilidade é definido como a porção dos nutrientes consumidos que é absorvida no trato digestório e está disponível para o metabolismo animal (Sauer & Ozimek, 1986), obtida pela diferença entre a quantidade de energia ou nutriente consumido e a excretada nas fezes (Sakomura & Rostagno, 2007). A energia ou nutrientes contidos nas fezes representam as maiores perdas entre o consumo e a incorporação nos tecidos (Glencross et al., 2007).

A determinação da digestibilidade dos nutrientes de um alimento é o primeiro cuidado quando se pretende avaliar seu potencial de inclusão em dietas para peixes (NRC, 2011). Nesse contexto, a determinação do valor nutritivo disponível dos alimentos é fundamental para a atualização de tabelas de composição de alimentos e formulação das rações, visando aperfeiçoar o desempenho dos animais e minimizar o custo de produção (Sakomura & Rostagno, 2007).

### **1.3. Ingredientes de origem vegetal**

Os ingredientes de origem vegetal são amplamente utilizados na alimentação de tilápias. É possível formular dietas isentas de produtos de origem animal sem comprometer o crescimento e composição corporal, desde que suplementadas com aminoácidos industriais e fosfato bicálcico (Furuya et al., 2004). As principais fontes de

proteína de origem vegetal são os farelos de sementes oleaginosas, obtidos do material remanescente da extração de óleo da soja, semente de algodão, canola, amendoim e girassol (Friedman, 1996), além dos concentrados obtidos do processamento de alguns cereais (Wu et al., 1995). Os cereais são os principais ingredientes energéticos nas dietas, por serem fontes pouco onerosas e pela propriedade aglutinante do amido, necessário à boa formação dos peletes (Jobling et al., 2001).

### **1.3.1. Milho e subprodutos**

O milho é um dos cereais mais importantes produzidos no mundo e o Brasil, é o terceiro produtor mundial (Butolo, 2010). Como alimento, o milho é a principal fonte de energia na nutrição de monogástricos, pelo alto teor de carboidratos (Pond et al., 2005). É o cereal que apresenta o maior número de produtos industrializados, com base em carboidratos, principalmente amido, assim como outros componentes, tais como proteínas, óleos e vitaminas (Butolo, 2010).

Essas características fazem do milho um ingrediente frequente na nutrição de tilápias. Pela tendência herbívora, a tilápia aproveita grande parcela dos carboidratos presentes na dieta. Desta forma, elevar os níveis de carboidratos da dieta permite poupar a proteína da mesma (El-Sayed & Garling Jr, 1988).

Em relação à proteína, 73% do total estão no endosperma e 24% no embrião. No endosperma, a principal proteína é a zeína que é relativamente insolúvel e perfaz ao redor de 50% do total. Essa proteína é deficiente em aminoácidos essenciais, particularmente lisina e triptofano, o que torna a proteína total do milho pobre nesses aminoácidos (Butolo, 2010). A composição química do milho apresenta 78,8 g kg<sup>-1</sup> de proteína bruta, 36,5 g kg<sup>-1</sup> de gordura, 17,3 g kg<sup>-1</sup> de fibra bruta e 3940 kcal kg<sup>-1</sup> (Rostagno et al., 2011).

Para tilápias, a digestibilidade da proteína do milho é em torno de 90%, enquanto a da energia é considerada acima de 75% (Furuya et al., 2001; Pezzato et al., 2002; Gonçalves et al., 2005; Gonçalves et al., 2007).

Pelo processamento do milho, inúmeros subprodutos são gerados, normalmente após a extração dos carboidratos, resultando em ingredientes energéticos e proteicos, entre eles: o gérmen integral de milho; o gérmen desengordurado, resultado da extração do óleo do anterior, por meio de solvente; o glúten 21 é a parte fibrosa do grão após a extração da maior parte do amido, do glúten e do gérmen pelo processo empregado na

produção de amido; o glúten 60 é o produto obtido após remoção da maior parte do amido, gérmen e porções fibrosas, pelo método de processamento úmido, da fabricação do amido e xarope de glicose (Butolo, 2010).

Pezzato et al. (2002) avaliaram amostras de gérmen de milho, glúten de milho 21 e glúten de milho 60, com 100, 210 e 600 g kg<sup>-1</sup> de proteína bruta, respectivamente, e 4.924, 4.780 e 5.006 kcal kg<sup>-1</sup> de energia bruta. Os coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta foram de 87,00%, 89,88% e 95,96%, enquanto a digestibilidade aparente de energia foi 43,72%, 66,80% e 71,19%.

### **1.3.2. Soja e subprodutos**

A soja tem sua origem na China e é conhecida desde 2800 a.C. O grão de soja como fonte proteica e energética é considerado como uma das oleaginosas mais ricas e disponíveis do mundo. No Brasil, sua introdução é recente, na década de 1960, começando a tomar vulto logo a seguir, sendo que atualmente ocupa o 2º lugar na produção mundial (Butolo, 2010).

O farelo de soja e a soja integral são as principais fontes de proteína vegetal na nutrição animal (Butolo, 2010). Ao elevado teor proteico, de 370 g kg<sup>-1</sup> na soja integral a 868 g kg<sup>-1</sup> no isolado proteico (Pezzato et al., 2002; Silva et al., 2005; Dallagnol, 2010), está associado um excelente equilíbrio em aminoácidos, o que torna a soja o mais adequado alimento proteico vegetal para alimentação animal (Andriguetto et al., 2002).

O farelo de soja é o subproduto mais utilizado na alimentação animal, apresenta alto valor nutritivo para tilápias, com digestibilidade da matéria seca, proteína bruta e energia, acima de 70%, 90% e 70%, respectivamente (Furuya et al., 2001; Pezzato et al., 2002; Gonçalves et al., 2005; Gonçalves et al., 2007). O primeiro aminoácido limitante para tilápias é a metionina (Furuya et al., 2001) que, após suplementação adequada de aminoácidos industriais, permitiu a substituição total da proteína da farinha de peixes, sem prejuízo no desempenho e composição corporal (Furuya et al., 2004).

### **1.3.3. Trigo e subprodutos**

O trigo é um dos mais importantes cereais para a alimentação humana, parte do grão é transformada em farinha, para a fabricação de pão e inúmeros outros alimentos (Hertrampf & Piedad-Pascual, 2000). Em muitos países, o trigo tem sido utilizado como

uma das principais fontes de energia para aves. No Brasil, o trigo integral somente é utilizado na alimentação animal, quando em ocasião de sua colheita, condições climáticas desfavoráveis tornaram o produto desqualificado para a produção de farinha, em função do seu baixo peso específico (baixo rendimento de moagem), sendo denominado trigo geado (Butolo, 2010).

Em termos nutricionais, o trigo é classificado como trigo duro e mole, em função do seu efeito na composição da matriz nutricional, em especial, a proteína. O trigo duro tem uma maior proporção de proteína associada em teor de amido, portanto um valor de lisina mais alto. Esse tipo de trigo é utilizado para produção de pães, enquanto o trigo mole é utilizado somente para produtos de confeitaria. O trigo *durum* é utilizado na produção de massas alimentícias e é realmente de grande dureza. Essa característica física é pela forte ligação entre o amido e o teor de proteína mais elevado (Butolo, 2010).

A composição e o valor nutritivo do grão de trigo assemelham-se aos outros cereais. O teor de proteína é variável com valores de 88 a 120 g kg<sup>-1</sup>. Como nos outros cereais esta não é de boa qualidade, sendo deficiente nos aminoácidos leucina e alanina e, às vezes, em treonina. Os níveis de ácido glutâmico são superiores aos do milho. O trigo é pobre em cálcio, e comparado com os demais cereais é rico em fósforo, possui em média 20 g kg<sup>-1</sup> de gordura, praticamente a metade do milho (Hertrampf & Piedad-Pascual, 2000).

Durante o processo de limpeza do trigo, são separados os grãos quebrados, chochos, pequenos, sementes de outras plantas e outras impurezas, resultando a somatória no produto denominado triguilho (Butolo, 2010). Este alimento apresenta teores de proteína bruta, aminoácidos e fibras superiores aos do milho (Rostagno et al., 2011) e apresenta coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta e energia de 91,03 e 78,72%, respectivamente (Signor et al., 2007). Por outro lado, Boscolo et al. (2002) determinaram em 96,30 e 87,07% os coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta a energia do trigo integral, que de acordo com Rostagno et al. (2011) apresenta teor de fibra bruta menor que o triguilho.

Pelo seu processamento para a indústria alimentícia, o trigo apresenta uma série de subprodutos, entre eles: o farelo de trigo, composto pelo pericarpo, partículas finas de gérmen e demais camadas internas do grão e outros resíduos resultantes do processo industrial; o farelo de gérmen consiste do gérmen e outras pequenas partículas

resultantes do processo industrial do grão de trigo integral para a obtenção da farinha de trigo para consumo humano (Butolo, 2010).

O farelo de trigo apresenta em média  $156,2 \text{ g kg}^{-1}$  de proteína bruta,  $35 \text{ g kg}^{-1}$  de gordura,  $95 \text{ g kg}^{-1}$  de fibra bruta e  $3.914 \text{ kcal kg}^{-1}$  de energia bruta (Rostagno et al., 2011). Pelo seu alto percentual de fibra, apresenta poder laxativo (Andriguetto et al., 2002), em decorrência da estimulação dos movimentos peristálticos (Pond et al., 2005). Os coeficientes de digestibilidade variam entre 88,54 e 94,86% para proteína bruta e 71,57 e 91,29%, para energia bruta (Pezzato et al., 2002; Gonçalves et al., 2005; Gonçalves et al., 2007).

#### **1.3.4. Fatores antinutricionais**

A maioria dos ingredientes de origem vegetal é conhecida por conter uma grande variedade de fatores antinutricionais. Essas substâncias são conhecidas por interferir na utilização do ingrediente e afetar a saúde e produção dos animais, esse processo ocorre por efeito da própria substância ou por algum produto metabólico (Makkar, 1993).

Os fatores antinutricionais podem ser divididos em quatro grupos: Grupo 1 - fatores que afetam a digestão e utilização da proteína, como inibidores de proteases, taninos e lecitinas; Grupo 2 - fatores que afetam a utilização de minerais, que incluem os fitatos, gossipol, pigmentos, oxalatos e glicosinolatos; Grupo 3 - antivitaminas; Grupo 4 - substâncias em geral, como, micotoxinas, mimosina, cianogênicos, nitrato, alcaloides, agentes fotossensibilizantes, fitoestrógenos e saponinas. Os fatores podem também ser classificados quanto à resistência ao tratamento térmico, o mais comum utilizado para destruí-los. Os fatores termolábeis incluem os inibidores de proteases, fitatos, lecitinas, inibidores do hormônio tireoideano e antivitaminas; entre os termoestáveis estão as saponinas, polissacarídeos não-amiláceos, proteínas antigênicas, fitoestrógenos e alguns compostos fenólicos (Van Der Peol, 1989; Rumsey et al., 1993). Os oligossacarídeos podem sofrer aumento da digestibilidade após o tratamento térmico, enquanto o efeito do tratamento térmico sobre os taninos continua incerto (Francis et al., 2001).

Entre os fatores antinutricionais, o fitato é comum a todas as sementes (Francis et al., 2001). Este composto pode formar quelatos com íons di e tri-valentes como  $\text{P}^{+3}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{3+}$  e  $\text{Fe}^{3+}$ , resultando na indisponibilidade destes íons aos animais

(Jobling et al., 2001). O fitato também pode reduzir a digestibilidade da proteína e aminoácidos, ao formar complexos fitato-proteína (Richardson et al., 1985).

Apesar da boa possibilidade de uso dos produtos e subprodutos da soja, deve-se considerar a presença de diversos fatores antinutricionais. Várias substâncias prejudiciais à nutrição dos monogástricos são constituintes naturais das sementes de soja, entre eles (Andrighetto et al., 2002): os inibidores de tripsina são compostos proteicos que se complexam com a tripsina, enzima pancreática, prejudicando a digestão das proteínas alimentares já desdobradas pela ação da pepsina, prejudicando a quebra das cadeias proteicas que liberariam os aminoácidos para absorção intestinal; as hemaglutininas (lectinas) são albuminas solúveis em água que interagem com as glicoproteínas presentes nas membranas celulares dos glóbulos vermelhos, aglutinando-os. As células do epitélio do intestino grosso em presença das hemaglutininas tendem a se unir prejudicando a absorção de nutrientes.

#### **1.4. Modelagem matemática**

Um dos principais desafios dos nutricionistas da produção animal é encontrar uma relação estatística entre variáveis, na tentativa de definir a possível relação casual entre elas, em que magnitude uma variável afeta a outra, e estimar o valor de uma variável, a partir de outra facilmente mensurável (Dhanoa et al., 2008).

O uso de equações de predição do conteúdo digestível do alimento, com base em parâmetros químicos e físicos dos alimentos, é um método indireto para estimar a disponibilidade de um nutriente (Dhanoa et al., 2008). É uma importante ferramenta para a formulação de dietas, já que os demais métodos necessitam da realização de ensaios biológicos e dependem de metodologias de difícil execução pela indústria de maior tempo para obter resultados (Sakomura & Rostagno, 2007). Além disso, a capacidade destes experimentos é limitada e não é prático avaliar alimentos em larga escala. Por isso, algumas alternativas laboratoriais são adotadas e estes resultados obtidos mais facilmente por testes de rotina, menos onerosos, podem ser aplicados a situações *in vivo* com o uso de modelos de regressão. Desta forma, estimar a digestibilidade de um ingrediente a partir da composição química, tornou-se uma necessidade para os sistemas de criação (Dhanoa et al., 2008). Wood e Capstick; Titus; Broodt e Proctor; Blaxter e Wood estão entre os primeiros nutricionistas a utilizar equações de regressão para estimar exigências em nutrientes (Harris et al., 1972).

Equações de regressão linear podem ser escritas na forma:

$$\hat{Y}_{ijk\dots q} = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2j} + \beta_3 X_{3k} + \dots + \beta_n X_{nq}.$$

Em que:  $\beta_0$  é o intercepto de Y e X = 0 (constante da regressão) e  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots$  são as respectivas mudanças em Y por unidade de mudança (coeficiente de regressão) das variáveis independentes  $X_1, X_2, X_3$ . Com apenas uma variável independente, são denominadas regressões simples, e com mais de uma, regressões múltiplas. Normalmente uma forma mais acurada da variável dependente é estimada utilizando regressão múltipla (Rencher & Schaalje, 2008).

Pela convenção estatística usual, a variável dependente é designada Y (Sampaio, 2007) e a variável independente X. Cada variável independente incluída na equação fará a variável Y flutuar de maneira única. Uma regressão significativa ou mudança de uma variável em relação à outra indica possibilidade de estimar uma variável desconhecida por outra conhecida (Lindsey, 1997).

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) estima a proporção da variável dependente que está associada com as variáveis independentes, este valor varia entre 0 e 1. Quando a regressão múltipla é utilizada, cada nova variável independente adicionada à equação deve estar associada a uma variação da variável dependente de forma que o  $R^2$  se aproxime a 1 (Bhujel, 2008).

A relação entre variáveis pode ser uma regressão linear. Vários processos biológicos podem ser descritos por modelos lineares; em alguns casos, o processo realmente tem tendência linear ou porque em intervalos curtos, qualquer processo pode ser explicado por um modelo linear (Dhanoa et al., 2008).

A análise de regressão *stepwise* pode determinar que a variável independente está associada à maior mudança na variável dependente. Variáveis adicionais são incluídas na equação até que uma nova não mude significativamente o  $R^2$  (*stepwise forward*) ou variáveis deixam de ser retiradas a partir do momento que começam a diminuir significativamente o  $R^2$  (*stepwise backward*) (Harris et al., 1972).

A modelagem matemática já foi amplamente utilizada para estimar lipídios digestíveis (Hua & Bureau, 2009a; Sales, 2009a), fósforo disponível (Hua & Bureau, 2006), carboidratos (Hua & Bureau, 2009b). Sales (2008) ajustou equações para estimar o valor de proteína digestível em alimentos para peixes, porém não obteve sucesso em ajustar modelos adequados para energia digestível (Sales, 2009b).

A análise dos dados de 617 médias de 69 estudos, que avaliaram proteína digestível de 73 ingredientes para 35 espécies de peixes, resultou na equação linear:  $PD = -10,0731 + 0,8942 \times PB$  ( $R^2 = 0,9462$ ) entre proteína bruta ( $\text{g kg}^{-1}$  de matéria seca) e proteína digestível ( $\text{g kg}^{-1}$  de matéria seca). Para dietas ( $n = 831$ , 170 estudos, 49 espécies) foi ajustada a equação:  $PD = -10,0731 + 0,9462 \times PB$  ( $R^2 = 0,8632$ ). A validação por estudos independentes revelou alto grau de concordância ( $R^2 = 0,80$  e erro médio de predição  $<0,11$ ) entre valores determinados e estimados (Sales, 2008).

O conteúdo de lipídios digestíveis (LD) (de 7,6 a 353,4  $\text{g kg}^{-1}$  de matéria seca) pode ser estimado com grande acurácia ( $n = 610$ ; estudos = 127; espécies = 34) do conteúdo de extrato etéreo da dieta (de 12,0 a 388,7  $\text{g kg}^{-1}$  de matéria seca) pela equação linear  $LD = -2,7303 + 0,9123 \times EE$  ( $R^2 = 0,9515$ ). A validação contra 65 valores obtidos em 15 estudos apresentou  $R^2$  e erro de predição médio de 0,9947 e 0,0671, respectivamente. Foram avaliados dados da equação correspondente para 37 ingredientes de 24 estudos em 18 espécies de peixes ( $n = 180$ ) foi:  $LD = -1,5824 + 0,8654 \times EE$  ( $R^2 = 0,9717$ ) (Sales, 2009a).

Os métodos de digestibilidade *in vivo*, quando comparados aos valores estimados por meio de equações de predição, têm custos bem mais altos, elevados graus de complexidade e exigem muito mais tempo para sua realização. A modelagem foi introduzida recentemente em estudos nutricionais visando a estimativa de nutrientes digestíveis, como pode ser observado nos trabalhos realizados por Sales (2008), Sales (2009a), Sales (2009b) e Hua e Bureau (2009a).

O uso de regressões lineares na nutrição é uma importante ferramenta para auxiliar a elaboração de rações para organismos aquáticos. A elaboração de modelos individualizados tanto para alimentos como para espécies permitirá a obtenção de dados aplicáveis a cada realidade de criação e respectivas particularidades fisiológicas dos peixes que, por sua vez, podem influenciar no aproveitamento dos alimentos.

## LITERATURA CITADA

- ANDRIGUETTO, J. M.; PERLY, L.; MINARDI, I. et al. **Nutrição Animal: As bases e os fundamentos da nutrição animal. Os alimentos.** São Paulo: Nobel, 2002. 395p.
- BHUJEL, R. C. **Statistics for aquaculture.** Ames: Wiley-Blackwell, 2008.
- BOSCOLO, W. R.; HAYASHI, C.; MEURER, F. Digestibilidade Aparente da Energia e Nutrientes de Alimentos Convencionais e Alternativos para a Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*, L.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, p.539-545, 2002.
- BUTOLO, J. E. **Qualidade de Ingredientes na Alimentação Animal.** 2.ed. Campinas: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, 2010. 430p.
- CYRINO, J. E. P.; BICUDO, Á. J. D. A.; SADO, R. Y. et al. A piscicultura e o ambiente: o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.68-87, 2010.
- DALLAGNOL, J. M. **Digestibilidade aparente de derivados de soja, parâmetros hematológicos e desempenho de juvenis de tilápia do Nilo.** 2010. (Mestrado). Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, Toledo.
- DHANOVA, M. S.; LÓPEZ, S.; FRANCE, J. Linear Models for Determining Digestibility. In: FRANCE, J. e KEBREAB, E. (Ed.). **Mathematical Modelling in Animal Nutrition.** 1. Wallingford: CAB International, 2008. cap. 2, p.12-46.
- EL-SAYED, A.-F. M.; GARLING JR, D. L. Carbohydrate-to-lipid ratios in diets for *Tilapia zillii* fingerlings. **Aquaculture**, v.73, n.1-4, p.157-163, 1988.
- FAO. **FishStatJ, a tool for fishery statistics analysis.** Rome: FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations 2011.
- FITZSIMMONS, K. Tilapia: The most important aquaculture species of the 21st Century. In: Symposium on tilapia aquaculture, 2000. Rio de Janeiro. SRG Gráfica & Editora LTDA. p.3-8.
- FRANCIS, G.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. **Aquaculture**, v.199, n.3-4, p.197-227, 2001.
- FRIEDMAN, M. Nutritional Value of Proteins from Different Food Sources. A Review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.44, n.1, p.6-29, 1996/01/011996.
- FURUYA, W. M.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M. et al. **Tabelas Brasileiras para a nutrição de tilápias.** 1.ed. Toledo: GFM Gráfica & Editora, 2010. 100p.

