

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO PARA VALORES DE
PROTEÍNA E ENERGIA DIGESTÍVEIS EM ALIMENTOS DE
ORIGEM ANIMAL PARA TILÁPIAS

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

MARINGÁ
Estado do Paraná
março – 2010

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO PARA VALORES DE
PROTEÍNA E ENERGIA DIGESTÍVEIS EM ALIMENTOS DE
ORIGEM ANIMAL PARA TILÁPIAS

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

“Dissertação apresentada, como parte das exigências para a obtenção do título de MESTRE EM ZOOTECNIA, no programa de Pós Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá – Área de Concentração – Produção Animal”

MARINGÁ
Estado do Paraná
março – 2010



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

**EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO PARA VALORES DE
PROTEÍNA E ENERGIA DIGESTÍVEIS EM ALIMENTOS
DE ORIGEM ANIMAL PARA TILAPIAS**

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

TITULAÇÃO: Mestre em Zootecnia - Área de Concentração Produção
Animal

APROVADA em 26 de março de 2010.

Prof. Dr. Elias Nunes Martins

Prof. Dr. Luiz Edivaldo Pezzato

Prof. Dr. Wilson Massamitu Furuya
(Orientador)

Aos meus pais, pelo apoio incondicional.

À minha família, por estar próxima, independentemente de onde estivesse...

À minha namorada Andressa e família, por me fazerem sentir em casa .

À Solange, Kika, Vó Nadir e família, pela companhia desde que cheguei a Maringá .

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.

À Doutoranda Vivian Gomes dos Santos, Prof. Dr. Luiz Edivaldo Pezzato e Prof^a. Dr^a. Margarida Maria Barros, da UNESP/Botucatu, pela análise do óxido de cromo.

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

Aos amigos, Ruela, Beto, Thizinho, Somito, Rodriguinho, Darci, pela companhia nas horas vagas. Vale também para os agregados.

Aos membros do grupo de pesquisa, Marcos, Léo, Mariana, Tadeu, Thêmis, Aline e Lorena, pelo auxílio na condução do trabalho e amizade.

Aos funcionários da CODAPAR, Vítor, Clayton e Geraldo, pelo auxílio na montagem da estrutura e companhia no período de coleta de material.

À funcionária do LANA, Creuza, pelo auxílio da realização das análises.

A todos que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

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.

ÍNDICE

LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
CAPITULO I.....	1
CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
INTRODUÇÃO	2
1.1. Tilapicultura.....	2
1.2. Valor Nutritivo da Farinha de carne	3
1.3. Equações de regressão	6
Literatura Citada.....	9
CAPITULO II.....	11
EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO PARA VALORES DE PROTEÍNA E ENERGIA DIGESTIVEIS EM ALIMENTOS DE ORIGEM ANIMAL PARA TILÁPIAS	11
RESUMO.....	12
ABSTRACT.....	13
Introdução.....	14
Material e métodos	15
Resultados e discussão	21
Conclusões.....	26
Literatura citada.....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição da base de dados selecionada.....	17
Tabela 2 - Composição percentual da dieta referência	18
Tabela 3 - Composição química das farinhas de carne e ossos com diferentes níveis de proteína nas rações teste	19
Tabela 4 - Modelos lineares para estimar valores de proteína e energia digestíveis de ingredientes de origem animal para tilápia	22
Tabela 5 - Coeficientes de trilha entre as variáveis de composição química e conteúdos de proteína e energia digestíveis	22
Tabela 6 - Coeficientes de digestibilidade aparentes de farinhas de carne e ossos com diferentes níveis de proteína bruta para a tilápia do Nilo.	25

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Análise de trilha entre composição química e o conteúdo de proteína digestível de ingredientes de origem animal para tilápia.....	23
Figura 2 - Análise de trilha entre composição química e o conteúdo de energia digestível de ingredientes de origem animal para tilápia.....	23