- FURUYA, W. M.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M. et al. Use of ideal protein concept for precision formulation of amino acid levels in fish-meal-free diets for juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). **Aquaculture Research**, v.35, n.12, p.1110-1116, 2004.
- FURUYA, W. M.; PEZZATO, L. E.; PEZZATO, A. C. et al. Coeficientes de digestibilidade e valores de aminoácidos digestíveis de alguns ingredientes para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, p.1143-1149, 2001.
- 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**, v.13, n.1, p.17-34, 2007.
- GONÇALVES, G. S.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M. et al. Efeitos da suplementação de fitase sobre a disponibilidade aparente de Mg, Ca, Zn, Cu, Mn e Fe em alimentos vegetais para a tilápia-do-nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, p.2155-2163, 2005.
- GONÇALVES, G. S.; PEZZATO, L. E.; PADILHA, P. D. M. et al. Disponibilidade aparente do fósforo em alimentos vegetais e suplementação da enzima fitase para tilápia-do-nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, p.1473-1480, 2007.
- HARRIS, L. E.; KEAEL, L. C.; FONNESBECK, P. V. Use of Regression Equations in Predicting Availability of Energy and Protein. **Journal of Animal Science**, v.35, n.3, p.658-680, 1972.
- HEPHER, B. **Nutrition of pond fishes**. 1.ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1988.
- HERTRAMPF, J. W.; PIEDAD-PASCUAL, F. **Handbook on Ingredients for Aquaculture Feeds**. 1.ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- HUA, K.; BUREAU, D. P. Modelling digestible phosphorus content of salmonid fish feeds. **Aquaculture**, v.254, n.1-4, p.455-465, 2006.
- HUA, K.; BUREAU, D. P. Development of a model to estimate digestible lipid content of salmonid fish feeds. **Aquaculture**, v.286, n.3-4, p.271-276, 2009a.
- HUA, K.; BUREAU, D. P. A mathematical model to explain variations in estimates of starch digestibility and predict digestible starch content of salmonid fish feeds. **Aquaculture**, v.294, n.3-4, p.282-287, 2009b.
- JOBLING, M.; GOMES, E.; DIAS, J. Feed Types, Manufacture and Ingredients. In: HOULIHAN, D.;BOUJARD, T. e JOBLING, M. (Ed.). **Food Intake in Fish**. London: Blackwell Science Ltd, 2001. cap. 2, p.25-48.
- LINDSEY, J. K. **Applying Generalized Linear Models**. New York: Springer-Verlag, 1997. 276p.

- LUND, V. X.; FIGUEIRA, M. L. O. A. **Criação de tilápias**. São Paulo: Nobel, 1989. 63p.
- MAKKAR, H. P. S. Antinutritional factors in foods for livestock. In: GILL, M.; OWEN, E.; POLLOT, G. E. e LAWRENCE, T. L. J. (Ed.). **Animal Production in Developing Countries. Occasional publication No. 16**. London: British Society of Animal Production, 1993. p.69–85.
- MORALES, A. **La tilapia en México. Biología, cultivo e pesquerias**. Mexico City: AGT Editores S.A., 1995.
- NRC. **Nutrient Requirements of fish and shrimp**. Washington: The National Academy Press, 2011. 376p.
- PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M.; FRACALOSSO, D. M. et al. Nutrição de Peixes. In: CYRINO, J. E. P.; URBINATI, E. C.; FRACALOSSO, D. M. e CASTAGNOLLI, N. (Ed.). **Tópicos Especiais em Piscicultura de Água Doce Tropical Intensiva**. São Paulo: TecArt, 2004. cap. 5, p.75 – 170.
- 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.
- PEZZATO, L. E.; MIRANDA, E. C. D.; BARROS, M. M. et al. Digestibilidade Aparente de Ingredientes pela Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, p.1595-1604, 2002.
- POND, W. G.; CHURCH, D. C.; POND, K. R. **Basic animal nutrition and feeding**. 1.ed. Hoboken: Wiley, 2005. 608p.
- RENCHER, A. C.; SCHAALJE, G. B. **Linear models in statistics**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2008. 617p.
- RICHARDSON, N. L.; HIGGS, D. A.; BEAMES, R. M. et al. Influence of Dietary Calcium, Phosphorus, Zinc and Sodium Phytate Level on Cataract Incidence, Growth and Histopathology in Juvenile Chinook Salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). **The Journal of Nutrition**, v.115, n.5, p.553-567, May 1, 1985.
- ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; DONZELE, J. L. et al. **Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos - Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa – Departamento de Zootecnia, 2011. 252p.
- RUMSEY, G. L.; HUGHES, S. G.; WINFREE, R. A. Chemical and nutritional evaluation of soya protein preparations as primary nitrogen sources for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Animal Feed Science and Technology**, v.40, n.2-3, p.135-151, 1993.

- SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. 1.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2007.
- SALES, J. The use of linear regression to predict digestible protein and available amino acid contents of feed ingredients and diets for fish. **Aquaculture**, v.278, n.1-4, p.128-142, 2008.
- SALES, J. Linear models to predict the digestible lipid content of fish diets. **Aquaculture Nutrition**, v.15, n.5, p.537-549, 2009a.
- SALES, J. Prediction of digestible energy content across feed ingredients and fish species by linear regression. **Fish Physiology and Biochemistry**, v.35, n.4, p.551-565, 2009b.
- SAUER, W. C.; OZIMEK, L. Digestibility of amino acids in swine: Results and their practical applications. A review. **Livestock Production Science**, v.15, n.4, p.367-388, 1986.
- SIGNOR, A. A.; BOSCOLO, W. R.; FEIDEN, A. et al. Triguilho na alimentação da tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus* L.): digestibilidade e desempenho. **Ciência Rural**, v.37, p.1116-1121, 2007.
- SILVA, T. S. D. C.; FURUYA, W. M.; SANTOS, V. G. D. et al. Apparent digestibility coefficients of energy and nutrients of full-fat soybean meal with and without phytase for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.27, n.3, p.371-376, 2005.
- TREWAVAS, E. **Tilapine fishes of the genera Sarotherodon, Oreochromis and Danakilia**. London: British Museum (Natural History), 1983. 427p.
- VAN DER PEOL, A. F. B. Effects of processing on antinutritional factors (ANF) and nutritional value of legume seeds for non-ruminant feeding. In: HUISMAN, J.; VAN DER PEOL, A. F. B. e LIENER, I. E. (Ed.). **Recent Advances of Research in Antinutritional Factors in Legume Seeds**. Wageningen: Pudoc, 1989. p.213-229.
- WILSON, R. P. Amino acids and proteins. In: HALVER, J. E. e HARDY, R. W. (Ed.). **Fish Nutrition**. 3. San Diego: Elsevier, 2002. cap. 3, p.144-181.
- WU, Y. V.; ROSATI, R. R.; SESSA, D. J. et al. Evaluation of Corn Gluten Meal as a Protein Source in Tilapia Diets. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.43, n.6, p.1585-1588, 1995/06/011995.
- ZIMMERMANN, S.; FITZSIMMONS, K. Tilapicultura intensiva. In: CYRINO, J. E. P.; URBINATI, E. C.; FRACALOSSO, D. M. e CASTAGNOLLI, N. (Ed.). **Tópicos Especiais em Piscicultura de Água Doce Tropical Intensiva**. São Paulo: TecArt, 2004. p.239-266.

## **OBJETIVOS GERAIS**

Utilizar a modelagem matemática como ferramenta para avaliação da digestibilidade de ingredientes de origem vegetal para tilápias e as relações entre nutrientes digestíveis às exigências nutricionais da espécie.

## **CAPÍTULO II**

## **Modelagem matemática para proteína digestível em ingredientes de origem vegetal para tilápias**

**RESUMO:** O objetivo deste estudo foi ajustar modelos obtidos em experimentos, publicados em artigos científicos para estimar a proteína digestível (PD) em alimentos de origem vegetal para tilápias, utilizando valores de proteína bruta, fibra bruta, extrato etéreo e matéria mineral, bem como a proteína digestível e o coeficiente de digestibilidade aparente da proteína bruta (CDAPB), obtidos na literatura científica. Os ingredientes foram separados em dois subgrupos, sementes e subprodutos e alternativos (em sua maioria subprodutos do processamento de raízes e frutas). Os dados foram submetidos à regressão linear múltipla “*stepwise backward*” e análise de trilha para estimar os efeitos diretos e indiretos da composição química sobre a PD e CDAPB. Para validar o modelo, foram utilizados dados de estudos independentes. Foi obtida a identidade dos modelos para determinar se há diferença em separar a base de dados em subgrupos ou elaborar um modelo geral. A separação em subgrupos possibilitou a utilização de apenas uma variável para estimar a proteína digestível, o modelo mais eficiente foi o ajustado para sementes e subprodutos:  $PD (g kg^{-1}) = -19.417 + 0.950 \times PB$ ;  $R^2 = 0.992$ . Os coeficientes de exatidão deste modelo foram elevados e foram aceitas as hipóteses de nulidade individuais dos parâmetros da regressão de validação, desta forma, os valores estimados correspondem aos observados.

Palavras-chave: digestibilidade, estimativa, nutrição, *Oreochromis niloticus*, proteína bruta, regressão múltipla

### **Mathematical modeling for digestible protein values of vegetal feeds for tilapia**

**ABSTRACT:** The objective of this study was to adjust models to estimate the digestible protein (DP) in vegetal feeds for tilapia from the chemical analysis, using the crude protein (CP), crude fiber (CF), ether extract (EE) and mineral matter (MM), as well as digestible protein and apparent digestibility coefficient of crude protein (ADCCP), obtained in experiments and published in scientific articles. The ingredients were separated into two subgroups, seeds and by-products. The data were subjected to multiple linear regression "stepwise backward method" and path analysis to estimate the direct and indirect effects of the chemical composition on the DP and ADCCP. Data from independent studies were used to validate the model. The identity of the models was obtained to determine possible differences between the whole database model and the subgroups. The separation into subgroups allowed the use of only one variable to estimate the digestible protein and increased de  $R^2$ , the most efficient model was that adjusted for seeds and byproducts:  $DP (g kg^{-1}) = -19.417 + 0.950 \times CP$ ;  $R^2 = 0.992$ . The model has high accuracy rates and the individual null hypotheses were accepted, so that the estimated values correspond to those observed.

**Keywords:** digestibility, estimate, nutrition, *Oreochromis niloticus*, crude protein, multiple regression

## Introdução

O grupo das tilápias é importante em vários países, sobretudo naqueles de clima tropical e subtropical, pois se destacam pelo rápido crescimento, rusticidade (Furuya et al., 2010) e hábito alimentar onívoro, com tendência herbívora (El-Sayed, 2006). Em 2009, a produção mundial deste grupo superou 3 milhões de toneladas e o Brasil, contribuiu com 4% deste volume (FAO, 2011).

A nutrição representa de 50 a 80% dos custos variáveis da aquicultura, influencia o crescimento, saúde, qualidade do produto e produção de dejetos (NRC, 2011). Os ingredientes de origem vegetal são muito utilizados na nutrição de tilápias (Furuya et al., 2004). As principais fontes proteicas são os farelos de sementes oleaginosas (Friedman, 1996) e concentrados obtidos de alguns cereais (Wu et al., 1995). Os cereais são os principais ingredientes energéticos, por serem menos onerosos e pela propriedade aglutinante do amido, necessários à boa formação dos peletes (Jobling et al., 2001).

O conhecimento da digestibilidade dos nutrientes permite a formulação de dietas mais precisas, que evitam a sobrecarga fisiológica e ambiental (Pezzato et al., 2009). Esses dados são obtidos em experimentos com base em coleta fecal, metodologia comum em ciência animal, que em piscicultura depende de instalações e pessoal especializado (Glencross et al., 2007).

A modelagem matemática é um método indireto para estimar o conteúdo proteico digestível dos alimentos. É uma importante ferramenta para a formulação de dietas, pois permite estimar o valor nutritivo, a partir de informações obtidas em análises de rotina (Sakomura & Rostagno, 2007).

Alguns modelos já foram ajustados para peixes, alguns generalizados: lipídios digestíveis (Sales, 2009) e proteína digestível (Sales, 2008); e outros para salmonídeos: lipídios digestíveis (Hua & Bureau, 2009) e fósforo disponível (Hua & Bureau, 2006).

A diversidade da anatomia e fisiologia digestiva dos peixes provoca diferenças na capacidade de cada espécie em utilizar os ingredientes (Rodrigues et al., 2012). Portanto, é necessário o ajuste de modelos restritos a grupos com fisiologia digestiva semelhante.

O objetivo do estudo foi ajustar modelos que estimem a proteína digestível, calcular os efeitos da composição química sobre a proteína digestível e coeficiente de digestibilidade aparente da proteína bruta, em ingredientes de origem vegetal para tilápias.

## Material e métodos

Dados de composição química, proteína digestível e coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta de ingredientes de origem vegetal foram coletados de artigos científicos publicados entre 2002 e 2012, a maioria obtida para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). A pesquisa foi conduzida nas bases de dados *Scopus* e *ISI Web of Science*.

Foram utilizados artigos que continham valores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra bruta (FB), extrato etéreo (EE), matéria mineral (MM), variáveis independentes; proteína digestível (PD) e coeficiente de digestibilidade aparente da proteína bruta (CDAPB), variáveis dependentes. Entre os ingredientes da base de dados, encontram-se sementes e coprodutos além de ingredientes alternativos (compostos principalmente por resíduos do processamento de mandioca, frutas e alimentos fibrosos). O extrativo não-nitrogenado foi excluído das análises por ser a diferença entre a MS o somatório da PB, FB, EE e MM, torna-se uma variável dependente. Ao final da seleção foram obtidos 13 trabalhos, num total de 50 observações (Tabela II - 1). Para padronização, os valores de composição química e digestibilidade foram expressos em base de matéria seca.

Primeiramente, foi realizada análise de trilha para estimar os efeitos diretos e indiretos das variáveis de composição química sobre a PD e CDAPB. Após, para o ajuste dos modelos, os dados foram submetidos à regressão linear múltipla, de acordo com o modelo abaixo:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \beta_3 X_{i3} + \beta_4 X_{i4} + e_i$$

Em que:  $Y_i$  = PD do alimento determinado em ensaio metabólico no  $i$ -ésimo estudo;  $\beta_0$  = constante;  $X_{i1}$ ,  $X_{i2}$ ,  $X_{i3}$  e  $X_{i4}$  = variáveis de composição química do alimento, no  $i$ -ésimo estudo, respectivamente, PB, FB, EE e MM.

Foi utilizado o método *backward stepwise* para remover variáveis não-significativas ( $p < 0,05$ ). Foram ajustados três modelos, sendo eles: modelo geral (MG), modelo para sementes e coprodutos (MSC) e ingredientes alternativos (MAL), adaptado de Villamide e Fraga (1998) e (Sales, 2008). Este procedimento foi realizado para verificar se a separação em subgrupos aumenta a eficiência dos modelos.

Tabela II - 1 - Estatística descritiva da base de dados para o ajuste dos modelos

| Tipo                         | Variável<br>(g kg <sup>-1</sup> ) | N  | Média  | Desvio-padrão | Coefficiente<br>de<br>Variação (%) | Mínimo | Máximo |
|------------------------------|-----------------------------------|----|--------|---------------|------------------------------------|--------|--------|
| Geral                        | PB                                | 50 | 257,60 | 207,17        | 80,43                              | 11,30  | 700,70 |
|                              | EE                                |    | 45,14  | 43,11         | 95,50                              | 3,40   | 207,83 |
|                              | FB                                |    | 148,02 | 168,13        | 113,58                             | 3,44   | 766,30 |
|                              | MM                                |    | 58,96  | 39,58         | 67,13                              | 6,40   | 185,00 |
|                              | CDAPB<br>(%)                      |    | 79,22  | 13,47         | 17,00                              | 50,80  | 99,20  |
| Sementes<br>e coprodutos     | PD                                | 34 | 219,45 | 197,24        | 89,88                              | 8,77   | 645,47 |
|                              | PB                                |    | 313,61 | 218,52        | 69,68                              | 46,41  | 700,70 |
|                              | EE                                |    | 46,25  | 46,22         | 99,92                              | 10,00  | 207,83 |
|                              | FB                                |    | 87,31  | 95,51         | 109,39                             | 3,44   | 469,60 |
|                              | MM                                |    | 52,42  | 32,34         | 61,69                              | 6,40   | 106,93 |
| Ingredientes<br>alternativos | CDAPB<br>(%)                      | 16 | 84,17  | 10,87         | 12,92                              | 56,77  | 99,20  |
|                              | PD                                |    | 278,41 | 208,32        | 74,82                              | 29,24  | 645,47 |
|                              | PB                                |    | 138,57 | 113,70        | 82,05                              | 11,30  | 410,00 |
|                              | EE                                |    | 42,78  | 36,93         | 86,32                              | 3,40   | 130,50 |
|                              | FB                                |    | 277,04 | 214,84        | 77,55                              | 31,00  | 766,30 |
|                              | MM                                | 16 | 72,86  | 50,14         | 68,82                              | 9,80   | 185,00 |
|                              | CDAPB<br>(%)                      |    | 68,70  | 12,60         | 18,34                              | 50,80  | 91,46  |
|                              | PD                                |    | 94,15  | 83,58         | 88,77                              | 8,77   | 322,71 |

N = Número de observações; PB = Proteína bruta; FB = Fibra bruta; EE = Extrato etéreo; MM = Matéria mineral; CDAPB = Coeficiente de digestibilidade aparente da proteína bruta; PD = Proteína digestível; Fontes: Maina et al. (2002); El-Shafai et al. (2004); Sklan et al. (2004); Köprücü e Özdemir (2005); Guimarães et al. (2008a); Guimarães et al. (2008b); Biudes et al. (2009); Gonçalves et al. (2009); Santos et al. (2009a); Santos et al. (2009b); Tram et al. (2011); Carvalho et al. (2012); Rodrigues et al. (2012)

Foi testada a hipótese  $H_0: a = 0$  que corresponde ao modelo do subgrupo para verificar se há diferença entre o modelo geral e os subgrupos, por meio da aplicação do Teste F ( $p < 0,05$ ), obtido pela diferença entre a Soma dos Quadrados Médios do Resíduo do modelo do subgrupo e do modelo geral, dividido pelo Quadrado Médio do Resíduo do modelo geral (Seber, 1977).

Para a validação dos modelos foi utilizada uma base de dados independente (Tabela II - 2), obtida na literatura científica internacional, constituída de 14 artigos, num total de 77 observações.

A PD destes ingredientes foi estimada por meio dos modelos ajustados para cada subgrupo e comparados aos valores observados *in vivo*. Para tal procedimento foi utilizada a regressão linear simples de acordo com o modelo:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + e_i$$

Em que:  $Y_i$  = Proteína digestível observada no  $i$ -ésimo estudo;  $\beta_0$  = constante;  $\beta_1$  = Inclinação da reta;  $X_{i1}$  = Proteína digestível estimada no  $i$ -ésimo estudo. O

intercepto e a inclinação da reta foram avaliados separadamente pelo teste *t Student* ( $p < 0,05$ ) (Neter et al., 1996), de acordo com as hipóteses:

$$H_0: \beta_0 = 0 \text{ e } H_0: \beta_1 = 1$$

$$H_1: \beta_0 \neq 0 \text{ e } H_1: \beta_1 \neq 1$$

Os parâmetros da regressão linear ainda foram testados sob a hipótese de nulidade conjunta, de acordo com (Mayer et al., 1994):

$$H_0: \beta_0 = 0 \text{ e } \beta_1 = 1$$

$$H_1: \beta_0 \neq 0 \text{ e } \beta_1 \neq 1$$

Sob o caso de não rejeição das hipóteses de nulidade, conclui-se pela equivalência entre os valores observados e preditos pelos modelos.

Tabela II - 2 - Estatística descritiva da base de dados para validação dos modelos

| Tipo                     | Variável<br>(g kg <sup>-1</sup> ) | N  | Média  | Desvio<br>Padrão | Coefficiente<br>de<br>Variação (%) | Mínimo | Máximo |
|--------------------------|-----------------------------------|----|--------|------------------|------------------------------------|--------|--------|
| Geral                    | PB                                | 77 | 266,14 | 182,38           | 68,53                              | 20,26  | 835,70 |
|                          | EE                                | 50 | 44,67  | 48,88            | 109,41                             | 3,30   | 198,00 |
|                          | FB                                | 15 | 296,80 | 175,82           | 59,24                              | 44,30  | 611,30 |
|                          | MM                                | 53 | 66,19  | 67,53            | 102,02                             | 11,00  | 312,10 |
|                          | CDAPB (%)                         | 77 | 82,54  | 15,60            | 18,90                              | 27,35  | 99,60  |
| Sementes e<br>coprodutos | PD                                | 77 | 223,85 | 173,58           | 77,54                              | 18,96  | 832,36 |
|                          | PB                                | 50 | 327,85 | 188,07           | 57,37                              | 85,12  | 835,70 |
|                          | EE                                | 37 | 38,25  | 45,65            | 119,36                             | 4,70   | 198,00 |
|                          | FB                                | 4  | 241,35 | 138,68           | 57,46                              | 100,40 | 360,50 |
|                          | MM                                | 34 | 70,97  | 80,43            | 113,33                             | 11,00  | 312,10 |
| Resíduos                 | CDAPB (%)                         | 50 | 87,53  | 8,48             | 9,68                               | 54,07  | 99,60  |
|                          | PD                                | 50 | 289,22 | 179,58           | 62,09                              | 76,23  | 832,36 |
|                          | PB                                | 27 | 151,86 | 98,36            | 64,77                              | 20,26  | 484,84 |
|                          | EE                                | 13 | 62,96  | 54,89            | 87,17                              | 3,30   | 157,40 |
|                          | FB                                | 11 | 316,96 | 189,29           | 59,72                              | 44,30  | 611,30 |
|                          | MM                                | 19 | 57,65  | 34,58            | 59,98                              | 12,40  | 166,90 |
|                          | CDAPB (%)                         | 27 | 73,29  | 20,96            | 28,60                              | 27,35  | 97,52  |
|                          | PD                                | 27 | 102,80 | 62,18            | 60,49                              | 18,96  | 250,22 |

N = Número de observações; PB = Proteína bruta; FB = Fibra bruta; EE = Extrato etéreo; MM = Matéria mineral; CDAPB = Coeficiente de digestibilidade aparente da proteína bruta; PD = Proteína digestível; Fontes: Fontainhas-Fernandes et al. (1999); Furuya et al. (2001); Boscolo et al. (2002); Meurer et al. (2003a); Souza e Hayashi (2003); Pezzato et al. (2004); Signor et al. (2007); Furuya et al. (2008); Braga et al. (2010); Dong et al. (2010); Vásquez-Torres et al. (2010); Campeche et al. (2011); Pereira et al. (2012); Ramos et al. (2012); Zhou e Yue (2012)

Foi calculado o viés médio dos modelos, para mostrar possíveis tendências de subestimação e superestimação da PD dos ingredientes pelos modelos, adaptado de (Cochran & Cox, 1957):

$$VM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (PDO_i - PDE_i)$$

Em que:

VM = Viés médio;  $PDO_i$  = Proteína digestível observada;  $PDE_i$  = Proteína digestível estimada.

O coeficiente de correlação concordante (CCC), que considera simultaneamente precisão e acurácia, foi calculado de acordo com (Lin, 1989) e a eficiência do modelo (EM) (Loague & Green, 1991; Zacharias et al., 1996) de acordo com as equações:

$$CCC = \frac{2\sigma_{xy}}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + (\bar{x} - \bar{y})}$$

Em que:

CCC = coeficiente de correlação concordante;  $\sigma_{xy}$  = covariância de x e y;  $\sigma_x^2$  = variância de x;  $\sigma_y^2$  = variância de y;  $\bar{x}$  = média de x;  $\bar{y}$  = média de y.

$$EM = \left( \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 \right) / \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2$$

Em que:

EM = eficiência do modelo;  $P_i$  = valor predito;  $O_i$  = valor observado; n = número de observações;  $\bar{O}$  = média dos valores observados.

A análise de trilha, realizada programa GENES, os modelos foram ajustados no pacote estatístico no SAS 9.1.3 e a validação no software Model Evaluation System 3.1.13.

## Resultados e discussão

Os coeficientes de determinação da análise de trilha indicam que metade da variação dos CDAPB da totalidade da base de dados (0,471) e do subgrupo das sementes (0,471) (Tabela II - 3). Por outro lado, o subgrupo dos resíduos apresentou um coeficiente de determinação ainda mais reduzido (0,250), indicando que outros fatores, que não a composição química, influenciam o aproveitamento da proteína destes ingredientes.

A PB foi a variável que apresentou maior e efeito direto sobre os CDAPB da base de dados geral (0,441) e do subgrupo das sementes (0,491), por sua vez, a FB foi a variável de maior efeito direto sobre o CDAPB dos ingredientes alternativos (-0,477), seguido do efeito direto sobre toda a base de dados (-0,387). Os maiores efeitos diretos

do EE e MM foram sobre as sementes, respectivamente -0,243 e 0,240. O efeito indireto de todas as variáveis foi muito baixo. Estes valores indicam que a composição proximal não é indicada para estimar o CDAPB dos ingredientes de origem vegetal.

Tabela II - 3 - Análise de trilha entre as variáveis de composição química, coeficiente de digestibilidade aparente da proteína bruta e a proteína digestível

| Variável       | Efeito | Geral  |        | Sementes |        | Resíduos |        |
|----------------|--------|--------|--------|----------|--------|----------|--------|
|                |        | CDA    | PD     | CDA      | PD     | CDA      | PD     |
| PB             | Direto | 0,441  | 0,986  | 0,491    | 0,981  | -0,225   | 0,945  |
| PB             | EE     | -0,005 | -0,001 | 0,014    | 0,001  | -0,025   | -0,008 |
| PB             | FB     | 0,113  | 0,010  | 0,025    | 0,004  | 0,091    | 0,014  |
| PB             | MM     | 0,013  | -0,003 | 0,097    | 0,010  | 0,080    | 0,022  |
| Total          |        | 0,563  | 0,992  | 0,627    | 0,996  | -0,078   | 0,974  |
| EE             | Direto | -0,176 | -0,031 | -0,243   | -0,022 | -0,060   | -0,019 |
| EE             | PB     | 0,013  | 0,029  | -0,029   | -0,058 | -0,093   | 0,389  |
| EE             | FB     | -0,007 | -0,001 | -0,023   | -0,004 | 0,002    | 0,000  |
| EE             | MM     | 0,004  | -0,001 | 0,055    | 0,006  | -0,035   | -0,009 |
| Total          |        | -0,165 | -0,003 | -0,241   | -0,079 | -0,185   | 0,362  |
| FB             | Direto | -0,387 | -0,034 | -0,248   | -0,041 | -0,477   | -0,075 |
| FB             | PB     | -0,129 | -0,289 | -0,049   | -0,098 | 0,043    | -0,181 |
| FB             | EE     | -0,003 | -0,001 | -0,023   | -0,002 | 0,000    | 0,000  |
| FB             | MM     | 0,020  | -0,004 | 0,134    | 0,014  | 0,014    | 0,004  |
| Total          |        | -0,499 | -0,327 | -0,186   | -0,127 | -0,420   | -0,252 |
| MM             | Direto | 0,061  | -0,012 | 0,240    | 0,025  | 0,211    | 0,058  |
| MM             | PB     | 0,096  | 0,215  | 0,197    | 0,395  | -0,086   | 0,361  |
| MM             | EE     | -0,012 | -0,002 | -0,055   | -0,005 | 0,010    | 0,003  |
| MM             | FB     | -0,130 | -0,011 | -0,138   | -0,023 | -0,031   | -0,005 |
| Total          |        | 0,015  | 0,189  | 0,245    | 0,392  | 0,103    | 0,417  |
| R <sup>2</sup> |        | 0,471  | 0,987  | 0,471    | 0,994  | 0,251    | 0,957  |

PB = proteína bruta; FB = fibra bruta; EE= extrato etéreo; MM = matéria mineral; R<sup>2</sup>= coeficiente de determinação; CDA = Coeficiente de digestibilidade aparente; PD = Proteína digestível

Ao considerar os coeficientes de determinação da análise de trilha verifica-se que a variação da PD é quase totalmente explicada pela composição química dos ingredientes, com destaque para as sementes, com um R<sup>2</sup> de 0,994. A PB é a variável com os maiores efeitos diretos, em todos os grupos, acima de 0,900, enquanto as outras variáveis possuem pouco efeito.

Os maiores efeitos indiretos foram observados na MM via PB. Isso significa que a elevação dos teores de minerais em ingredientes de origem vegetal aumenta o conteúdo de proteína digestível, principalmente para as sementes (Rostagno, 2011). Na base de dados geral, foi observado efeito indireto negativo da FB, via PB, indicando que a elevação do conteúdo fibroso dos alimentos reduz o conteúdo proteico, consequentemente, diminui a PD do ingrediente.

A análise de trilha constitui na separação dos efeitos diretos e indiretos presentes nos coeficientes de correlação de Pearson (Wright, 1921), que por sua vez, tem por função estimar o quanto a oscilação de duas variáveis são proporcionais, positivamente ou negativamente (Bhujel, 2008). Entre os ingredientes avaliados, observa-se que enquanto as variações ocorridas na composição química e PD foram elevadas, os CDAPB mantiveram-se relativamente constantes. Deste modo, as correlações entre composição química e o aproveitamento da PB foi baixo, enquanto o inverso ocorreu com o conteúdo de PD.

Villamide e Fraga (1998) avaliaram a correlação entre a composição química, PD e CDAPB de ingredientes utilizados na alimentação de coelhos. A PB foi variável de maior correlação com a PD, mais de 0,900 para toda a base de dados e subgrupos. A correlação entre a composição química e CDAPB foi baixa, com 0,402 para a PB em toda a base de dados.

No modelo geral não foi possível utilizar somente uma variável independente para estimar a dependente, foram necessárias a PB e FB para estimar a PD ( $p < 0,05$ ). Ao separar o banco de dados em subgrupos, somente a PB foi necessária para estimar a PD (Tabela II - 4).

Tabela II - 4 - Modelos matemáticos ajustados para estimar a proteína digestível em ingredientes de origem vegetal para tilápias

| Geral                 |            |       |        |        |        |                |        |
|-----------------------|------------|-------|--------|--------|--------|----------------|--------|
| Etapa                 | Intercepto | PB    | FB     | EE     | MM     | R <sup>2</sup> | RQEP   |
| Todas                 | -6,521     | 0,938 | -0,039 | -0,140 | -0,062 | 0,987          | 23,819 |
| I                     | -8,039     | 0,934 | -0,046 | -0,143 |        | 0,987          | 23,662 |
| II                    | -14,046    | 0,933 | -0,047 |        |        | 0,986          | 24,237 |
| III                   |            |       |        |        |        |                |        |
| Sementes e coprodutos |            |       |        |        |        |                |        |
| Etapa                 | Intercepto | PB    | FB     | EE     | MM     | R <sup>2</sup> | RQEP   |
| Todas                 | -10,773    | 0,935 | -0,089 | -0,101 | 0,160  | 0,994          | 17,596 |
| I                     | -9,698     | 0,946 | -0,057 | -0,079 |        | 0,994          | 17,669 |
| II                    | -13,302    | 0,947 | -0,061 |        |        | 0,993          | 17,778 |
| III                   | -19,417    | 0,950 |        |        |        | 0,992          | 18,446 |
| Alternativos          |            |       |        |        |        |                |        |
| Etapa                 | Intercepto | PB    | FB     | EE     | MM     | R <sup>2</sup> | RQEP   |
| Todas                 | 0,783      | 0,695 | -0,029 | -0,042 | 0,096  | 0,957          | 20,329 |
| I                     | -0,531     | 0,687 | -0,030 |        | 0,108  | 0,956          | 19,517 |
| II                    | 3,646      | 0,706 | -0,027 |        |        | 0,953          | 19,494 |
| III                   | -5,048     | 0,716 |        |        |        | 0,948          | 19,660 |

PB = proteína bruta; FB = fibra bruta; EE= extrato etéreo; MM = matéria mineral; R<sup>2</sup>= coeficiente de determinação; RQEP= raiz quadrada do erro de predição

Com a análise de trilha pôde-se observar que a MM e EE foram as variáveis com maiores efeitos indiretos, via PB, para as sementes e coprodutos (0,395) e ingredientes alternativos (0,389), respectivamente. Durante o ajuste dos modelos, essas foram as primeiras variáveis retiradas durante os processo *stepwise backward*, indicando que apesar de serem os maiores efeitos adicionais observados, foram insignificantes para a estimativa da PD.

Ao trabalhar com ingredientes de origem vegetal, em geral, e o subgrupo grãos para várias espécies de peixe, Sales (2008) não encontrou diferenças significativas ao separar os ingredientes em subgrupos. Os modelos ajustados por este autor foram:  $PD (g kg^{-1}) = -39,5482 + 0,9938 \times PB (R^2 = 0,952)$ , para ingredientes de origem vegetal em geral e  $PD (g kg^{-1}) = -13,4418 + 0,9421 \times PB (R^2 = 0,983)$  para grãos.

Por outro lado, no atual estudo, as informações foram coletadas somente para tilápias, peixes onívoros com tendência à herbívora, reduzindo a possível influência da anatomia e fisiologia digestiva dos animais sobre o aproveitamento da proteína (Dabrowski & Portella, 2006; Bakke et al., 2011).

O pior modelo foi o ajustado para os ingredientes alternativos, com coeficiente de determinação mais baixo que o modelo geral. A matéria-prima destes ingredientes é muito variável e pode apresentar distintos fatores prejudiciais à digestão (Hertrampf & Piedad-Pascual, 2000) e, além disso, possuem altos teores de FB, que prejudica a digestibilidade pelo aumento da taxa de passagem nos peixes (Meurer et al., 2003b) e pela possibilidade de estar aderida a PB, tornando-a indisponível para monogástricos (Pond et al., 2005). Nesta análise, Ramos et al. (2012) verificaram nestes ingredientes que o aumento da PB pode não corresponder à elevação da PD, o que dificulta a estimativa precisa e acurada desta variável.

Ao contrário do que ocorreu no referido estudo, Villamide e Fraga (1998) observaram redução dos coeficientes de determinação dos modelos ajustados para todos os subgrupos estabelecidos. Segundo estes autores, a PB foi a única variável necessária para estimar a PD de ingredientes de origem vegetal para coelhos, resultando no modelo:  $PD (g kg^{-1}) = -34,67 + 0,876 \times PB (R^2 = 0,948)$ , ajustado a partir de 93 observações.

Diferentes grupos alimentares resultaram em equações distintas para estimar energia digestível para coelhos (Wiseman et al., 1992). No presente estudo, o teste F

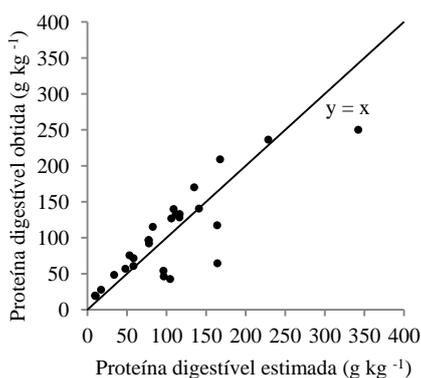
indicou diferença entre os modelos (Tabela II - 5), apesar da pequena diferença dos coeficientes de determinação e raízes dos quadrados médios dos resíduos.

Tabela II - 5 - Identidade dos modelos ajustados para estimar a proteína digestível em ingredientes de origem vegetal

| Modelo                | SQMR     | SQMG-SQMT | QM     | F     |
|-----------------------|----------|-----------|--------|-------|
| Geral                 | 27610,00 | -         | 587,44 | -     |
| Sementes e coprodutos | 10889,00 | 16721,00  | 386,53 | 28,46 |
| Alternativos          | 5411,36  | 22198,64  | 340,27 | 37,79 |

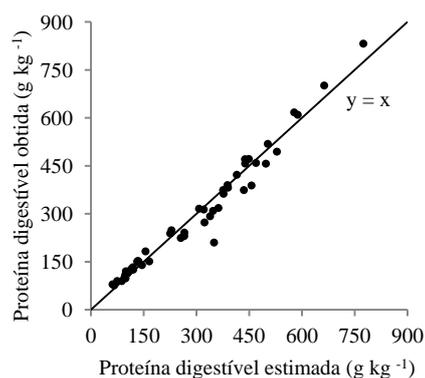
SQMR = Soma dos quadrados médios dos resíduos; SQMG-SQMT = Diferença entre a soma dos quadrados dos resíduos do subgrupo e do modelo geral; QM = Quadrado médio; F = valor de F

As linhas das Figura II - 1 e Figura II - 2 indicam o que seria uma correspondência perfeita entre os valores estimados e observados de PD. Observa-se que para os ingredientes alternativos, seis valores discrepantes foram suficientes para provocar a superestimação da proteína digestível.



• PDO — PDO = PDE

Figura II - 1 - Validação independente do modelo obtido com dados de ingredientes alternativos



• PDO — PDO = PDE

Figura II - 2 - Validação independente do modelo obtido com dados de sementes e coprodutos

A validação realizada entre os valores estimados e observados indica o que já era indicado pelos coeficientes de determinação dos modelos ajustados para sementes e coprodutos e ingredientes alternativos. Para o modelo para sementes e coprodutos, o teste *t Student*, realizado individualmente nos parâmetros indica igualdade do intercepto a 0 e da inclinação a 1, o que não ocorreu na validação conjunta ( $p < 0,05$ ). Para os ingredientes alternativos, nenhuma hipótese de nulidade foi aceita (Tabela II - 6).

Os parâmetros de exatidão indicam bom potencial para a modelagem da PD, desde a composição química de sementes e coprodutos, com uma eficiência do modelo de 0,965 e o coeficiente de correlação concordante de 0,982. Azevêdo et al. (2011)

validaram dois modelos, de acordo com Mayer et al. (1994), ajustados para estimar a proteína digestível aparente em ingredientes para bovinos, apesar de validados. Estes modelos apresentaram CCC mais baixos (0,900 e 0,921) que os estimados para o melhor modelo proposto no presente estudo.

Tabela II - 6 - Parâmetros de validação e exatidão para os modelos ajustados para ingredientes de origem vegetal

| Item  | Proteína digestível |                       |
|---|---------------------|-----------------------|
|   | Alternativos        | Sementes e coprodutos |
| Intercepto ( $\beta_0$ )                          | 25,505              | 0,841                 |
| Inclinação ( $\beta_1$ )                          | 0,746               | 0,981                 |
| $r^2$   | 0,713               | 0,965                 |
| Valor de P ( $H_0: \beta_0 = 0$ )                 | 0,040               | 0,928*                |
| Valor de P ( $H_0: \beta_1 = 1$ )                 | 0,013               | 0,645*                |
| Valor de P ( $H_0: \beta_0 = 0$ e $\beta_1 = 1$ ) | <0,001              | <0,001                |
| Viés médio  | -0,881              | -2,818                |
| Viés médio % PDO                                  | -0,857              | -0,975                |
| EM  | 0,630               | 0,965                 |
| CCC   | 0,838               | 0,982                 |
| REMP % PDO  | 36,125              | 11,518                |

$\beta_0$  = Intercepto;  $\beta_1$  = Coeficiente angular; \* Não-significativo ( $p > 0,05$ );  $r^2$  = coeficiente de determinação; CCC = Coeficiente de correlação concordante; EM = Eficiência do Modelo; PDO = Proteína digestível observada

A utilização da regressão linear entre os valores estimados e observados de uma variável dependente pode ser considerada uma fase inicial da avaliação de um modelo, porém não é uma ferramenta definitiva (Mitchell, 1997). Os testes realizados para verificar a igualdade do intercepto a zero e da angulação da reta a um, utilizam como denominadores de expressões que indicam a falta de ajuste do modelo. Desta forma, o valor de  $t$  da verificação individual (Tedeschi, 2006) e de  $F$  da verificação conjunta (Mayer et al., 1994) são inversamente proporcionais à qualidade de ajuste do modelo avaliado, consequentemente quando um modelo não é eficiente, por possuir grandes margens de erro, a sua probabilidade de validação é maior (Analla, 1998). Além disso, não permitem a comparação da eficiência entre vários modelos ajustados, situação contornada pelo CCC (Lin, 1989) e a EM (Loague & Green, 1991; Zacharias et al., 1996).

A análise de trilha estimou os efeitos da composição química sobre os valores de proteína digestível em ingredientes de origem vegetal. A separação em subgrupos indicou diferenças entre os modelos propostos e os coeficientes de exatidão indicam que

o modelo para sementes e coprodutos é o mais eficiente. As hipóteses de nulidade individuais do intercepto e inclinação da regressão entre os valores estimados e obtidos do modelo ajustado para sementes e coprodutos foram aceitas indicando que os valores estimados de proteína digestível correspondem aos observados (Neter et al., 1996).

### **Conclusões**

O Modelo  $PD (g kg^{-1}) = -19,417 + 0,950 \times PB$ ;  $R^2 = 0,992$ , proposto para sementes e coprodutos, foi o melhor entre os ajustados, sendo validado pela base de dados independente. A separação em subgrupos possibilitou o ajuste do modelo mais eficiente.

## Referências

- ANALLA, M. Model validation through the linear regression fit to actual versus predicted values. **Agricultural Systems**, v.57, n.1, p.115-119, 1998.
- AZEVEDO, J. A. G.; VALADARES FILHO, S. D. C.; DETMANN, E. et al. Predição de frações digestíveis e valor energético de subprodutos agrícolas e agroindustriais para bovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, p.391-402, 2011.
- BAKKE, A. M.; GLOVER, C.; KROGDAHL, A. Feeding, digestion, and absorption of nutrients. In: GROSELL, M.; FARRELL, A. P. e BRAUNER, C. J. (Ed.). **The Multifunctional gut of fish**. London: Elsevier, 2011. cap. 2, p.57-110. (Fish Physiology).
- BHUJEL, R. C. **Statistics for Aquaculture**. 1.ed. Ames: Wiley-Blackwell, 2008. 240p.
- BIUDES, J. F. V.; PEZZATO, L. E.; CAMARGO, A. F. M. Digestibilidade aparente da farinha de aguapé em tilápias-do-nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.2079-2085, 2009.
- BOSCOLO, W. R.; HAYASHI, C.; MEURER, F. Digestibilidade Aparente da Energia e Nutrientes de Alimentos Convencionais e Alternativos para a Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*, L.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, p.539-545, 2002.
- BRAGA, L. G. T.; RODRIGUES, F. L.; AZEVEDO, R. V. D. et al. Digestibilidade aparente da energia e nutrientes de coprodutos agroindustriais para tilápia do Nilo. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.11, n.4, p.1127-1136, 2010.
- CAMPECHE, D. F. B.; MORAES, S. A. V. D.; LIMA, V. T. et al. Composição bromatológica e digestibilidade aparente de alimentos encontrados na região semiárida brasileira para arraaçoamento de tilapia rosa em cultivos. **Ciência Rural**, v.41, p.343-348, 2011.
- CARVALHO, P. L. P. F. D.; SILVA, R. L. D.; BOTELHO, R. D. M. et al. Valor nutritivo da raiz e folhas da mandioca para a tilápia do Nilo. **Boletim do Instituto de Pesca**, v.38, n.1, p.61-69, 2012.
- COCHRAN, W. G.; COX, G. M. **Experimental Design**. New York: John Wiley & Sons, 1957. 611p.
- DABROWSKI, K.; PORTELLA, M. C. Feeding plasticity and nutritional physiology in tropical fishes. In: VAL, A. L.; ALMEIDA-VAL, V. M. F. D. e RANDALL, D. J. (Ed.). **The Physiology of Tropical Fishes**. 1. Amsterdam: Elsevier, v.21, 2006. cap. 5, p.155-224. (Fish Physiology).
- DONG, X.-H.; GUO, Y.-X.; YE, J.-D. et al. Apparent digestibility of selected feed ingredients in diets for juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis*

*niloticus*×*Oreochromis aureus*. **Aquaculture Research**, v.41, n.9, p.1356-1364, 2010.

EL-SAYED, A. F. M. **Tilapia Culture**. 1.ed. Wallingford: CABI Publishing, 2006. 277p.

EL-SHAFI, S. A.; EL-GOHARY, F. A.; VERRETH, J. A. J. et al. Apparent digestibility coefficient of duckweed (*Lemna minor*), fresh and dry for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). **Aquaculture Research**, v.35, n.6, p.574-586, 2004.

FAO. **FishStatJ**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations 2011.

FONTAÍNHAS-FERNANDES, A.; GOMES, E.; REIS-HENRIQUES, M. A. et al. Replacement of Fish Meal by Plant Proteins in the Diet of Nile Tilapia: Digestibility and Growth Performance. **Aquaculture International**, v.7, n.1, p.57-67, 1999.

FRIEDMAN, M. Nutritional Value of Proteins from Different Food Sources. A Review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.44, n.1, p.6-29, 1996.