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi elaborar modelos matemáticos para estimar valores de proteína e energia digestíveis para tilápias. Foram reunidos artigos científicos que continham dados de composição química, proteína bruta, extrato etéreo e matéria mineral, além dos valores de proteína e energia digestíveis obtidos em ensaios biológicos. Estes valores foram submetidos à regressão linear múltipla, *stepwise backward*. Adicionalmente, foi conduzido um ensaio de digestibilidade *in vivo*, com juvenis de tilápia do Nilo, linhagem GIFT, para testar cinco farinhas de carne e ossos, validar os modelos obtidos e elaborar modelos próprios. Foi utilizado o sistema Guelph de coleta de fezes e o óxido de cromo III, como indicador de indigestibilidade. Não foi possível obter uma equação adequada para estimar a exigência de energia digestível (ED) dos alimentos. Foi obtida a seguinte equação para estimar os valores de proteína digestível (PD) de ingredientes de origem animal para tilápias: $PD(\%) = 0,970 \times PB - 0,290 \times MM; R^2 = 0,998$. As equações para estimar os valores de proteína digestível e energia digestível da farinha de carne são: $PD(\%) = 3,460 \times EE - 0,347 \times MM; R^2 = 0,998$ e $ED(kcal/kg) = 6700,119 - 101,368 \times MM; R^2 = 0,965$, respectivamente.

Palavras-chave: alimentos; composição química; estimativa; modelos lineares

ABSTRACT

The objective of this study was to formulate mathematical models to estimate values of digestible protein and energy of feeds for tilapias. Papers containing data on chemical composition of crude protein, ether extract and mineral matter, in addition to values of digestible protein and energy obtained in biological assays were used. The data were subjected to multiple linear regression, stepwise backward. Additionally, a digestibility trial with juvenile Nile tilapias of the GIFT strain was conducted to test five meat and bone meals to validate the obtained models and elaborate individual models for the ingredients. Values of digestible protein and energy of meat and bone meals were obtained using Guelph system to feces collection and chromium (III) oxide was used as indicator. It was not possible to obtain a reliable model to estimate digestible energy (DE) values of the ingredients. It was concluded that the model to estimate digestible protein values (DP) of animal origin is: $DP(\%) = 0.970 \times CP - 0.290 \times MM; R^2 = 0.998$. The models to estimate the digestible protein and energy values of the meat and bone meal were: $DP(\%) = 3.460 \times EE - 0.347 \times MM; R^2 = 0.998$ and $DE (kcal/kg) = 6700.119 - 101.368 \times MM; R^2 = 0.965$, respectively.

Keywords: feed; chemical composition; estimate; linear models

CAPITULO I

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

INTRODUÇÃO

1.1. Tilapicultura

A aqüicultura é a criação de organismos aquáticos, incluindo peixes, moluscos, crustáceos e plantas aquáticas, em água salgada, salobra e salgada. Até meados do século XX, a contribuição da aqüicultura 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 (FAO, 1009). Desta forma, a contribuição da aqüicultura com o total de pescado produzido passou dos 30% no ano 2000, alcançando 35,2% em 2002 (Tacon, 2003).

De 2000 a 2007, a produção mundial de tilápias pela aqüicultura cresceu 110,55% contra 192,96% da produção brasileira, que representa 3,8% da produção mundial de 2,5 milhões de toneladas. O grupo tilápias já é o segundo mais produzido no mundo, atrás apenas das carpas. Acredita-se que este grupo será o principal em algumas décadas devido à gradual substituição das carpas por tilápias, especialmente nos países asiáticos, que concentram mais de 80% da piscicultura mundial (FAO, 2009).

No Brasil, as tilápias já representam 32,83% da produção total da aqüicultura, com produção de 95 mil toneladas (FAO, 2009). 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 (Zimmerman & Fitzsimmons, 2004), sendo hoje, amplamente 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 4000 anos, encontrados no Egito. Há 40 anos, seu cultivo estava restrito a países como África e Jordânia, segundo 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 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. Busca-se, portanto, escala de produção necessária para redução de custos e competir com outros países exportadores. Assim, em muitas situações, são necessárias informações para agilizar o processo de elaboração de rações, dada a variação diária dos preços das matérias-primas.