FURUYA, W. M.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M. et al. **Tabelas Brasileiras para a nutrição de tilápias**. 1.ed. Toledo: GFM Gráfica & Editora, 2010. 100p.

FURUYA, W. M.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M. et al. Use of ideal protein concept for precision formulation of amino acid levels in fish-meal-free diets for juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). **Aquaculture Research**, v.35, n.12, p.1110-1116, 2004.

FURUYA, W. M.; PEZZATO, L. E.; MIRANDA, E. C. D. et al. Digestibilidade aparente da energia e nutrientes do farelo de canola pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, p.611-616, 2001.

FURUYA, W. M.; SALES, P. J. P.; SANTOS, L. D. D. et al. Composição química e coeficientes de digestibilidade aparente dos subproduto desidratados das polpas de tomate e goiaba para tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*). **Boletim do Instituto de Pesca**, v.34, n.4, p.505-510, 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**, v.13, n.1, p.17-34, 2007.

GONÇALVES, G. S.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M. et al. Energia e nutrientes digestíveis de alimentos para a tilápia do nilo. **Boletim do Instituto de Pesca**, v.35, n.2, p.201-213, 2009.

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, n.5, p.396-404, 2008a.

- GUIMARÃES, I. G.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M. et al. Nutrient Digestibility of Cereal Grain Products and By-products in Extruded Diets for Nile Tilapia. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.39, n.6, p.781-789, 2008b.
- HERTRAMPF, J. W.; PIEDAD-PASCUAL, F. **Handbook on Ingredients for Aquaculture Feeds**. 1.ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- HUA, K.; BUREAU, D. P. Modelling digestible phosphorus content of salmonid fish feeds. **Aquaculture**, v.254, n.1-4, p.455-465, 2006.
- HUA, K.; BUREAU, D. P. Development of a model to estimate digestible lipid content of salmonid fish feeds. **Aquaculture**, v.286, n.3-4, p.271-276, 2009.
- JOBLING, M.; GOMES, E.; DIAS, J. Feed Types, Manufacture and Ingredients. In: HOULIHAN, D.;BOUJARD, T. e JOBLING, M. (Ed.). **Food Intake in Fish**. London: Blackwell Science Ltd, 2001. cap. 2, p.25-48.
- KÖPRÜCÜ, K.; ÖZDEMİR, Y. Apparent digestibility of selected feed ingredients for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v.250, n.1-2, p.308-316, 2005.
- LIN, L. I. A. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. **Biometrics**, v.45, n.1, p.255-268, 1989.
- LOAGUE, K.; GREEN, R. E. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. **Journal of Contaminant Hydrology**, v.7, n.1-2, p.51-73, 1991.
- MAINA, J G.; BEAMES, R M.; HIGGS, D. et al. Digestibility and feeding value of some feed ingredients fed to tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). **Aquaculture Research**, v.33, n.11, p.853-862, 2002.
- MAYER, D. G.; STUART, M. A.; SWAIN, A. J. Regression of real-world data on model output: An appropriate overall test of validity. **Agricultural Systems**, v.45, n.1, p.93-104, 1994.
- MEURER, F.; HAYASHI, C.; BOSCOLO, W. R. Digestibilidade aparente de alguns alimentos protéicos pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, p.1801-1809, 2003a.
- MEURER, F.; HAYASHI, C.; BOSCOLO, W. R. Fibra bruta para alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*, L). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, p.256-261, 2003b.
- MITCHELL, P. L. Misuse of regression for empirical validation of models. **Agricultural Systems**, v.54, n.3, p.313-326, 1997.
- NETER, J.; KUTNER, M. H.; NACHTSHEIM, C. J. et al. **Applied Linear Statistical Models**. Boston: McGraw-Hill Publishing Companies, 1996. 1408p.

- NRC. **Nutrient Requirements of fish and shrimp**. Washington: The National Academy Press, 2011. 376p.
- PEREIRA, R.; VALENTE, L. M. P.; SOUSA-PINTO, I. et al. Apparent nutrient digestibility of seaweeds by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Algal Research**, v.1, n.1, p.77-82, 2012.
- 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.
- PEZZATO, L. E.; MIRANDA, E. C. D.; BARROS, M. M. et al. Digestibilidade aparente da matéria seca e da proteína bruta e a energia digestível de alguns alimentos alternativos pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.26, n.3, p.329-338, 2004.
- POND, W. G.; CHURCH, D. C.; POND, K. R. **Basic animal nutrition and feeding**. 1.ed. Hoboken: Wiley, 2005. 608p.
- RAMOS, A. P. D. S.; BRAGA, L. G. T.; CARVALHO, J. S. O. et al. Digestibility of agro-industrial byproducts in 200 and 300-g Nile tilapia. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.41, p.462-466, 2012.
- RODRIGUES, A. P. O.; GOMINHO-ROSA, M. D. C.; CARGNIN-FERREIRA, E. et al. Different utilization of plant sources by the omnivores jundiá catfish (*Rhamdia quelen*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture Nutrition**, v.18, n.1, p.65-72, 2012.
- ROSTAGNO, H. S., Ed. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa - UFV, p.252, 3 ed. 2011.
- SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. 1.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2007.
- SALES, J. The use of linear regression to predict digestible protein and available amino acid contents of feed ingredients and diets for fish. **Aquaculture**, v.278, n.1-4, p.128-142, 2008.
- SALES, J. Linear models to predict the digestible lipid content of fish diets. **Aquaculture Nutrition**, v.15, n.5, p.537-549, 2009.
- SANTOS, E. L.; LUDKE, M. D. C. M.; BARBOSA, J. M. et al. Digestibilidade aparente do farelo de coco e resíduo de Goiaba pela tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Caatinga**, v.22, n.2, p.175-180, 2009a.
- SANTOS, E. L.; LUDKE, M. D. C. M. M.; RAMOS, A. M. D. P. et al. Digestibilidade de subprodutos da mandioca para a tilápia do Nilo **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.4, n.3, p.358-362, 2009b.

- SEBER, G. A. F. **Linear regression analysis**. 1.ed. New York: John Wiley, 1977.
- SIGNOR, A. A.; BOSCOLO, W. R.; FEIDEN, A. et al. Triguilho na alimentação da tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus* L.): digestibilidade e desempenho. **Ciência Rural**, v.37, p.1116-1121, 2007.
- SKLAN, D.; PRAG, T.; LUPATSCH, I. Apparent digestibility coefficients of feed ingredients and their prediction in diets for tilapia *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* (Teleostei, Cichlidae). **Aquaculture Research**, v.35, n.4, p.358-364, 2004.
- SOUZA, S. R. D.; HAYASHI, C. Digestibilidade aparente do farelo de algodão pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.) e piavuçu (*Leporinus macrocephalus* B & G). **Acta Scientiarum, Animal Science**, v.25, n.1, p.15-20, 2003.
- TEDESCHI, L. O. Assessment of the adequacy of mathematical models. **Agricultural Systems**, v.89, n.2-3, p.225-247, 2006.
- TRAM, N. D. Q.; NGOAN, L. D.; HUNG, L. T. et al. A comparative study on the apparent digestibility of selected feedstuffs in hybrid catfish (*Clarias macrocephalus* × *Clarias gariepinus*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture Nutrition**, v.17, n.2, p.e636-e643, 2011.
- VÁSQUEZ-TORRES, W.; YOSSA PERDOMO, M. I.; HERNÁNDEZ ARÉVALO, G. et al. Digestibilidad aparente de ingredientes de uso común en la fabricación de raciones balanceadas para tilapia roja híbrida (*Oreochromis* sp.). **Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias**, v.23, p.207-216, 2010.
- VILLAMIDE, M. J.; FRAGA, M. J. Prediction of the digestible crude protein and protein digestibility of feed ingredients for rabbits from chemical analysis. **Animal Feed Science and Technology**, v.70, n.3, p.211-224, 1998.
- WISEMAN, J.; VILLAMIDE, M. J.; DE BLAS, C. et al. Prediction of the digestible energy and digestibility of gross energy of feeds for rabbits. 1. Individual classes of feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v.39, n.1-2, p.27-38, 1992.
- WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, v.20, n.7, p.557, 1921.
- WU, Y. V.; ROSATI, R. R.; SESSA, D. J. et al. Evaluation of Corn Gluten Meal as a Protein Source in Tilapia Diets. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.43, n.6, p.1585-1588, 1995.
- ZACHARIAS, S.; HEATWOLE, C. D.; COAKLEY, C. W. Robust quantitative techniques for validating pesticide transport models. **Transactions of the ASAE**, v.39, p.47-54, 1996.
- ZHOU, Q.-C.; YUE, Y.-R. Apparent digestibility coefficients of selected feed ingredients for juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*. **Aquaculture Research**, v.43, n.6, p.806-814, 2012.

## **CAPÍTULO III**

### **Predição da proteína digestível do milho, soja, trigo e respectivos subprodutos em dietas extrusadas para tilápia do Nilo**

**RESUMO:** O presente estudo teve por objetivo validar modelos ajustados para estimar a proteína digestível em ingredientes utilizados na dieta de peixes. Foram selecionados cinco modelos ajustados para diferentes divisões de espécies e grupos alimentares. Para a obtenção dos valores observados de proteína digestível foi realizado um ensaio de digestibilidade, em que foram utilizados 15 ingredientes de origem vegetal, fornecidos para juvenis de tilápia do Nilo em dietas práticas extrusadas. O indicador de digestibilidade foi o óxido de cromo III ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) e o sistema Guelph modificado para a coleta de fezes. Para a validação dos modelos, os valores de proteína digestível foram estimados a partir da composição química dos alimentos e comparados aos valores observados no ensaio biológico. Estes valores foram submetidos à análise estatística no software Model Evaluation System (3.1.13). Concluiu-se que apesar dos altos valores dos coeficientes de exatidão, nenhum dos modelos pode ser validado, significando que os valores estimados não correspondem aos observados. O estudo indicou que a separação em grupos alimentares mais restritos melhorou a eficiência dos modelos, sendo o modelo ajustado para sementes e coprodutos para todas as espécies de peixe o melhor entre os avaliados.

Palavras-chave: estimativa, valor nutritivo, exatidão, cereais, oleaginosas

**Prediction of digestible protein of corn, soybeans, wheat and respective by-products in extruded diets for Nile tilapia**

**ABSTRACT:** This study aimed to validate and evaluate models adjusted to estimate the digestible protein ingredients used in fish diets. Five models adjusted for different species and feed groups were selected. To obtain the observed digestible protein values, a digestibility trial was made, where 15 ingredients of vegetable origin, were given to juvenile Nile tilapia in practical extruded diets. The digestibility indicator was chromium oxide ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) and the modified Guelph system was used for feces collection. To validate the models, digestible protein values were estimated from the chemical composition of the feeds and compared to those observed in the biological assay, these values were subjected to statistical analysis using the Model Evaluation System software (3.1.13). It was concluded that despite high coefficients of accuracy, none of the models can be validated, meaning that the estimated values do not match those observed. The study indicated that the separation into restricted feed groups improved the efficiency of the models. The model adjusted for seeds and respective byproducts for all fish species was the best among the five evaluated.

Keywords: estimate, nutritional value, accuracy, cereals, oilseeds

## Introdução

O grupo das tilápias é importante em vários países, sobretudo naqueles de clima tropical e subtropical, destacam-se pelo rápido crescimento, rusticidade (Furuya et al., 2010) e hábito alimentar onívoro, com tendência herbívora (El-Sayed, 2006). Em 2009, a produção mundial deste grupo superou 3 milhões de toneladas e o Brasil contribuiu com 4% deste volume (FAO, 2011).

A nutrição representa de 50 a 80% dos custos variáveis da aquicultura, influencia o crescimento, saúde, qualidade do produto e produção de dejetos (NRC, 2011). Os ingredientes de origem vegetal são muito utilizados na nutrição de tilápias (Furuya et al., 2004). As principais fontes proteicas são os farelos de sementes oleaginosas (Friedman, 1996) e concentrados obtidos de alguns cereais (Wu et al., 1995). Os cereais são os principais ingredientes energéticos, por serem poucos onerosos e pela propriedade aglutinante do amido, necessário à boa formação dos peletes (Jobling et al., 2001).

O conhecimento da digestibilidade dos nutrientes permite a formulação de dietas mais precisas, que evitam a sobrecarga fisiológica e ambiental (Pezzato et al., 2009). Esses dados são obtidos em experimentos com base em coleta fecal, metodologia comum em ciência animal, que em piscicultura depende de instalações e pessoal especializado, além de ser um processo de alto custo financeiro, tornando inviável para a indústria de rações (Glencross et al., 2007).

A modelagem matemática é um método indireto para estimar o conteúdo proteico digestível dos alimentos. É uma importante ferramenta para a formulação de dietas, pois permite estimar o valor nutritivo, a partir de informações obtidas em análises de rotina (Sakomura & Rostagno, 2007).

A proteína digestível é um importante parâmetro a ser avaliado para a inclusão de um ingrediente nas formulações de dietas para animais de criação (Pezzato et al., 2009). Este nutriente, além de ser o de custo financeiro mais elevado (Furuya et al., 2010), possui grande capacidade de poluir o ambiente de criação (Cyrino et al., 2010), a fim de evitar desperdícios e aumentar a eficiência financeira e ambiental dos empreendimentos.

Sales (2008) ajustou modelos para estimar a proteína digestível de ingredientes utilizados em dietas para peixes. Neste estudo foram ajustados um modelo geral e modelos para ingredientes de origem vegetal, sementes e coprodutos e peixes onívoros.

Para tilápias, foram ajustados modelos para a estimativa da proteína digestível em ingredientes de origem animal (Vidal et al., 2012) e vegetal (Presente estudo).

Como a digestibilidade dos ingredientes pode variar de acordo com a espécie avaliada (Rodrigues et al., 2012), processamento do ingrediente e/ou dieta (Furuya et al., 1998), sendo a extrusão particularmente benéfica ao aproveitamento de ingredientes de origem vegetal (Cheng & Hardy, 2003). Faz-se necessária a verificação da eficiência destes modelos em situações específicas.

O objetivo deste trabalho foi validar diferentes modelos de predição ajustados em diferentes condições, por meio um ensaio de digestibilidade *in vivo* com juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), alimentados com dietas contendo sementes e respectivos coprodutos, comuns à indústria de rações para peixes.

### Material e métodos

Foram selecionados cinco modelos ajustados para estimar a proteína digestível em ingredientes utilizados na alimentação de peixes, ajustados em diferentes condições, de acordo com a Tabela III - 1.

Tabela III - 1 - Modelos ajustados para estimar a proteína digestível de ingredientes para peixes

| Modelo | Espécie  | Ingredientes          | Modelo                           | R <sup>2</sup> | Autor           |
|--------|----------|-----------------------|----------------------------------|----------------|-----------------|
| I      | Tilápias | Sementes e Coprodutos | $PD = -19,417 + 0,950 \times PB$ | $R^2 = 0,992$  | Presente estudo |
| II     | Geral    | Geral                 | $PD = -10,073 + 0,894 \times PB$ | $R^2 = 0,946$  | Sales 2008      |
| III    | Geral    | Vegetais              | $PD = -39,548 + 0,994 \times PB$ | $R^2 = 0,952$  | Sales 2008      |
| IV     | Geral    | Sementes e Coprodutos | $PD = -13,442 + 0,942 \times PB$ | $R^2 = 0,983$  | Sales 2008      |
| V      | Onívoros | Geral                 | $PD = 0,821 + 0,858 \times PB$   | $R^2 = 0,959$  | Sales 2008      |

PD = Proteína digestível; PB = Proteína bruta; R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinação

Para a validação, foi realizado um ensaio de digestibilidade *in vivo* conduzido na Estação Experimental de Piscicultura da Universidade Estadual de Maringá, UEM/Codapar, localizada no distrito de Floriano, pertencente ao município de Maringá – PR, em janeiro de 2011.

Para a coleta de fezes foram utilizados tanques cônicos de fibra de vidro com capacidade individual de 250 L, onde os peixes foram mantidos durante todo o período experimental.

Em cada tanque foram distribuídos 20 juvenis de tilápia do Nilo da linhagem GIFT, com peso vivo médio de  $30,38 \pm 4,52$  g, provenientes de uma base avançada da Universidade Estadual de Maringá, localizada no rio do Corvo, no município do Diamante do Norte/PR. Os peixes foram adaptados ao manejo e às instalações durante 20 dias, após ocorreu a aclimação com a ração referência durante cinco dias e, ao final deste processo, foram iniciadas as coletas.

Toda a água utilizada no ensaio de digestibilidade foi proveniente de um poço artesiano previamente estocada em dois tanques circulares de 2.000 L dentro do laboratório. Com isso, evitaram-se mudanças bruscas na temperatura durante as trocas diárias. A água era trocada totalmente duas vezes ao dia e a oxigenação mantida por pedras porosas, acopladas a um soprador radial e a temperatura avaliada diariamente.

Os alimentos utilizados foram obtidos de plantas de processamento de oleaginosas e cereais, com a escolha baseada na utilização dos mesmos na indústria de rações para peixes e na possibilidade de comparar o valor nutritivo entre eles.

As dietas foram fornecidas, diariamente, até a saciedade aparente dos peixes no período entre 11 e 16h, para retardar o início da excreção e conseqüentemente aproximar do horário de retirada dos coletores, diminuindo a lixiviação de nutrientes. Trinta minutos após o último arraçoamento, às 16h30min, todos os tanques foram lavados e a água totalmente renovada para que os frascos coletores fossem acoplados individualmente no fundo, às 17h. As fezes que foram armazenadas no frasco coletor durante a noite foram recolhidas na manhã seguinte (08h), e armazenadas em frascos plásticos identificados e acondicionadas em freezer a  $-21^{\circ}\text{C}$  até o final do período de coleta.

Para a determinação do coeficiente de digestibilidade aparente da proteína bruta (CDAPB), elaborou-se uma ração-referência prática com base em proteína de farelo de soja e farinha de vísceras de aves (Tabela III - 2). O CDAPB foi determinado pelo método indireto usando óxido de crômio III ( $7.2 \text{ g kg}^{-1}$ ) como indicador.

Tabela III - 2 - Composição da dieta-referência (na base de matéria seca)

| Item                                     | g kg <sup>-1</sup> |
|--|--------------------|
| Vísceras farinha aves                    | 220,0              |
| Soja farelo                              | 349,4              |
| Milho grão                               | 383,2              |
| Fosfato bicálcico                        | 15,0               |
| Óleo de soja                             | 10,0               |
| Vitamina C                               | 1,0                |
| NaCl                                     | 5,0                |
| Suplemento mineral e vitamínico          | 8,0                |
| Antioxidante                             | 0,2                |
| Antifúngico                              | 1,0                |
| Óxido de crômio III                      | 7,2                |
| Composição                               |                    |
| Proteína bruta g kg <sup>-1</sup>        | 360,9              |
| Energia digestível kcal kg <sup>-1</sup> | 3258,5             |
| Fibra bruta g kg <sup>-1</sup>           | 35,4               |
| Gordura g kg <sup>-1</sup>               | 60,3               |
| Cálcio g kg <sup>-1</sup>                | 16,5               |
| Fósforo disponível g kg <sup>-1</sup>    | 10,7               |

<sup>1</sup>Suplemento mineral e vitamínico (por kg): vitamina A, 1200000 IU; vitamina D3, 200000 IU; vitamina E, 12000 mg; vitamina K3, 2400 mg; vitamina B1, 4800 mg; vitamina B2, 4800 mg; vitamina B6, 4000 mg; vitamina B12, 4800 mg; ácido fólico = 1200 mg; pantotenato D-cálcio, 12000 mg; ácido ascórbico, 48000 mg; biotina, 48 mg; colina, 65000 mg; ácido nicotínico, 24000 mg; ferro, 10000 mg; sulfato de cobre, 600 mg; sulfato de manganês, 4000 mg; sulfato de zinco, 6000 mg; iodo de potássio, 20 mg; cobalto, 2 mg; selênio, 20 mg; <sup>2</sup>Vitamina C: sal calcítico, princípio ativo-42% ácido ascórbico-2-monofosfato; <sup>3</sup>Butil-hidrox-tolueno; <sup>4</sup>Propionato de cálcio

Como alimentos-teste foram utilizados produtos e subprodutos de milho, soja e trigo, adicionados à dieta-referência na proporção de 30%, constituindo as rações-teste. As composições químicas dos ingredientes-teste estão na Tabela III - 3.

Na confecção das rações-teste, após moagem, pesagem e homogeneização dos ingredientes, foi acrescida água na proporção de 12% do peso total da ração. A mistura foi extrusada em matriz de 2 mm e desidratada em estufa de ventilação forçada a 55°C durante 24h, este procedimento foi realizado na fábrica de ração do Grupo de Estudos de Manejo na Aquicultura da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste, Toledo – PR.

Cada dieta-teste foi avaliada em triplicata, ou seja, três tanques cônicos foram utilizados para determinar a digestibilidade de cada ração-teste e cada tanque foi considerado uma repetição. A coleta foi mantida durante o período de sete dias, formando assim um “pool” de fezes. A cada nova dieta-teste, as fezes eram desprezadas nos três primeiros dias para evitar possíveis contaminações com as fezes da dieta anterior.

Tabela III - 3 - Composição química do milho, soja, trigo e subprodutos (na base de matéria seca)

| Ingrediente | Composição química (g kg <sup>-1</sup> ) |       |       |      |       | EB<br>(kcal kg <sup>-1</sup> ) |
|-------------|--|-------|-------|------|-------|--------------------------------|
|             | PB                                       | FB    | EE    | MM   | ENN   |                                |
| M           | 85,5                                     | 22,4  | 38,1  | 6,0  | 848,0 | 4453                           |
| GIM         | 119,2                                    | 146,7 | 458,2 | 6,2  | 269,7 | 6819                           |
| GDM         | 205,8                                    | 143,3 | 113,9 | 14,9 | 522,1 | 5241                           |
| FGM         | 236,4                                    | 97,5  | 29,3  | 43,3 | 593,5 | 4565                           |
| GM          | 696,4                                    | 9,8   | 28,4  | 16,4 | 249,0 | 5831                           |
| SI          | 386,6                                    | 46,7  | 219,7 | 44,1 | 302,9 | 5668                           |
| SSI         | 451,0                                    | 54,2  | 74,7  | 47,8 | 372,3 | 5135                           |
| FS 46       | 468,4                                    | 106,8 | 23,0  | 56,0 | 345,8 | 4540                           |
| FS 48       | 518,4                                    | 47,1  | 17,7  | 61,8 | 354,9 | 4750                           |
| FS 62       | 654,6                                    | 32,7  | 6,0   | 62,5 | 244,3 | 4785                           |
| TL          | 163,1                                    | 31,2  | 16,6  | 16,5 | 772,7 | 4423                           |
| T           | 163,6                                    | 22,8  | 15,4  | 17,9 | 780,3 | 4391                           |
| FT          | 200,6                                    | 85,1  | 30,4  | 51,1 | 633,0 | 4506                           |
| FGT         | 195,8                                    | 87,5  | 37,9  | 54,4 | 624,4 | 4555                           |
| GT          | 308,8                                    | 27,2  | 87,1  | 47,1 | 529,9 | 4837                           |

PB = Proteína bruta; FB = Fibra bruta; EE = Extrato etéreo; MM = Matéria mineral; ENN = Extrativo não-nitrogenado; EB = Energia bruta; M = Milho; GMI = Gérmen integral de milho; GDM = Gérmen integral de milho; FGM=Farelo de glúten de milho; GM = Glúten de milho; SI = Soja integral; SSI = Soja semi-integral; FS46 = Farelo de soja 46; FS48 = Farelo de soja 48; FS62 = Farelo de soja 62; TL = Triguilho; T = Trigo; FT = Farelo de trigo; FGT = Fibra grossa de trigo; GT = Gérmen de trigo

Ao final de cada período de coleta, as fezes foram desidratadas em estufa de ventilação forçada a 55°C durante 48h e, em seguida, moídas em moinho tipo bola. As análises bromatológicas dos ingredientes-teste, 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 Silva e Queiroz (2002). O conteúdo de cromo das dietas e fezes foi determinado 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. Os CDAPB foram calculados de acordo com as expressões indicadas por Bureau e Hua (2006):

$$CDA = 100 - \left[ 100 \times \left( \frac{g \text{ kg}^{-1} I_D}{g \text{ kg}^{-1} I_F} \right) \times \left( \frac{g \text{ kg}^{-1} N_F}{g \text{ kg}^{-1} N_D} \right) \right]$$

Em que: CDA(n) = digestibilidade aparente; I<sub>D</sub> = g kg<sup>-1</sup> de óxido de cromo na ração; I<sub>F</sub> = g kg<sup>-1</sup> de óxido de cromo nas fezes; N<sub>D</sub> = nutrientes na ração; N<sub>F</sub> = nutriente nas fezes.

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

Em que:

$CDA_{Ing}$  = coeficiente de digestibilidade aparente do ingrediente;

$CD_{DT}$  = coeficiente de digestibilidade aparente da dieta com o alimento-teste;

$CD_{DR}$  = coeficiente de digestibilidade aparente da dieta-referência;

b = porcentagem da dieta referência;

a = porcentagem do ingrediente-teste;

$N_{DR}$  = nutriente na dieta-referência;

$N_{Ing}$  = nutriente na dieta-teste.

Para a validação dos modelos, a proteína digestível obtida (PDO) dos ingredientes testados foi comparada aos respectivos valores de proteína digestível estimada (PDE). Para tal procedimento foi utilizada a regressão linear simples, de acordo com o modelo:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + e_i$$

Em que:  $Y_i$  = Proteína digestível observada no i-ésimo estudo;  $\beta_0$  = constante;  $\beta_1$  = Inclinação da reta;  $X_{i1}$  = Proteína digestível estimada no i-ésimo estudo. O intercepto e a inclinação da reta foram avaliados separadamente pelo teste *t Student* ( $p < 0,05$ ) (Neter et al., 1996), de acordo com as hipóteses:

$$H_0: \beta_0 = 0 \text{ e } H_0: \beta_1 = 1$$

$$H_1: \beta_0 \neq 0 \text{ e } H_1: \beta_1 \neq 1$$

Os parâmetros da regressão linear ainda foram testados sob a hipótese de nulidade conjunta, de acordo com Mayer et al. (1994):

$$H_0: \beta_0 = 0 \text{ e } \beta_1 = 1$$

$$H_1: \beta_0 \neq 0 \text{ e } \beta_1 \neq 1$$

Sob o caso de não rejeição das hipóteses de nulidade conclui-se pela equivalência entre os valores observados e preditos pelos modelos.

Foi calculado o viés médio dos modelos, para mostrar possíveis tendências de subestimação e superestimação da PD dos ingredientes pelos modelos, adaptado de Cochran e Cox (1957):

$$VM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (PDO_i - PDE_i)$$

Em que:

VM = Viés médio; PDO<sub>i</sub> = Proteína digestível observada; PDE<sub>i</sub> = Proteína digestível estimada.

O coeficiente de correlação concordante (CCC), que considera simultaneamente precisão e exatidão, foi calculado de acordo com (Lin, 1989) e a eficiência do modelo (EM) (Loague & Green, 1991; Zacharias et al., 1996) de acordo com as equações:

$$CCC = \frac{2\sigma_{xy}}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + (\bar{x} - \bar{y})}$$

Em que:

CCC = coeficiente de correlação concordante;  $\sigma_{xy}$  = covariância de x e y;  $\sigma_x^2$  = variância de x;  $\sigma_y^2$  = variância de y;  $\bar{x}$  = média de x;  $\bar{y}$  = média de y.

$$EM = \left( \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 \right) / \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2$$

Em que:

EM = eficiência do modelo;  $P_i$  = valor predito;  $O_i$  = valor observado; n = número de observações;  $\bar{O}$  = média dos valores observados.

Todos os procedimentos estatísticos foram realizados no software Model Evaluation System (MES), versão 3.1.13, a um nível crítico de  $p > 0,05$ .

## Resultados e discussão

Durante a realização do ensaio a qualidade de água esteve dentro do estabelecido para o conforto para a espécie, com média de temperatura de 27°C e oxigênio dissolvido em 5,1 mg L<sup>-1</sup> (El-Sayed, 2006).

O valor biológico de cada alimento pode variar de acordo com a metodologia utilizada, composição da ração-referência, processamento das rações, armazenamento e forma de coleta de fezes (Gonçalves et al., 2009). No presente trabalho, optou-se por uma dieta prática para simular o valor nutritivo do alimento em uma dieta comercial, uma vez que passaram pelo mesmo processamento - a extrusão (Hardy & Barrows, 2002).

A extrusão provoca a geleificação do amido, elevando a digestibilidade do ingrediente e a estabilidade do pelete na água. Além disso, a temperatura a que a mistura é submetida na extrusora, 80 a 200°C (Jobling et al., 2001), reduz possíveis impactos de fatores antinutricionais presentes nos ingredientes. (Francis et al., 2001). Com isso, o processo é particularmente benéfico à digestibilidade de ingredientes de

origem vegetal (Cheng & Hardy, 2003). De acordo com (Furuya et al., 1998), a dieta extrusada melhorou o desempenho de machos juvenis de tilápia do Nilo, quando comparada à mesma fórmula peletizada.

A dieta-referência utilizada no experimento foi de alto valor biológico, principalmente para a proteína, uma vez que o CDAPB (93,3%) é próximo dos determinados por Furuya et al. (2001) e Gonçalves et al. (2009), ambos os trabalhos realizados com dieta purificada, com proteína baseada em gelatina e albumina. Estes valores foram mais elevados que os determinados para a dieta-referência, prática utilizada por Köprücü e Özdemir (2005) para avaliar o CDA de aminoácidos em alimentos para tilápia do Nilo. Deste modo, os coeficientes determinados para os ingredientes-teste não foram prejudicados por possíveis deficiências na dieta-referência.

Os CDAPB variaram entre 84,20% e 97,90%, para o farelo de trigo e o farelo de soja 48, respectivamente e, por isso, a digestibilidade da proteína de todos os ingredientes, proteicos ou energéticos foi elevada (Tabela III - 4). Para a formulação de dietas, isso é de grande importância, pois apesar da baixa concentração destes nutrientes, grandes proporções de concentrados energéticos são utilizadas nas formulações, refletindo em quantidades consideráveis destes aminoácidos provenientes de ingredientes energéticos (Gonçalves et al., 2009).

Os CDAPB do glúten de milho, farelo de soja 48 e 62 são semelhantes aos determinados para juvenis de tilápia híbrida (*Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus*), respectivamente, 96,8%; 97,9% e 97,9% (Dong et al., 2010).

Para os grupos do milho e trigo, os alimentos mais fibrosos apresentaram menores CDAPB. A fibra bruta apresenta alto poder laxativo, em decorrência da estimulação dos movimentos peristálticos (Argenzio, 1996), porém, alguns peixes onívoros são capazes de digerir a fibra, de forma limitada (Hardy & Barrows, 2002). Por outro lado, Lanna et al. (2004) determinaram que o CDAPB da proteína das dietas práticas contendo 6, 9 e 12% de fibra bruta não sofreram alteração.

De acordo com Meurer et al. (2003), a elevação do conteúdo de fibra bruta, em dietas para alevinos de tilápia do Nilo, de 3,65 para 8,50%, reduziu o peso final dos peixes e aumentou a velocidade de passagem do bolo alimentar. Dessa forma, a fibra pode reduzir a digestibilidade da proteína e aminoácidos por aspectos físicos e químicos, pois cada enzima tem um local (Tengjaroenkul et al., 2000) e tempo necessário para agir sobre o bolo alimentar (Nelson & Cox, 2004), a maior velocidade

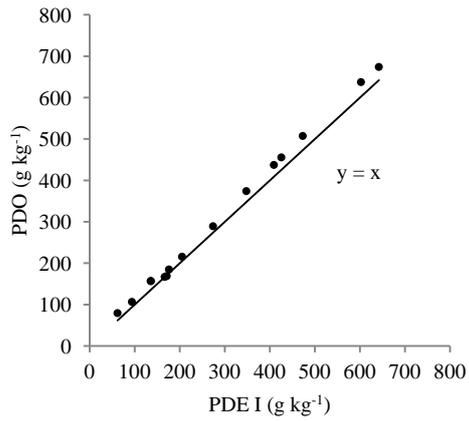
diminui o tempo de contato dos nutrientes com as enzimas e superfícies responsáveis pela sua digestão e absorção (Bakke et al., 2011).

Tabela III - 4 - Coeficiente de digestibilidade aparente da proteína bruta, proteína digestível observada para tilápia do Nilo e estimada por modelos matemáticos em ingredientes de origem vegetal (na base de matéria seca)

| Ingrediente | CDAPB (%)           | PDO (g kg <sup>-1</sup> ) | PDE (g kg <sup>-1</sup> ) |       |       |       |       |
|-------------|---------------------|---------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
|             |                     |                           | I                         | II    | III   | IV    | V     |
| M           | 92,9 <sup>abc</sup> | 79,4                      | 61,8                      | 66,4  | 45,4  | 67,1  | 72,5  |
| GIM         | 89,4 <sup>cd</sup>  | 106,6                     | 93,8                      | 96,5  | 78,9  | 98,9  | 101,4 |
| GDM         | 89,8 <sup>cd</sup>  | 184,8                     | 176,1                     | 174,0 | 165,0 | 180,4 | 175,7 |
| FGM         | 91,2 <sup>bc</sup>  | 215,6                     | 205,2                     | 201,3 | 195,4 | 209,3 | 201,9 |
| GM          | 96,8 <sup>ab</sup>  | 673,9                     | 642,2                     | 612,7 | 652,5 | 642,6 | 596,5 |
| SI          | 96,8 <sup>ab</sup>  | 374,1                     | 347,9                     | 335,6 | 344,7 | 350,8 | 330,8 |
| SSI         | 97,0 <sup>ab</sup>  | 437,3                     | 409,0                     | 393,2 | 408,7 | 411,5 | 386   |
| FS 46       | 97,1 <sup>a</sup>   | 455,5                     | 425,6                     | 408,8 | 426,0 | 427,8 | 400,9 |
| FS 48       | 97,9 <sup>a</sup>   | 507,3                     | 473,1                     | 453,5 | 475,6 | 474,9 | 443,8 |
| FS 62       | 97,4 <sup>a</sup>   | 637,4                     | 602,5                     | 575,3 | 611,0 | 603,3 | 560,6 |
| TL          | 96,3 <sup>ab</sup>  | 157,0                     | 135,5                     | 135,8 | 122,5 | 140,2 | 139,1 |
| T           | 95,7 <sup>ab</sup>  | 156,6                     | 136,0                     | 136,2 | 123,0 | 140,7 | 139,5 |
| FT          | 84,2 <sup>d</sup>   | 168,8                     | 171,2                     | 169,3 | 159,8 | 175,5 | 171,2 |
| FGT         | 85,2 <sup>d</sup>   | 166,9                     | 166,6                     | 165,0 | 155,0 | 171,0 | 167,1 |
| GT          | 93,7 <sup>abc</sup> | 289,2                     | 273,9                     | 266,1 | 267,3 | 277,5 | 264,0 |

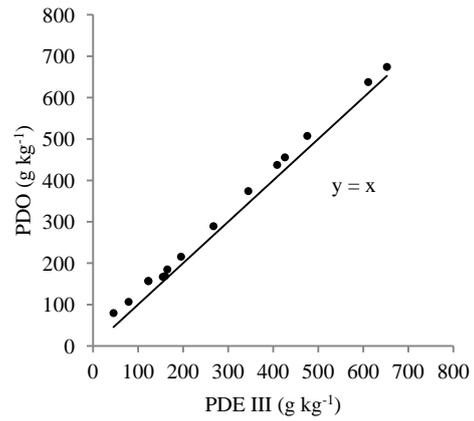
I = Modelo I; II = Modelo II; III = Modelo III; IV = Modelo IV; V = Modelo V; CDAPB = Coeficiente de digestibilidade aparente da proteína bruta; PDO = Proteína digestível observada; PDE = Proteína digestível estimada; M = Milho; GMI = Gérmen integral de milho; GDM = Gérmen integral de milho; FGM = Farelo de glúten de milho; GM = Glúten de milho; SI = Soja integral; SSI = Soja semi-integral; FS46 = Farelo de soja 46; FS48 = Farelo de soja 48; FS62 = Farelo de soja 62; TL = Triguilho; T = Trigo; FT = Farelo de Trigo; FGT = Fibra grossa de trigo; GT = Gérmen de trigo; Números seguidos de letras diferentes significam diferença significativa pelo teste de Tukey (p<0,05)

A relação entre a PDE e PDO de todos os modelos está exposta nas Figura III - 1 a Figura III - 5. Nota-se que a PD foi sempre subestimada pelos modelos, independente da espécie de peixe ou grupo alimentar para que fossem ajustados.



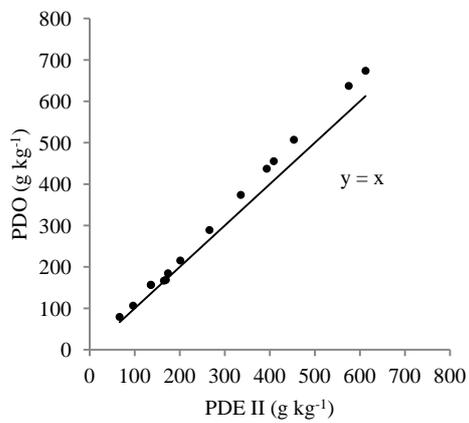
• PDO — PDO = PDE

Figura III - 1 - Relação entre a PDE I e PDO



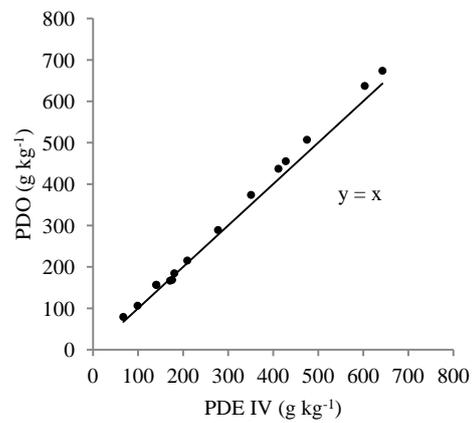
• PDO — PDE III = PDO

Figura III - 3 - Relação entre a PDE III e PDO



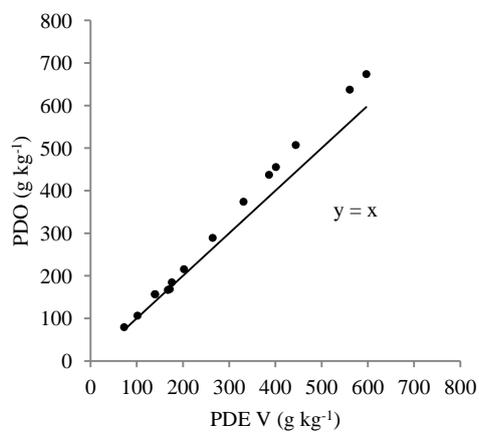
• PDO — PDE II = PDO

Figura III - 2 - Relação entre a PDE II e PDO



• PDO — PDE IV = PDO

Figura III - 4 - Relação entre a PDE IV e PDO



• PDO — PDE V = PDO

Figura III - 5 - Relação entre a PDE V e PDO

A análise dos parâmetros das regressões ajustadas, quando feita separadamente, indica que a hipótese de nulidade foi rejeitada para os interceptos dos Modelos III e V, entre os coeficientes angulares. A hipótese foi aceita apenas para o parâmetro referente ao Modelo III (Tabela III - 5). A hipótese de nulidade para validação simultânea também foi descartada em todos os casos ( $p > 0,05$ ), ratificando que os valores preditos não correspondem aos valores observados.

Tabela III - 5 - Estatística para a regressão entre os valores obtidos e estimados de proteína digestível pelos Modelos I, II, III, IV, V

| Item   | Modelo  |          |         |         |          |
|--|---------|----------|---------|---------|----------|
|  | I       | II       | III     | IV      | V        |
| Intercepto ( $\beta_0$ )                         | 5,504   | -3,631   | 24,776  | -0,641  | -13,894  |
| Inclinação ( $\beta_1$ )                         | 1,048   | 1,113    | 1,002   | 1,057   | 1,161    |
| $r^2$  | 0,998   | 0,998    | 0,998   | 0,998   | 0,998    |
| Valor de P( $H_0: \beta_0 = 0$ )                 | 0,187*  | 0,385*   | <0,001  | 0,876*  | 0,005    |
| Valor de P( $H_0: \beta_1 = 1$ )                 | 0,001   | <0,001   | 0,869*  | <0,001  | <0,001   |
| Valor de P( $H_0: \beta_0 = 0$ e $\beta_1 = 1$ ) | <0,001  | <0,001   | <0,001  | <0,001  | <0,001   |
| Viés médio ( $\text{g kg}^{-1}$ )                | 19,347  | 28,061   | 25,304  | 15,929  | 30,621   |
| EM   | 0,986   | 0,966    | 0,980   | 0,988   | 0,953    |
| CCC  | 0,993   | 0,982    | 0,991   | 0,994   | 0,974    |
| QMEP ( $\text{g kg}^{-1}$ ) <sup>2</sup>         | 504,581 | 1208,113 | 696,926 | 411,709 | 1667,457 |

I = Modelo I; II = Modelo II; III = Modelo III; IV = Modelo IV; V = Modelo V;  $\beta_0$  = Intercepto;  $\beta_1$  = Coeficiente angular; \* Não-significativo ( $p > 0,05$ );  $r^2$  = Coeficiente de determinação; CCC = Coeficiente de correlação concordante; EM = Eficiência do modelo

O viés médio de todos os modelos confirma a situação mostrada nas figuras, que PD foi subestimada por todos os modelos ajustados, ainda de acordo com as figuras, para praticamente todos os ingredientes. O modelo ajustado para sementes e coprodutos em todas as espécies de peixes apresentou o melhor ajuste, com um viés médio de 15,929, enquanto o modelo ajustado para peixes onívoros, independente do ingrediente avaliado teve o pior ajuste, com viés médio de 30,621.

A eficiência do modelo e o coeficiente de correlação concordante indicam que os Modelos I e IV foram os de melhor ajuste, sendo o Modelo IV o melhor ajustado. Isto indica que a separação da base de dados em grupos alimentares mais restritos melhorou o ajuste dos modelos, mais que a formação de grupos por espécies.

Azevêdo et al. (2011) validaram dois modelos, ajustados para estimar a proteína digestível aparente em ingredientes para bovinos, que apesar de validados, estes modelos apresentaram CCC mais baixos (0,900 e 0,921) que os encontrados para os modelos ajustados para estimar a proteína digestível de ingredientes para peixes. Por

outro lado, os vieses médios destes modelos foram  $-9,36$  e  $0,76 \text{ g kg}^{-1}$ , enquanto no atual trabalho o menor valor foi  $15,929 \text{ g kg}^{-1}$ , além disso, os QMEP obtidos para os modelos ajustados para bovinos foram  $1598,0$  e  $1084,3 \text{ g kg}^{-1}$ .

A utilização da regressão linear entre os valores estimados e observados de uma variável dependente pode ser considerada uma fase inicial da avaliação de um modelo, porém não é uma ferramenta definitiva (Mayer et al., 1994). Os testes realizados para verificar a igualdade do intercepto a zero e da angulação da reta a um, utilizam como denominadores expressões que indicam a falta de ajuste do modelo. Desta forma, o valor de  $t$  da verificação individual (Tedeschi, 2006) e de  $F$  da verificação conjunta (Mayer et al., 1994) são inversamente proporcionais à qualidade de ajuste do modelo avaliado, conseqüentemente quando um modelo não é eficiente, por possuir grandes margens de erro, a sua probabilidade de validação é maior (Analla, 1998). Além disso, não permitem a comparação da eficiência entre vários modelos ajustados, situação contornada pelo CCC (Lin, 1989) e a EM (Loague & Green, 1991; Zacharias et al., 1996).

De acordo com os dados avaliados, o ajuste de modelos para grupos alimentares mais restritos reduziu as diferenças entre valores de proteína digestível observados e estimados, mesmo assim, sem a possibilidade de validação.

### **Conclusões**

Os modelos ajustados para estimar a proteína digestível em ingredientes não foram validados pelos valores observados para ingredientes de origem vegetal, em dietas extrusadas para tilápia no Nilo. Os modelos mais restritos, em função do grupo alimentar, sementes e coprodutos, tiveram melhores ajustes.

## Referências

- ANALLA, M. Model validation through the linear regression fit to actual versus predicted values. **Agricultural Systems**, v.57, n.1, p.115-119, 1998.
- ARGENZIO, R. A. Motilidade Gastrointestinal. In: SWENSON, M. J. e REECE, W. O. (Ed.). **Dukes: Fisiologia dos animais domésticos**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996. cap. 17, p.307-318.
- AZEVÊDO, J. A. G.; VALADARES FILHO, S. D. C.; DETMANN, E. et al. Predição de frações digestíveis e valor energético de subprodutos agrícolas e agroindustriais para bovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, p.391-402, 2011.
- BAKKE, A. M.; GLOVER, C.; KROGDAHL, A. Feeding, digestion, and absorption of nutrients. In: GROSELL, M.; FARRELL, A. P. e BRAUNER, C. J. (Ed.). **The Multifunctional gut of fish**. London: Elsevier, 2011. cap. 2, p.57-110. (Fish Physiology).
- BREMER NETO, H.; GRANER, C. A. F.; PEZZATO, L. E. et al. Determinação de rotina do cromo em fezes, como marcador biológico, pelo método espectrofotométrico ajustado da 1,5-difenilcarbazida. **Ciência Rural**, v.35, p.691-697, 2005.
- BUREAU, D. P.; HUA, K. Letter to the Editor of Aquaculture. **Aquaculture**, v.252, n.2-4, p.103-105, 2006.
- CHENG, Z. J.; HARDY, R. W. Effects of extrusion processing of feed ingredients on apparent digestibility coefficients of nutrients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture Nutrition**, v.9, n.2, p.77-83, 2003.
- COCHRAN, W. G.; COX, G. M. **Experimental Design**. New York: John Wiley & Sons, 1957. 611p.
- CYRINO, J. E. P.; BICUDO, Á. J. D. A.; SADO, R. Y. et al. A piscicultura e o ambiente: o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.68-87, 2010.
- DONG, X.-H.; GUO, Y.-X.; YE, J.-D. et al. Apparent digestibility of selected feed ingredients in diets for juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus*×*Oreochromis aureus*. **Aquaculture Research**, v.41, n.9, p.1356-1364, 2010.
- EL-SAYED, A. F. M. **Tilapia Culture**. 1.ed. Wallingford: CABI Publishing, 2006. 277p.
- FAO. **FishStatJ**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations 2011.

- FRANCIS, G.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. **Aquaculture**, v.199, n.3-4, p.197-227, 2001.
- FRIEDMAN, M. Nutritional Value of Proteins from Different Food Sources. A Review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.44, n.1, p.6-29, 1996.
- FURUYA, W. M.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M. et al. **Tabelas Brasileiras para a nutrição de tilápias**. 1.ed. Toledo: GFM Gráfica & Editora, 2010. 100p.
- FURUYA, W. M.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M. et al. Use of ideal protein concept for precision formulation of amino acid levels in fish-meal-free diets for juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). **Aquaculture Research**, v.35, n.12, p.1110-1116, 2004.
- FURUYA, W. M.; PEZZATO, L. E.; MIRANDA, E. C. D. et al. Digestibilidade aparente da energia e nutrientes do farelo de canola pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, p.611-616, 2001.
- FURUYA, W. M.; SOUZA, S. R. D.; FURUYA, V. R. B. et al. Dietas peletizada e extrusada para machos revertidos de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.), na fase de terminação. **Ciência Rural**, v.28, p.483-487, 1998.
- 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**, v.13, n.1, p.17-34, 2007.
- GONÇALVES, G. S.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M. et al. Energia e nutrientes digestíveis de alimentos para a tilápia do nilo. **Boletim do Instituto de Pesca**, v.35, n.2, p.201-213, 2009.
- HARDY, R. W.; BARROWS, F. T. Diet Formulation and manufacture. In: HALVER, J. E. e HARDY, R. W. (Ed.). **Fish Nutrition**. San Diego: Academic Press, 2002. cap. 9, p.506-601.
- JOBLING, M.; GOMES, E.; DIAS, J. Feed types, manufacture and ingredients. In: HOULIHAN, D.;BOUJARD, T. e JOBLING, M. (Ed.). **Food Intake in Fish**. 1. Ames: Blackwell Science, 2001. cap. 2, p.25-48.
- KÖPRÜCÜ, K.; ÖZDEMİR, Y. Apparent digestibility of selected feed ingredients for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v.250, n.1-2, p.308-316, 2005.
- LANNA, E. A. T.; PEZZATO, L. E.; FURUYA, W. M. et al. Fibra bruta e óleo em dietas práticas para alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, p.2177-2185, 2004.
- LIN, L. I. A. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. **Biometrics**, v.45, n.1, p.255-268, 1989.

- LOAGUE, K.; GREEN, R. E. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. **Journal of Contaminant Hydrology**, v.7, n.1–2, p.51-73, 1991.
- MAYER, D. G.; STUART, M. A.; SWAIN, A. J. Regression of real-world data on model output: An appropriate overall test of validity. **Agricultural Systems**, v.45, n.1, p.93-104, 1994.
- MEURER, F.; HAYASHI, C.; BOSCOLO, W. R. Fibra bruta para alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*, L). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, p.256-261, 2003.
- NELSON, D. L.; COX, M. M. **Lehninger Principles of Biochemistry**. 4.ed. New York: W. H. Freeman, 2004.
- NETER, J.; KUTNER, M. H.; NACHTSHEIM, C. J. et al. **Applied Linear Statistical Models**. Boston: McGraw-Hill Publishing Companies, 1996. 1408p.
- NRC. **Nutrient Requirements of fish and shrimp**. Washington: The National Academy Press, 2011. 376p.
- 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.
- RODRIGUES, A. P. O.; GOMINHO-ROSA, M. D. C.; CARGNIN-FERREIRA, E. et al. Different utilization of plant sources by the omnivores jundiá catfish (*Rhamdia quelen*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture Nutrition**, v.18, n.1, p.65-72, 2012.
- SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. 1.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2007.
- SALES, J. The use of linear regression to predict digestible protein and available amino acid contents of feed ingredients and diets for fish. **Aquaculture**, v.278, n.1-4, p.128-142, 2008.
- SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de Alimentos: Métodos Químicos e Biológicos**. 3.ed. Viçosa: Editora UFV, 2002. 235p.
- TEDESCHI, L. O. Assessment of the adequacy of mathematical models. **Agricultural Systems**, v.89, n.2–3, p.225-247, 2006.
- TENGJAROENKUL, B.; SMITH, B. J.; CACECI, T. et al. Distribution of intestinal enzyme activities along the intestinal tract of cultured Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. **Aquaculture**, v.182, n.3-4, p.317-327, 2000.
- VIDAL, L. V. O.; FURUYA, W. M.; MARTINS, E. N. et al. Mathematical modeling for digestible protein in animal feeds for tilapia. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.41, p.1346-1352, 2012.

WU, Y. V.; ROSATI, R. R.; SESSA, D. J. et al. Evaluation of Corn Gluten Meal as a Protein Source in Tilapia Diets. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.43, n.6, p.1585-1588, 1995.

ZACHARIAS, S.; HEATWOLE, C. D.; COAKLEY, C. W. Robust quantitative techniques for validating pesticide transport models. **Transactions of the ASAE**, v.39, p.47-54, 1996.

## **CAPÍTULO IV**

## **Digestibilidade aparente da proteína e aminoácidos do milho, soja, trigo e respectivos subprodutos para tilápias do Nilo**

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi determinar os coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) da proteína e aminoácidos do milho, soja, trigo e subprodutos; a correlação entre os CDAs dos aminoácidos e da proteína; a influência da composição química sobre cada grupo alimentar; o atendimento das exigências nutricionais em aminoácidos da tilápia do Nilo. Para tal, foram utilizados juvenis de tilápia do Nilo com peso de  $30,38 \pm 4,52$  g, alimentados com uma ração prática extrusada, com o óxido de cromo III como indicador de digestibilidade. As fezes foram coletadas por meio de sistema Guelph adaptado. Os CDA da proteína bruta foram altos para todos os ingredientes, entre 84,2 e 97,9% para o farelo de trigo e farelo de soja 48, respectivamente. O CDA da proteína bruta é resultado dos CDAs dos aminoácidos sendo mais elevados nos ingredientes com baixos teores de fibra. Foi constatado que a composição química influencia a variação dos CDAs da proteína bruta de maneira diferente, entre os grupos avaliados. A metionina é o primeiro aminoácido limitante em todos os ingredientes, enquanto a arginina está acima da exigência em todos. O grupo do trigo é mais equilibrado com relação à exigência nutricional da tilápia do Nilo, apesar da deficiência em alguns aminoácidos.

**Palavras-chave:** piscicultura, nutrição, valor nutritivo, grãos

## **Apparent digestibility of protein and amino acids for corn, soybeans, wheat and byproducts for Nile tilapia**

**ABSTRACT:** The objective of this study was to determine the apparent digestibility coefficients (ADC) of protein and amino acids from corn, soybean, wheat and byproducts; the correlation between the ADCs of amino acids and protein; the influence of chemical composition on the digestibility of each feed group; the matching between the digestible amino acids and the nutritional requirements of the Nile tilapia. Juvenile Nile tilapia weighing  $30.38 \pm 4.52$  g were fed a practical extruded diet with chromium oxide III as an indicator of digestibility. Feces were collected using the adapted Guelph system. The crude protein ADCs were high for all ingredients, between 84.2 and 97.9% for wheat bran and soybean meal 48, respectively. The ADC of crude protein is the result of CDAs of amino acids, being higher in the ingredients of low fiber content. It was found that the chemical composition influences differently the variation in crude protein ADCs in each group. Methionine is the first limiting amino acid in all the ingredients, while arginine is above requirement in all of them. The wheat group is more balanced with respect to the nutritional requirement of the Nile tilapia, but is deficient in some amino acids.

**Keywords:** fish culture, nutrition, nutritional value, grains

## Introdução

O grupo das tilápias é importante em diversos países, principalmente aqueles de clima tropical e subtropical. Em sistemas intensivos, as tilápias destacam-se pelo rápido crescimento e rusticidade. Além disso, possui carne de boas características organolépticas, passível de processamento industrial para a obtenção de filés sem espinhos (Furuya et al., 2010). Esses peixes pertencem à subfamília Pseudocrenilabrinae, caracterizada por peixes de hábito alimentar onívoro, com tendência herbívora (El-Sayed, 2006).

A nutrição, semelhante a outras atividades pecuárias, possui um papel chave na indústria aquícola, influenciando crescimento, saúde, qualidade do produto e produção de dejetos. Além disso, representa mais de 50% dos custos variáveis, chegando a 80% em sistemas intensivos (NRC, 2011).

Os animais não possuem exigência de proteína, mas de um balanceamento de aminoácidos, que devem estar presentes em adequadas proporções, podendo ser obtidas pela combinação de ingredientes e/ou pela suplementação com aminoácidos industriais (Storebakken et al., 2000). Os ingredientes não são idênticos em seu valor nutricional e biológico, por apresentarem variação na composição e digestibilidade de aminoácidos (Wilson, 2002).

Os ingredientes de origem vegetal são amplamente utilizados na alimentação de tilápias (Furuya et al., 2004). As principais fontes de proteína de origem vegetal são os farelos de sementes oleaginosas, obtidos do material remanescente da extração de óleo da soja, semente de algodão, canola, amendoim e girassol (Friedman, 1996), além dos concentrados obtidos do processamento de alguns cereais (Wu et al., 1995). Os cereais são os principais ingredientes energéticos nas dietas, por serem fontes baratas e pela propriedade aglutinante do amido, necessário à boa formação dos peletes (Jobling et al., 2001).

Por outro lado, o perfil de aminoácidos dos ingredientes de origem vegetal não corresponde ao perfil de exigências dos peixes (Bicudo et al., 2010; NRC, 2011), o que torna necessária a suplementação com aminoácidos industriais (Furuya et al., 2004). Para adequada suplementação de aminoácidos, é necessário o conhecimento das exigências nutricionais e da digestibilidade dos aminoácidos dos alimentos utilizados (Furuya et al., 2010).

O objetivo deste trabalho foi determinar os coeficientes de digestibilidade aparente e valores digestíveis da proteína e aminoácidos em produtos e subprodutos do milho, soja e trigo para juvenis de tilápia do Nilo. Buscou-se estimar a correlação entre a digestibilidade da proteína e a digestibilidade dos aminoácidos, além do atendimento das exigências em aminoácidos em função da exigência em proteína digestível.

### **Material e métodos**

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, em janeiro de 2010.

Para a coleta de fezes foram utilizados tanques cônicos de fibra de vidro com capacidade individual de 250 L, em que os peixes foram mantidos durante todo o período experimental.

Em cada tanque foram distribuídos 20 juvenis de tilápia do Nilo da linhagem GIFT, com peso vivo médio de  $30,38 \pm 4,52$  g, provenientes de uma base avançada da Universidade Estadual de Maringá localizada no rio do Corvo no município do Diamante do Norte/PR. Os peixes foram adaptados ao manejo e às instalações durante 20 dias, após ocorreu a aclimação com a ração-referência durante cinco dias, ao final deste processo, foram iniciadas as coletas.

Toda água utilizada no ensaio de digestibilidade foi proveniente de um poço artesiano previamente estocada em dois tanques circulares de 2.000 L dentro do laboratório. Com isso, evitaram-se mudanças bruscas na temperatura durante as trocas diárias. A água era trocada totalmente duas vezes ao dia e a oxigenação mantida por pedras porosas, acopladas a um soprador radial e a temperatura avaliada diariamente.

Os alimentos utilizados foram obtidos de plantas de processamento de oleaginosas e cereais, com a escolha baseada na utilização dos mesmos na indústria de rações para peixes e na possibilidade de comparar o valor nutritivo entre eles.

As dietas foram fornecidas, diariamente, até a saciedade aparente dos peixes no período entre 11 e 16h, para retardar o início da excreção e conseqüentemente aproximar do horário de retirada dos coletores, diminuindo a lixiviação de nutrientes. Trinta minutos após o último arraçoamento, às 16h30min, todos os tanques foram lavados e a água totalmente renovada para que os frascos coletores fossem acoplados individualmente no fundo, às 17h. As fezes, que foram armazenadas no frasco coletor

durante a noite, eram recolhidas na manhã seguinte (08h), e armazenadas em frascos plásticos identificados e acondicionadas em freezer a  $-21^{\circ}\text{C}$  até o final do período de coleta.

Para a determinação do coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) da proteína e aminoácidos, elaborou-se uma ração-referência prática com base em proteína de farelo de soja e farinha de vísceras de aves (Tabela IV - 1). O CDA da proteína bruta e aminoácidos foi determinado pelo método indireto usando óxido de cromo III ( $7.2 \text{ g kg}^{-1}$ ) como indicador.

Tabela IV - 1 - Composição da dieta-referência (na base de matéria seca)

| Item                                     | $\text{g kg}^{-1}$ |
|--|--------------------|
| Vísceras farinha aves                    | 220,0              |
| Soja farelo                              | 349,4              |
| Milho grão                               | 383,2              |
| Fosfato bicálcico                        | 15,0               |
| Óleo de soja                             | 10,0               |
| Vitamina C                               | 1,0                |
| NaCl                                     | 5,0                |
| Suplemento mineral e vitamínico          | 8,0                |
| Antioxidante                             | 0,2                |
| Antifúngico                              | 1,0                |
| Óxido de cromo III                       | 7,2                |
| Composição                               |                    |
| Proteína bruta $\text{g kg}^{-1}$        | 360,9              |
| Energia digestível $\text{kcal kg}^{-1}$ | 3258,5             |
| Fibra bruta $\text{g kg}^{-1}$           | 35,4               |
| Gordura $\text{g kg}^{-1}$               | 60,3               |
| Cálcio $\text{g kg}^{-1}$                | 16,5               |
| Fósforo disponível $\text{g kg}^{-1}$    | 10,7               |

<sup>1</sup>Suplemento mineral e vitamínico (por kg): vitamina A, 1200000 IU; vitamina D3, 200000 IU; vitamina E, 12000 mg; vitamina K3, 2400 mg; vitamina B1, 4800 mg; vitamina B2, 4800 mg; vitamina B6, 4000 mg; vitamina B12, 4800 mg; ácido fólico = 1200 mg; pantotenato D-cálcio, 12000 mg; ácido ascórbico, 48000 mg; biotina, 48 mg; colina, 65000 mg; ácido nicotínico, 24000 mg; ferro, 10000 mg; sulfato de cobre, 600 mg; sulfato de manganês, 4000 mg; sulfato de zinco, 6000 mg; iodo de potássio, 20 mg; cobalto, 2 mg; selênio, 20 mg; <sup>2</sup>Vitamina C: sal calcítico, princípio ativo-42% ácido ascórbico-2-monofosfato; <sup>3</sup>Butil-hidroxi-tolueno; <sup>4</sup>Propionato de cálcio

Como alimentos-teste foram utilizados produtos e subprodutos de milho, soja e trigo, incluídos na dieta-referência na proporção de 30%, constituindo as rações-teste. As composições químicas dos ingredientes-teste estão na Tabela IV - 2. O perfil de aminoácidos da ração-referência e milho, soja trigo e os respectivos subprodutos estão na Tabela IV - 3.

Tabela IV - 2 - Composição química do milho, soja, trigo e subprodutos (na base de matéria seca)

| Ingrediente | Composição química (g kg <sup>-1</sup> ) |       |       |      |       | EB<br>(kcal kg <sup>-1</sup> ) |
|-------------|--|-------|-------|------|-------|--------------------------------|
|             | PB                                       | FB    | EE    | MM   | ENN   |                                |
| M           | 85,5                                     | 22,4  | 38,1  | 6,0  | 848,0 | 4453                           |
| GIM         | 119,2                                    | 146,7 | 458,2 | 6,2  | 269,7 | 6819                           |
| GDM         | 205,8                                    | 143,3 | 113,9 | 14,9 | 522,1 | 5241                           |
| FGM         | 236,4                                    | 97,5  | 29,3  | 43,3 | 593,5 | 4565                           |
| GM          | 696,4                                    | 9,8   | 28,4  | 16,4 | 249,0 | 5831                           |
| SI          | 386,6                                    | 46,7  | 219,7 | 44,1 | 302,9 | 5668                           |
| SSI         | 451,0                                    | 54,2  | 74,7  | 47,8 | 372,3 | 5135                           |
| FS46        | 468,4                                    | 106,8 | 23,0  | 56,0 | 345,8 | 4540                           |
| FS48        | 518,4                                    | 47,1  | 17,7  | 61,8 | 354,9 | 4750                           |
| FS62        | 654,6                                    | 32,7  | 6,0   | 62,5 | 244,3 | 4785                           |
| TL          | 163,1                                    | 31,2  | 16,6  | 16,5 | 772,7 | 4423                           |
| T           | 163,6                                    | 22,8  | 15,4  | 17,9 | 780,3 | 4391                           |
| FT          | 200,6                                    | 85,1  | 30,4  | 51,1 | 633,0 | 4506                           |
| FGT         | 195,8                                    | 87,5  | 37,9  | 54,4 | 624,4 | 4555                           |
| GT          | 308,8                                    | 27,2  | 87,1  | 47,1 | 529,9 | 4837                           |

PB = Proteína bruta; FB = Fibra bruta; EE = Extrato etéreo; MM = Matéria mineral; ENN = Extrativo não-nitrogenado; EB = Energia bruta; M = Milho; GMI = Gérmen integral de milho; GDM = Gérmen integral de milho; FGM=Farelo de glúten de milho; GM = Glúten de milho; SI = Soja integral; SSI = Soja semi-integral; FS46 = Farelo de soja 46; FS48 = Farelo de soja 48; FS62 = Farelo de soja 62; TL = Triguilho; T = Trigo; FT = Farelo de Trigo; FGT = Fibra grossa de trigo; GT = Gérmen de trigo

Na confecção das rações-teste, após moagem, pesagem e homogeneização dos ingredientes, foi acrescida água na proporção de 12% do peso total da ração. A mistura foi extrusada em matriz de 2 mm e desidratada em estufa de ventilação forçada a 55°C durante 24h, este procedimento realizado na fábrica de ração do Grupo de Estudos de Manejo na Aquicultura da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste/Toledo.

Cada dieta-teste foi avaliada em triplicata, ou seja, três tanques cônicos foram utilizados para determinar a digestibilidade de cada dieta-teste e cada tanque foi considerada uma repetição. Esta coleta foi mantida durante o período de sete dias, formando assim um “pool” de fezes. A cada nova dieta-teste, as fezes eram desprezadas nos três primeiros dias para evitar possíveis contaminações com as fezes da dieta anterior.

Tabela IV - 3 - Perfil de aminoácidos da dieta-referência e alimentos utilizados nas dietas experimentais (na base de matéria seca)

| Aminoácido (g kg <sup>-1</sup> ) | DR    | M    | GIM  | GDM  | FGM  | GM    | SI   | SSI  | FS46 | FS48  | FS62  | TL   | T    | FT   | FGT  | GT   |
|----------------------------------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| Aminoácidos Essenciais           |       |      |      |      |      |       |      |      |      |       |       |      |      |      |      |      |
| Arginina                         | 27,23 | 5,0  | 10,1 | 15,6 | 9,8  | 31,0  | 30,8 | 40,7 | 35,6 | 48,1  | 61,1  | 7,4  | 7,1  | 12,6 | 12,2 | 22,9 |
| Fenilalanina                     | 15,46 | 4,4  | 5,4  | 9,1  | 8,9  | 47,7  | 21,2 | 24,3 | 25,2 | 28,7  | 35,6  | 7,4  | 7,2  | 7,8  | 7,6  | 10,8 |
| Histidina                        | 6,14  | 2,1  | 3,1  | 4,3  | 5,3  | 11,8  | 10,8 | 9,0  | 12,5 | 10,4  | 13,0  | 3,5  | 3,5  | 4,9  | 4,9  | 7,2  |
| Isoleucina                       | 13,18 | 3,0  | 4,0  | 6,8  | 7,0  | 29,0  | 18,4 | 20,8 | 22,2 | 24,2  | 30,8  | 5,5  | 5,4  | 5,9  | 5,7  | 9,3  |
| Leucina                          | 26,08 | 11,3 | 10,0 | 17,3 | 22,9 | 125,0 | 31,5 | 36,4 | 37,4 | 42,3  | 53,4  | 10,5 | 10,5 | 12,1 | 11,7 | 18,3 |
| Lisina                           | 19,56 | 2,6  | 5,4  | 8,5  | 7,6  | 14,0  | 25,9 | 28,4 | 30,3 | 33,3  | 42,0  | 4,3  | 4,0  | 7,2  | 7,5  | 17,2 |
| Metionina                        | 5,86  | 1,8  | 2,2  | 3,8  | 3,9  | 16,0  | 5,4  | 6,0  | 6,8  | 7,1   | 8,7   | 2,6  | 2,5  | 3,1  | 2,8  | 5,1  |
| Treonina                         | 13,13 | 3,3  | 4,8  | 7,9  | 9,0  | 25,0  | 16,4 | 18,6 | 19,4 | 22,1  | 27,6  | 4,8  | 4,7  | 6,5  | 6,3  | 11,4 |
| Triptofano                       | 3,62  | 0,6  | 1,5  | 2,7  | 1,4  | 4,5   | 5,4  | 6,1  | 6,8  | 7,1   | 8,7   | 4,5  | 1,8  | 2,6  | 2,5  | 3,2  |
| Valina                           | 15,03 | 4,3  | 6,6  | 11,2 | 11,3 | 33,5  | 19,0 | 22,1 | 22,5 | 25,4  | 31,9  | 6,6  | 6,5  | 8,4  | 8,5  | 13,8 |
| Aminoácidos Não-Essenciais       |       |      |      |      |      |       |      |      |      |       |       |      |      |      |      |      |
| Ácido aspartico                  | 32,35 | 5,9  | 8,1  | 14,2 | 12,8 | 47,4  | 47,1 | 55,5 | 57,1 | 64,3  | 80,3  | 7,7  | 7,8  | 13,1 | 13,1 | 23,5 |
| Ácido glutâmico                  | 54,97 | 17,3 | 17,5 | 30,4 | 39,2 | 164,9 | 75,7 | 89,2 | 89,5 | 103,0 | 130,3 | 48,5 | 48,7 | 42,1 | 38,5 | 47,0 |
| Alanina                          | 19,01 | 6,8  | 7,1  | 12,7 | 17,5 | 65,2  | 17,7 | 20,5 | 20,9 | 23,6  | 29,2  | 5,4  | 5,4  | 8,7  | 8,8  | 16,7 |
| Cistina                          | 4,22  | 2,2  | 2,3  | 3,8  | 5,3  | 12,9  | 5,8  | 6,5  | 6,9  | 7,5   | 9,3   | 3,7  | 3,7  | 4,1  | 3,8  | 4,5  |
| Glicina                          | 22,53 | 3,5  | 6,8  | 11,0 | 10,8 | 20,5  | 17,7 | 21,5 | 21,0 | 23,7  | 29,3  | 6,5  | 6,4  | 9,9  | 9,7  | 15,9 |
| Serina                           | 15,45 | 4,4  | 5,9  | 9,8  | 10,6 | 39,2  | 21,2 | 25,0 | 25,3 | 28,6  | 35,9  | 7,5  | 7,5  | 8,9  | 8,3  | 12,7 |
| Tirosina                         | 10,68 | 3,0  | 3,6  | 6,1  | 6,9  | 40,1  | 14,9 | 17,8 | 17,6 | 19,7  | 24,7  | 4,0  | 3,9  | 4,4  | 4,5  | 7,0  |

DR = Dieta-referência; M = Milho; GMI = Gérmen integral de milho; GDM = Gérmen integral de milho; FGM=Farelo de glúten de milho; GM = Glúten de milho; SI = Soja integral; SSI = Soja semi-integral; FS46 = Farelo de soja 46; FS48 = Farelo de soja 48; FS62 = Farelo de soja 62; TL = Triguilho; T = Trigo; FT = Farelo de Trigo; FGT = Fibra grossa de trigo; GT = Gérmen de trigo

Ao final de cada período de coleta, as fezes foram desidratadas em estufa de ventilação forçada a 55°C durante 48h e, em seguida, moídas em moinho tipo bola. As análises bromatológicas dos ingredientes-teste, das dietas 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 Silva e Queiroz (2002). O conteúdo de cromo 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 determinadas pelo Laboratório da Ajinomoto do Brasil Indústria e Comércio de Alimentos Ltda., Limeira-SP, pelo método de Cromatógrafo a Líquido de Alto Desempenho (HPLC), modelo Shimatzu.

Os CDA da proteína foram calculados de acordo com as expressões sugeridas por Bureau e Hua (2006):

$$CDA = 100 - \left[ 100 \times \left( \frac{g \text{ kg}^{-1} I_D}{g \text{ kg}^{-1} I_F} \right) \times \left( \frac{g \text{ kg}^{-1} N_F}{g \text{ kg}^{-1} N_D} \right) \right]$$

Em que: CDA(n) = digestibilidade aparente;  $I_D = g \text{ kg}^{-1}$  de óxido de crômio na ração;  $I_F = g \text{ kg}^{-1}$  de óxido de crômio nas fezes;  $N_D =$  nutrientes na ração;  $N_F =$  nutriente nas fezes.

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

Em que:

$CDA_{Ing}$  = coeficiente de digestibilidade aparente do ingrediente;

$CD_{DT}$  = coeficiente de digestibilidade aparente da dieta com o alimento-teste;

$CD_{DR}$  = coeficiente de digestibilidade aparente da dieta-referência;

b = porcentagem da dieta-referência;

a = porcentagem do ingrediente-teste;

$N_{DR}$  = nutriente na dieta-referência;

$N_{Ing}$  = nutriente na dieta-teste.

As diferenças entre os valores digestíveis da proteína foram submetidos à análise de variância (Anova) e uma vez detectadas diferenças significativas, foram submetidos ao teste de Tukey. Para verificar a relação entre a digestibilidade da proteína e dos aminoácidos, foram utilizados dois procedimentos: a correlação entre os CDA da proteína bruta com os CDA dos aminoácidos; e regressões lineares múltiplas, com os

CDA dos aminoácidos como variáveis independentes e o CDA da proteína bruta como variável dependente. Para avaliar a influência da composição química sobre o aproveitamento de cada grupo alimentar, foi realizada a análise de trilha, entre a composição química de cada grupo avaliado e o CDAPB.

Foi avaliada a distância Euclidiana entre o perfil de aminoácidos digestíveis dos ingredientes e a exigência nutricional da espécie, assim como o atendimento das exigências nutricionais em aminoácidos, em percentual da proteína digestível dos alimentos (NRC, 2011). O atendimento das exigências nutricionais foi calculado de acordo com a equação:

$$AE(\%) = \left( \frac{AA_{Dig}/PD}{E_{AA}/E_{PD}} \right) \times CDAPB$$

Em que:

AE = atendimento da exigência

AA<sub>Dig</sub> = aminoácido digestível

PD = proteína digestível

E<sub>AA</sub> = exigência em aminoácido

E<sub>PD</sub> = exigência em proteína digestível

CDAPB = coeficiente de digestibilidade aparente da proteína bruta

Os cálculos de digestibilidade e o atendimento das exigências nutricionais foram realizados no software Excel, as regressões e correlações foram calculadas no pacote estatístico SAS 9.1.3. A análise de trilha foi realizada no software GENES, da Universidade Federal de Viçosa. Para avaliar a proximidade entre o perfil aminoacídico digestível dos ingredientes e a exigência nutricional da espécie, foi realizada a análise de agrupamento hierárquico, utilizando os aminoácidos como variáveis, no pacote estatístico IBM SPSS 20.0.

## Resultados e discussão

Durante a realização do ensaio, a qualidade de água esteve dentro do estabelecido para o conforto para a espécie, com média de temperatura de 27°C e oxigênio dissolvido em 5,1 mg L<sup>-1</sup> (El-Sayed, 2006).

O valor biológico de cada alimento pode variar de acordo com a metodologia utilizada, composição da dieta-referência, processamento das dietas, armazenamento e forma de coleta de fezes (Gonçalves et al., 2009). No presente trabalho, optou-se por

uma dieta prática, para simular o valor nutritivo do alimento em uma dieta comercial, uma vez que passaram pelo mesmo processamento - a extrusão (Hardy & Barrows, 2002).

A extrusão provoca a geleificação do amido, elevando a digestibilidade do ingrediente e a estabilidade do pelete na água. Além disso, a temperatura a que a mistura é submetida na extrusora, 80 a 200°C (Jobling et al., 2001), reduz possíveis impactos de fatores antinutricionais presentes nos ingredientes (Francis et al., 2001). Com isso, o processo é particularmente benéfico à digestibilidade de ingredientes de origem vegetal (Cheng & Hardy, 2003). De acordo com (Furuya et al., 1998), a dieta extrusada melhorou o desempenho de machos juvenis de tilápia do Nilo, quando comparada à mesma fórmula peletizada.

A dieta-referência utilizada no experimento foi de alto valor biológico, principalmente para a proteína e aminoácidos, uma vez que o CDA da proteína (93,3%) foi próximo da média obtida para os aminoácidos (94,6%) (Tabela IV - 4). Estes valores são próximos dos determinados por Furuya et al. (2001) e Gonçalves et al. (2009), ambos os trabalhos foram realizados com dieta purificada, com proteína baseada em gelatina e albumina. Estes valores foram mais elevados que os determinados para a dieta-referência, prática utilizada por Köprücü e Özdemir (2005) para avaliar o CDA de aminoácidos em alimentos para tilápia do Nilo. Deste modo, os coeficientes determinados para os ingredientes-teste não foram prejudicados por possíveis deficiências na dieta-referência.

Os CDA da proteína variaram entre 86,70% e 98,40%, para o farelo de trigo e o glúten de milho, respectivamente. A digestibilidade da proteína e aminoácidos de todos os ingredientes, proteicos ou energéticos foi elevada. Para a formulação de rações, isso é de grande importância, pois apesar da baixa concentração destes nutrientes, grandes proporções de concentrados energéticos são utilizadas nas formulações, refletindo em quantidades consideráveis destes aminoácidos provenientes de ingredientes não-proteicos (Gonçalves et al., 2009).

O menor CDA entre os aminoácidos foi da treonina do farelo de trigo (83,5%), e o da leucina da protenose de milho o mais elevado (100%). A média dos CDA dos aminoácidos foi mais elevada que as determinadas, para tilápia, por Gonçalves et al. (2009) e Furuya et al. (2001); para ambos os ensaios, foram utilizadas dietas peletizadas, enquanto no presente trabalho as dietas foram extrusadas.

Por outro lado, Guimarães et al. (2008b) também utilizaram dietas práticas extrusadas e determinaram médias mais baixas para o milho (70,1%) e farelo de trigo (62,1%), contra 94,9 e 88,6% do presente trabalho. Os CDA médios dos aminoácidos, determinados por Guimarães et al. (2008a), para o farelo de soja e glúten de milho foram 92,3 e 89,6%, respectivamente, inferiores aos determinados no presente experimento. Para os trabalhos de Guimarães et al. (2008a) e Guimarães et al. (2008b), apesar de utilizarem dietas referencia extrusadas, a composição foi diferente da utilizada no atual trabalho, principalmente no tipo e proporção de ingredientes proteicos.

Os CDAPB do glúten de milho, farelo de soja 48 e 62 são semelhantes aos determinados para juvenis de tilápia híbrida (*Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus*), respectivamente, 96,8%; 97,9% e 97,9% (Dong et al., 2010). Dentro dos grupos alimentares, os ingredientes com maior percentual de fibra bruta apresentaram CDA da proteína e aminoácidos mais baixos.

A fibra bruta apresenta alto poder laxativo, em decorrência da estimulação dos movimentos peristálticos (Argenzio, 1996), porém, alguns peixes onívoros são capazes de digerir a fibra, de forma limitada (Hardy & Barrows, 2002). Por outro lado, Lanna et al. (2004) determinaram que o CDA da proteína das rações práticas contendo 6,9 e 12,0% de fibra bruta não sofreram alteração.

De acordo com Meurer et al. (2003), a elevação do conteúdo de fibra bruta, em dietas para alevinos de tilápia do Nilo, de 3,65 para 8,50%, reduziu o peso final e aumentou a velocidade de passagem do bolo alimentar. Dessa forma, a fibra pode reduzir a digestibilidade da proteína e aminoácidos por aspectos físicos e químicos, pois cada enzima tem um local (Tengjaroenkul et al., 2000) e tempo necessários para agir sobre o bolo alimentar (Nelson & Cox, 2004), a maior velocidade diminui o tempo de contato dos nutrientes com as enzimas e superfícies responsáveis pela sua digestão e absorção (Bakke et al., 2011).

Tabela IV - 4 - Coeficientes de digestibilidade aparente da proteína e aminoácidos do milho, soja, trigo e subprodutos

| Nutriente (g kg <sup>-1</sup> ) | DR          | M                   | GIM                | GDM                | FGM                | GM                 | SI                 | SSI                | FS46              | FS48              | FS62              | TL                 | T                  | FT                | FGT               | GT                  |
|---------------------------------|-------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| Proteína Bruta <sup>1</sup>     | 93,3        | 92,9 <sup>abc</sup> | 89,4 <sup>cd</sup> | 89,8 <sup>cd</sup> | 91,2 <sup>bc</sup> | 96,8 <sup>ab</sup> | 96,8 <sup>ab</sup> | 97,0 <sup>ab</sup> | 97,1 <sup>a</sup> | 97,9 <sup>a</sup> | 97,4 <sup>a</sup> | 96,3 <sup>ab</sup> | 95,7 <sup>ab</sup> | 84,2 <sup>d</sup> | 85,2 <sup>d</sup> | 93,7 <sup>abc</sup> |
| Aminoácidos Essenciais          |             |                     |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                   |                   |                   |                    |                    |                   |                   |                     |
| Arginina                        | 97,9        | 92,6                | 93,8               | 94,7               | 92,6               | 97,8               | 98,2               | 97,9               | 97,8              | 97,5              | 97,6              | 96,1               | 92,2               | 89,3              | 85,5              | 95,4                |
| Fenilalanina                    | 94,8        | 95,6                | 91,4               | 89,2               | 91,8               | 97,4               | 96,1               | 97,1               | 96,9              | 96,5              | 96,3              | 95,7               | 96,6               | 82,6              | 82,8              | 94,8                |
| Histidina                       | 94,6        | 98,5                | 93,6               | 91,3               | 92,5               | 97,6               | 97,5               | 97,8               | 97,5              | 98,2              | 97,9              | 92,2               | 95,9               | 87,0              | 89,7              | 97,5                |
| Isoleucina                      | 94,2        | 95,3                | 92,1               | 89,9               | 92,0               | 96,9               | 97,2               | 96,8               | 96,6              | 96,7              | 96,3              | 94,7               | 96,3               | 83,1              | 82,7              | 94,6                |
| Leucina                         | 94,9        | 96,4                | 92,3               | 89,8               | 93,6               | 98,0               | 96,6               | 96,4               | 96,4              | 95,8              | 95,4              | 96,1               | 96,7               | 83,3              | 82,8              | 94,9                |
| Lisina                          | 96,3        | 88,8                | 91,4               | 87,3               | 88,3               | 95,6               | 97,4               | 97,5               | 97,3              | 97,3              | 97,2              | 93,4               | 93,8               | 85,1              | 80,7              | 96,4                |
| Metionina                       | 95,7        | 95,3                | 91,3               | 88,6               | 92,9               | 97,5               | 96,5               | 97,2               | 97,2              | 96,5              | 96,2              | 96,3               | 94,4               | 84,5              | 82,1              | 94,4                |
| Tirosina                        | 95,7        | 97,6                | 93,1               | 90,0               | 93,9               | 97,0               | 97,5               | 97,7               | 97,6              | 97,3              | 97,0              | 97,1               | 96,1               | 85,8              | 85,9              | 95,6                |
| Treonina                        | 92,6        | 86,1                | 89,8               | 84,1               | 87,6               | 96,3               | 95,1               | 95,2               | 95,6              | 95,7              | 94,5              | 95,3               | 89,1               | 77,9              | 78,8              | 92,9                |
| Triptofano                      | 93,1        | 98,6                | 88,7               | 89,1               | 82,0               | 95,3               | 96,7               | 97,0               | 96,7              | 97,3              | 97,5              | 96,3               | 98,5               | 84,8              | 87,8              | 97,0                |
| Valina                          | 93,6        | 96,1                | 92,7               | 90,8               | 92,6               | 97,0               | 96,8               | 96,3               | 96,2              | 96,1              | 95,2              | 96,5               | 94,1               | 80,7              | 83,0              | 94,4                |
| Aminoácidos Não-essenciais      |             |                     |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                   |                   |                   |                    |                    |                   |                   |                     |
| Ácido aspártico                 | 95,3        | 92,5                | 91,5               | 86,5               | 89,0               | 96,9               | 97,7               | 97,8               | 97,7              | 98,0              | 97,7              | 98,9               | 96,4               | 86,1              | 83,4              | 96,8                |
| Ácido glutâmico                 | 96,8        | 96,6                | 94,7               | 92,2               | 95,2               | 98,4               | 98,4               | 98,6               | 98,4              | 98,4              | 98,2              | 99,0               | 99,1               | 94,7              | 93,0              | 97,7                |
| Alanina                         | 93,1        | 91,8                | 92,8               | 93,0               | 94,9               | 97,0               | 96,1               | 94,8               | 95,7              | 96,7              | 95,4              | 98,9               | 93,5               | 82,7              | 85,6              | 93,9                |
| Cistina                         | 93,5        | 99,6                | 95,1               | 91,6               | 94,5               | 96,4               | 98,5               | 98,1               | 98,1              | 98,2              | 97,7              | 97,8               | 97,3               | 86,9              | 88,7              | 96,9                |
| Glicina                         | 91,3        | 94,2                | 96,4               | 94,7               | 94,6               | 98,8               | 98,2               | 96,0               | 96,1              | 98,1              | 96,9              | 107,6              | 98,0               | 86,7              | 88,6              | 92,8                |
| Serina                          | 95,0        | 95,2                | 93,3               | 90,1               | 93,2               | 98,1               | 96,9               | 97,1               | 97,1              | 97,1              | 96,6              | 97,7               | 96,8               | 86,3              | 85,7              | 95,9                |
| Tirosina                        | 95,7        | 96,3                | 93,4               | 91,4               | 93,6               | 97,4               | 97,0               | 97,7               | 97,6              | 97,7              | 97,6              | 96,3               | 97,4               | 88,5              | 84,4              | 94,8                |
| <i>Média</i>                    | <i>94,7</i> | <i>94,8</i>         | <i>92,6</i>        | <i>90,2</i>        | <i>91,9</i>        | <i>97,2</i>        | <i>97,1</i>        | <i>97,1</i>        | <i>97,0</i>       | <i>97,2</i>       | <i>96,7</i>       | <i>97,0</i>        | <i>95,7</i>        | <i>85,3</i>       | <i>85,1</i>       | <i>95,4</i>         |

DR = Dieta-referência; M = Milho; GMI = Gérmen integral de milho; GDM = Gérmen integral de milho; FGM = Farelo de glúten de milho; GM = Glúten de milho; SI = Soja integral; SSI = Soja semi-integral; FS46 = Farelo de soja 46; FS48 = Farelo de soja 48; FS62 = Farelo de soja 62; TL = Triguilho; T = Trigo; FT = Farelo de Trigo; FGT = Fibra grossa de trigo; GT = Gérmen de trigo; Médias na mesma linha, seguidas pela mesma letra, não diferem pelo teste de Tukey (p<0,05)

A análise de trilha indica diferenças no efeito da composição química dos três grupos avaliados sobre seus respectivos os CDAPB (Tabela IV - 5). No grupo do milho, a FB foi a variável com maior correlação (-0,916) e efeito direto (-0,678), fato que confirma o efeito da fibra sobre a fisiologia digestiva da tilápia (Meurer et al., 2003). Para a soja, não houve diferença entre os CDAPB, porém foi detectada alta correlação (0,857) e efeito direto da MM (1,446). A FB foi a variável de maior correlação (-0,976) com o aproveitamento do trigo e subprodutos, porém o maior efeito direto (-1,080) com alta correlação (-0,843) foi da MM, indicando que os teores de minerais são proporcionais aos teores de fibra, que por sua vez diminuem a digestibilidade dos ingredientes. Em nenhum dos grupos foi detectada alta correlação, juntamente com efeito direto, entre a PB e CDAPB

Tabela IV - 5 - Análise de trilha entre a composição química e os coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta do milho, soja, trigo e subprodutos

| Variável       | Efeito | Milho  | Soja   | Trigo  |
|----------------|--------|--------|--------|--------|
|                |        | CDAPB  | CDAPB  | CDAPB  |
| PB             | Direto | 0,481  | -1,243 | -0,685 |
| PB             | FB     | 0,359  | 0,250  | 0,016  |
| PB             | EE     | -0,011 | 0,360  | 1,230  |
| PB             | MM     | -0,005 | 1,231  | -0,598 |
| Total          |        | 0,823  | 0,599  | -0,038 |
| FB             | Direto | -0,678 | -0,685 | -0,129 |
| FB             | PB     | -0,254 | 0,453  | 0,084  |
| FB             | EE     | 0,019  | 0,086  | -0,121 |
| FB             | MM     | -0,002 | -0,103 | -0,810 |
| Total          |        | -0,916 | -0,249 | -0,976 |
| EE             | Direto | 0,029  | -0,482 | 1,239  |
| EE             | PB     | -0,188 | 0,928  | -0,680 |
| EE             | FB     | -0,443 | 0,122  | 0,013  |
| EE             | MM     | 0,014  | -1,261 | -0,622 |
| Total          |        | -0,589 | -0,693 | -0,050 |
| MM             | Direto | -0,031 | 1,446  | -1,080 |
| MM             | PB     | 0,085  | -1,058 | -0,380 |
| MM             | FB     | -0,047 | 0,049  | -0,097 |
| MM             | EE     | -0,013 | 0,421  | 0,713  |
| Total          |        | -0,006 | 0,857  | -0,843 |
| R <sup>2</sup> |        | 1,000  | 1,000  | 1,000  |

PB = Proteína bruta; FB = Fibra bruta; EE = Extrato etéreo; MM = Matéria mineral; CDAPB = Coeficiente de digestibilidade aparente da proteína bruta

As correlações entre os CDA da proteína bruta e dos aminoácidos foram altos, para os grupos do milho e trigo. Por outro lado, os produtos e subprodutos da soja apresentaram coeficientes de correlação baixos, como para a fenilalanina e lisina (Tabela IV - 6).

Tabela IV - 6 - Correlação e coeficientes de determinação da regressão múltipla entre os coeficientes de digestibilidade da proteína bruta e aminoácidos do milho, soja trigo e subprodutos

| Aminoácido                 | Milho | Soja   | Trigo |
|----------------------------|-------|--------|-------|
| Aminoácidos essenciais     |       |        |       |
| Arginina                   | 0,668 | -0,914 | 0,853 |
| Fenilalanina               | 0,923 | -0,026 | 0,992 |
| Histidina                  | 0,767 | 0,876  | 0,807 |
| Isoleucina                 | 0,913 | -0,564 | 0,984 |
| Leucina                    | 0,907 | -0,706 | 0,991 |
| Lisina                     | 0,738 | -0,466 | 0,899 |
| Metionina                  | 0,911 | -0,370 | 0,974 |
| Treonina                   | 0,754 | 0,240  | 0,951 |
| Triptofano                 | 0,580 | 0,729  | 0,972 |
| Valina                     | 0,886 | -0,513 | 0,989 |
| Aminoácidos não-essenciais |       |        |       |
| Ácido aspártico            | 0,851 | 0,637  | 0,970 |
| Ácido glutâmico            | 0,888 | -0,319 | 0,959 |
| Alanina                    | 0,682 | 0,517  | 0,963 |
| Cistina                    | 0,532 | -0,377 | 0,992 |
| Glicina                    | 0,645 | 0,297  | 0,952 |
| Serina                     | 0,899 | 0,064  | 0,992 |
| Tirosina                   | 0,901 | 0,519  | 0,941 |
| R <sup>2</sup>             | 1,00  | 1,00   | 1,00  |

R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinação da regressão múltipla

O cálculo da correlação é realizado para determinar se a oscilação de uma variável é proporcional à outra, de maneira proporcional ou inversamente proporcional (Sampaio, 2007). Deste modo, pelo fato da soja e seus subprodutos apresentarem CDA muito próximos, as variações que ocorreram nesse grupo não foram suficientes para correlacionar a digestibilidade da proteína com a dos aminoácidos. Já o trigo e seus subprodutos apresentam correlações mais elevadas, uma vez que foi o subgrupo com maior variação nos CDA.

Ainda que ocorra elevada correlação entre os valores médios de CDA da proteína e aminoácidos (Hossain & Jauncey, 1989), é importante determinar a digestibilidade individual dos aminoácidos, pois o CDA da proteína nem sempre reflete

a digestibilidade de alguns aminoácidos essenciais (Wilson et al., 1981; Masumoto et al., 1996). No presente trabalho, isso ocorreu com a lisina, no subgrupo do milho e subprodutos.

A exigência nutricional de proteína dos animais é a soma da exigência em aminoácidos essenciais e não-essenciais. O primeiro grupo, por não ser produzido em quantidade suficiente pelo organismo para garantir as funções metabólicas, deve ser suprido totalmente pela dieta (Wilson, 2002), evitando deficiências e excessos. O adequado fornecimento de aminoácidos essenciais depende do conhecimento dos valores necessários a uma determinada função zootécnica e do valor nutritivo dos ingredientes disponíveis (Hardy & Barrows, 2002). O atendimento das exigências em aminoácidos pelos ingredientes avaliados pode ser visualizado na Tabela IV - 7.

Observa-se que o perfil de aminoácidos varia muito entre os grupos avaliados, a metionina e a histidina são limitantes em todos os ingredientes avaliados. Por outro lado, a arginina é o aminoácido que mais apresenta excessos, com destaque para todos os ingredientes do grupo da soja. Os valores da arginina possuem importância especial pela relação de antagonismo de absorção com a lisina, pela estrutura molecular semelhante dos dois aminoácidos (D'mello, 2003; Furuya et al., 2012).

Além da metionina e histidina, deficientes para todos os ingredientes, algumas particularidades são observadas entre os grupos. Todos os derivados do milho apresentam deficiência em lisina, além disso, o farelo de glúten e o glúten são deficientes em triptofano. O grupo da soja apresenta leve deficiência em valina e os maiores excessos em arginina. O grupo do trigo, com exceção para o gérmen de trigo, apresentou deficiência em lisina, podendo-se destacar a deficiência em treonina e valina. O trigoilhoso apresentou um particular excesso em triptofano, 269% da exigência da espécie.

A distância Euclidiana indica o grupo do trigo, como o mais próximo do perfil de aminoácidos necessário ao bom desenvolvimento da espécie (Figura IV - 1). Porém, todos os ingredientes são deficientes, em pelo menos, sete dos dez aminoácidos essenciais.

Tabela IV - 7 - Atendimento da exigência nutricional e distância Euclidiana entre o perfil digestível de aminoácidos e a exigência nutricional da tilápia do Nilo

| Aminoácido (%) | M     | GIM   | GDM   | FGM   | GM    | SI    | SSI   | FS46  | FS48  | FS62  | TL    | T     | FT    | FGT   | GT    |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Arginina       | 140   | 216   | 193   | 102   | 109   | 196   | 220   | 185   | 223   | 226   | 109   | 101   | 160   | 151   | 182   |
| Fenilalanina   | 141   | 121   | 116   | 100   | 182   | 144   | 142   | 141   | 144   | 142   | 118   | 117   | 101   | 99    | 93    |
| Histidina      | 75    | 79    | 61    | 66    | 50    | 81    | 58    | 77    | 59    | 58    | 59    | 62    | 74    | 76    | 71    |
| Isoleucina     | 105   | 101   | 96    | 86    | 121   | 139   | 134   | 137   | 133   | 135   | 96    | 96    | 84    | 83    | 88    |
| Leucina        | 210   | 133   | 129   | 152   | 278   | 124   | 123   | 121   | 122   | 122   | 98    | 99    | 91    | 89    | 91    |
| Lisina         | 54    | 84    | 73    | 56    | 36    | 122   | 115   | 117   | 116   | 116   | 47    | 43    | 66    | 66    | 104   |
| Metionina      | 92    | 78    | 75    | 69    | 96    | 57    | 55    | 60    | 56    | 54    | 67    | 64    | 64    | 57    | 69    |
| Treonina       | 94    | 107   | 95    | 96    | 94    | 110   | 107   | 108   | 110   | 108   | 77    | 71    | 79    | 78    | 96    |
| Triptofano     | 74    | 118   | 123   | 53    | 62    | 134   | 132   | 138   | 132   | 128   | 269   | 112   | 127   | 127   | 103   |
| Valina         | 100   | 112   | 107   | 94    | 93    | 95    | 94    | 92    | 93    | 92    | 78    | 76    | 78    | 81    | 87    |
| <i>DE</i>      | 0,346 | 0,162 | 0,125 | 0,107 | 0,869 | 0,140 | 0,188 | 0,113 | 0,196 | 0,203 | 0,092 | 0,083 | 0,075 | 0,066 | 0,076 |

M = Milho; GMI = Gérmen integral de milho; GDM = Gérmen integral de milho; FGM=Farelo de glúten de milho; GM = Glúten de milho; SI = Soja integral; SSI = Soja semi-integral; FS46 = Farelo de soja 46; FS48 = Farelo de soja 48; FS62 = Farelo de soja 62; TL = Triguilho; T = Trigo; FT = Farelo de Trigo; FGT = Fibra grossa de trigo; GT = Gérmen de trigo; DE = Distância Euclidiana

Do outro lado, está o grupo do milho, com destaque para o glúten de milho, que é o ingrediente mais distante do perfil de exigência da espécie. O gérmen integral de milho, o gérmen desengordurado de milho e o farelo de glúten de milho, os mais fibrosos do grupo, são os ingredientes, com os perfis de aminoácidos digestíveis mais próximos da exigência nutricional. Já o glúten de milho é o ingrediente mais distante, entre todos os estudados, podendo-se afirmar que a proteína do glúten afasta a proteína do milho integral da exigência nutricional da tilápia. O glúten de milho é obtido após a retirada da maior parte do amido, gérmen e porções fibrosas, pelo processamento úmido (Butolo, 2010).

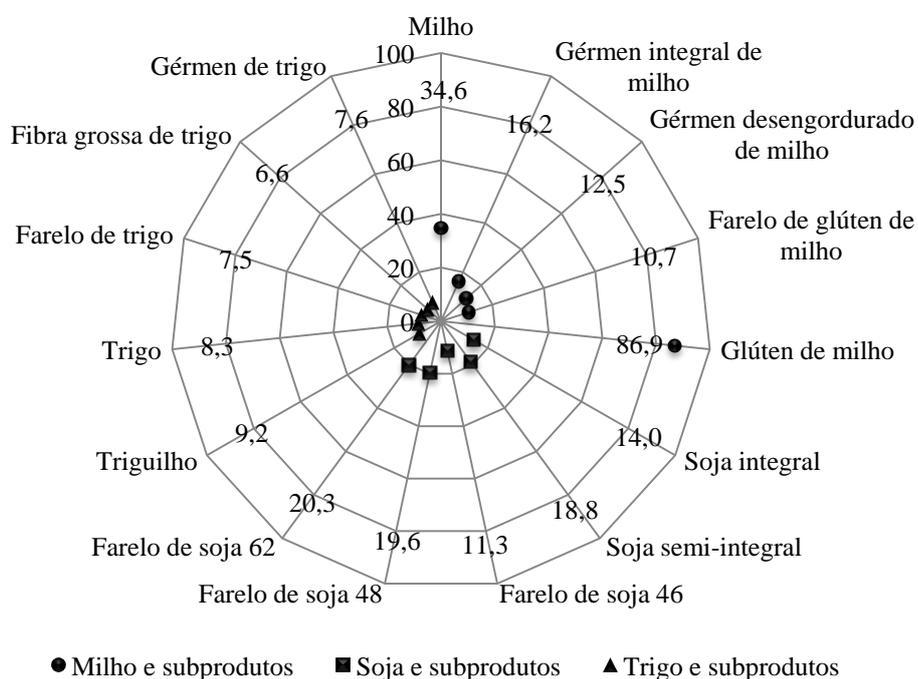


Figura IV - 1 - Raiz da Distância Euclidiana entre a exigência nutricional da tilápia do Nilo e o perfil digestível de aminoácidos dos ingredientes de origem vegetal

O grupo da soja, apesar de não ser o mais próximo, é o que menos apresenta deficiência em aminoácidos, com bom fornecimento de lisina e treonina, deficientes nos outros dois grupos. O pequeno excesso de alguns aminoácidos presentes na soja é desejável, pois permite que pela combinação com ingredientes energéticos, normalmente deficientes em aminoácidos essenciais, forme um perfil aminoacídico desejável para a tilápia, com reduzida suplementação de aminoácidos industriais (Righetti et al., 2011).

## **Conclusões**

Foi observada alta capacidade da tilápia do Nilo em aproveitar a proteína do milho, soja, trigo e subprodutos. A composição química influenciou cada grupo alimentar de maneira diferente, sendo a fibra bruta a variável de maior efeito para o milho e trigo. O conteúdo de proteína bruta não é decisivo para o seu coeficiente de digestibilidade aparente. Os alimentos provenientes do trigo possuem os perfis de aminoácidos mais próximos da exigência nutricional da espécie, apesar das deficiências.

## Referências

- ARGENZIO, R. A. Motilidade Gastrointestinal. In: SWENSON, M. J. e REECE, W. O. (Ed.). **Dukes: Fisiologia dos animais domésticos**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996. cap. 17, p.307-318.
- BAKKE, A. M.; GLOVER, C.; KROGDAHL, A. Feeding, digestion, and absorption of nutrients. In: GROSELL, M.; FARRELL, A. P. e BRAUNER, C. J. (Ed.). **The Multifunctional gut of fish**. London: Elsevier, 2011. cap. 2, p.57-110. (Fish Physiology).
- BICUDO, Á. J. D. A.; PINTO, L. F. B.; CYRINO, J. E. P. Clustering of ingredients with amino acid composition similar to the nutritional requirement of Nile tilapia. **Scientia Agricola**, v.67, p.517-523, 2010.
- BREMER NETO, H.; GRANER, C. A. F.; PEZZATO, L. E. et al. Determinação de rotina do crômio em fezes, como marcador biológico, pelo método espectrofotométrico ajustado da 1,5-difenilcarbazida. **Ciência Rural**, v.35, p.691-697, 2005.
- BUREAU, D. P.; HUA, K. Letter to the Editor of Aquaculture. **Aquaculture**, v.252, n.2-4, p.103-105, 2006.
- BUTOLO, J. E. **Qualidade de Ingredientes na Alimentação Animal**. 2.ed. Campinas: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, 2010. 430p.
- CHENG, Z. J.; HARDY, R. W. Effects of extrusion and expelling processing, and microbial phytase supplementation on apparent digestibility coefficients of nutrients in full-fat soybeans for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v.218, n.1-4, p.501-514, 2003.
- D'MELLO, J. P. F. An Outline of Pathways in Amino Acid Metabolism. In: D'MELLO, J. P. F. (Ed.). **Amino Acids in Animal Nutrition**. 2. Wallingford: CAB International, 2003. cap. 4, p.71-86.
- DONG, X.-H.; GUO, Y.-X.; YE, J.-D. et al. Apparent digestibility of selected feed ingredients in diets for juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus*×*Oreochromis aureus*. **Aquaculture Research**, v.41, n.9, p.1356-1364, 2010.
- EL-SAYED, A. F. M. **Tilapia Culture**. 1.ed. Wallingford: CABI Publishing, 2006. 277p.
- FRANCIS, G.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. **Aquaculture**, v.199, n.3-4, p.197-227, 2001.
- FRIEDMAN, M. Nutritional Value of Proteins from Different Food Sources. A Review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.44, n.1, p.6-29, 1996.

- FURUYA, W. M.; GRACIANO, T. S.; VIDAL, L. V. O. et al. Digestible lysine requirement of Nile tilapia fingerlings fed arginine-tolysine-balanced diets. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.41, p.485-490, 2012.
- FURUYA, W. M.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M. et al. **Tabelas Brasileiras para a nutrição de tilápias**. 1.ed. Toledo: GFM Gráfica & Editora, 2010. 100p.
- FURUYA, W. M.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M. et al. Use of ideal protein concept for precision formulation of amino acid levels in fish-meal-free diets for juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). **Aquaculture Research**, v.35, n.12, p.1110-1116, 2004.
- FURUYA, W. M.; PEZZATO, L. E.; PEZZATO, A. C. et al. Coeficientes de digestibilidade e valores de aminoácidos digestíveis de alguns ingredientes para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, p.1143-1149, 2001.
- FURUYA, W. M.; SOUZA, S. R. D.; FURUYA, V. R. B. et al. Dietas peletizada e extrusada para machos revertidos de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.), na fase de terminação. **Ciência Rural**, v.28, p.483-487, 1998.
- GONÇALVES, G. S.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M. et al. Energia e nutrientes digestíveis de alimentos para a tilápia do nilo. **Boletim do Instituto de Pesca**, v.35, n.2, p.201-213, 2009.
- 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, n.5, p.396-404, 2008a.
- GUIMARÃES, I. G.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M. et al. Nutrient Digestibility of Cereal Grain Products and By-products in Extruded Diets for Nile Tilapia. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.39, n.6, p.781-789, 2008b.
- HARDY, R. W.; BARROWS, F. T. Diet Formulation and manufacture. In: HALVER, J. E. e HARDY, R. W. (Ed.). **Fish Nutrition**. San Diego: Academic Press, 2002. cap. 9, p.506-601.
- HOSSAIN, M. A.; JAUNCEY, K. Studies on the protein, energy and amino acid digestibility of fish meal, mustard oilcake, linseed and sesame meal for common carp (*Cyprinus carpio* L.). **Aquaculture**, v.83, n.1-2, p.59-72, 1989.
- JOBLING, M.; GOMES, E.; DIAS, J. Feed types, manufacture and ingredients. In: HOULIHAN, D.;BOUJARD, T. e JOBLING, M. (Ed.). **Food Intake in Fish**. 1. Ames: Blackwell Science, 2001. cap. 2, p.25-48.
- KÖPRÜCÜ, K.; ÖZDEMİR, Y. Apparent digestibility of selected feed ingredients for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v.250, n.1-2, p.308-316, 2005.

- LANNA, E. A. T.; PEZZATO, L. E.; FURUYA, W. M. et al. Fibra bruta e óleo em dietas práticas para alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, p.2177-2185, 2004.
- MASUMOTO, T.; RUCHIMAT, T.; ITO, Y. et al. Amino acid availability values for several protein sources for yellowtail (*Seriola quinqueradiata*). **Aquaculture**, v.146, n.1-2, p.109-119, 1996.
- MEURER, F.; HAYASHI, C.; BOSCOLO, W. R. Fibra bruta para alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*, L). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, p.256-261, 2003.
- NELSON, D. L.; COX, M. M. **Lehninger Principles of Biochemistry**. 4.ed. New York: W. H. Freeman, 2004.
- NRC. **Nutrient Requirements of fish and shrimp**. Washington: The National Academy Press, 2011. 376p.
- RIGHETTI, J. S.; FURUYA, W. M.; CONEJERO, C. I. et al. Redução da proteína em dietas para tilápias-do-Nilo por meio da suplementação de aminoácidos com base no conceito de proteína ideal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, p.469-476, 2011.
- SAMPAIO, I. B. M. **Estatística aplicada a experimentação animal**. 3.ed. Belo Horizonte: Fundação de Ensino e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia - FEPMVZ, 2007. 264p.
- SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de Alimentos: Métodos Químicos e Biológicos**. 3.ed. Viçosa: Editora UFV, 2002. 235p.
- STOREBAKKEN, T.; SHEARER, K. D.; BAEVERFJORD, G. et al. Digestibility of macronutrients, energy and amino acids, absorption of elements and absence of intestinal enteritis in Atlantic salmon, *Salmo salar*, fed diets with wheat gluten. **Aquaculture**, v.184, n.1-2, p.115-132, 2000.
- TENGJAROENKUL, B.; SMITH, B. J.; CACECI, T. et al. Distribution of intestinal enzyme activities along the intestinal tract of cultured Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. **Aquaculture**, v.182, n.3-4, p.317-327, 2000.
- WILSON, R. P. Amino acids and proteins. In: HALVER, J. E. e HARDY, R. W. (Ed.). **Fish Nutrition**. 3. San Diego: Elsevier, 2002. cap. 3, p.144-181.
- WILSON, R. P.; ROBINSON, E. H.; POE, W. E. Apparent and True Availability of Amino Acids from Common Feed Ingredients for Channel Catfish. **The Journal of Nutrition**, v.111, n.5, p.923-929, May 1, 1981.
- WU, Y. V.; ROSATI, R. R.; SESSA, D. J. et al. Evaluation of Corn Gluten Meal as a Protein Source in Tilapia Diets. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.43, n.6, p.1585-1588, 1995.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A intensificação da criação de tilápias aumenta a dependência de dietas artificiais de alto valor biológico. Pois além de fornecerem todo o aporte necessário de nutrientes reduz volume de fezes e metabólitos, resultando em maior retorno econômico, com impacto ambiental reduzido.

Para a elaboração de dietas eficientes, os valores de digestibilidade dos ingredientes devem ser conhecidos. Porém, a determinação destes valores é de alto custo, além de demandar muito tempo, tornando inviável a avaliação de rotina de todos os ingredientes utilizados pela indústria. Desta forma, a modelagem matemática é uma ferramenta auxiliar, que permite a estimativa do valor nutritivo de um ingrediente por meio da composição química.

Em ingredientes de origem vegetal, a modelagem matemática permitiu estimar a influência da composição química sobre a proteína digestível. Dos modelos ajustados, o mais eficiente foi o proposto para sementes e coprodutos, que foi validado pelas hipóteses de nulidade individuais para os parâmetros estimados na regressão entre os valores estimados e observados.

Na avaliação de vários modelos, como potenciais estimadores da proteína digestível de ingredientes de origem vegetal utilizados em dietas extrusadas, observou-se que a separação das bases de dados em subgrupos alimentares mais restritos permite o ajuste de modelos mais eficientes.

A composição química influencia o aproveitamento da proteína de maneira diferente para o milho, soja e trigo, sugerindo que modelos mais acurados e precisos podem ser formulados a partir de bancos de dados, cujos ingredientes sejam mais estreitamente relacionados.

O tipo de proteína das sementes não influenciou os coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta, que se mostrou elevado em todos os grupos avaliados, milho, soja e trigo. Estes três grupos possuem vantagens para a formulação de dietas, sendo o do milho o menos oneroso, o da soja com bom fornecimento de aminoácidos que são deficientes em outros grupos e o do trigo o mais equilibrado no fornecimento de aminoácidos.