1.2. Valor Nutritivo da Farinha de carne

A proteína e a energia da dieta são os principais constituintes das rações que influenciam o crescimento dos peixes e o custo das rações. A formulação de dietas com base em proteína e energia digestíveis é mais acurada do que aquela com base em valores totais, pois, freqüentemente, leva à redução do custo de produção e melhorias no desempenho e qualidade da carne.

Em virtude do aumento da oferta de subprodutos de origem animal, a farinha de carne e ossos tem sido considerada como fonte alternativa de proteína em rações para organismos aquáticos. Embora a inclusão deste subproduto tenha sido realizada durante décadas na alimentação, sua inclusão ainda apresenta restrição por diversas razões, tais como a baixa digestibilidade e variabilidade na composição e qualidade, ainda que nos últimos anos tenham sido adotadas melhores práticas de processamento, tentando-se

ajustar a tecnologia de produção às exigências internacionais, cumprir com a normatividade ambiental para o funcionamento de abatedouros e ofertar produtos padronizados e com preços competitivos.

A composição da farinha de carne é bastante variável em termos de extrato etéreo, proteína e aminoácidos e minerais (Rostagno et al., 2005), o que influencia a digestibilidade da proteína e energia bruta entre as farinhas obtidas (Guimarães et al., 2008).

A exposição de um alimento protéico a temperaturas moderadas pode ser benéfica para o valor nutricional da proteína, uma vez que cadeias de aminoácidos mais expostos são, com frequência, rapidamente digeridas, comparadas com as proteínas originais (Camire, 1991). No entanto, muitos fatores influenciam química e fisicamente as interações entre os nutrientes nos alimentos, como as variações na temperatura e duração de processamento, os teores e as características dos nutrientes, a atividade de água, o tempo e a temperatura de estocagem, assim como o pH (Swaisgood & Catignani, 1991).

A desnaturação pelo calor geralmente ocorre a temperaturas de 25 a 100°C (Lehninger, 1995), com perda das estruturas quaternária, terciária e secundária da proteína, enquanto a estrutura primária permanece intacta (Papadopoulos, 1989). Por outro lado, o aquecimento excessivo e prolongado pode acarretar prejuízos à sua qualidade, danificando principalmente a arginina, cisteína, lisina, serina e treonina (Wang & Parson, 1998), afetando a digestibilidade do produto final (Opstvedt et al., 1984). Ainda, os aminoácidos com radical reativo na sua cadeia, tais como a lisina, arginina, triptofano e histidina, podem formar ligações entre radicais aminolivres da cadeia polipeptídica e grupos aldeídicos de açúcares redutores, com a formação de um amino-açúcar, que prejudica a hidrólise de peptídeos pela tripsina (Maynard et al., 1984). Assim, as diferenças no processo industrial de obtenção da farinha e os diferentes produtos que dão origem à mesma influenciam a qualidade do produto e explicam as contradições no desempenho animal.

A nutrição tem por base o conhecimento das exigências nutricionais, sendo necessário conhecer a composição química e o valor nutritivo dos alimentos que podem compor uma dieta, além de utilizar o manejo alimentar adequado para cada sistema de criação, adaptado de acordo com a espécie e a fase de criação (Furuya, 2001).

Os peixes, por serem animais aquáticos, apresentam dependência direta e indireta do meio em que vivem, estando sujeitos a condições ambientais de difícil manipulação, se comparados com os demais animais terrestres (Pezzato et al., 2004). A dieta influencia o comportamento, a integridade estrutural, a saúde, as funções fisiológicas, reprodução e o crescimento dos peixes. Portanto, a determinação da digestibilidade da energia e nutrientes dos alimentos é de fundamental importância para adequada formulação de rações para peixes (Pezzato et al., 2004).

O alimento natural pode conter nutrientes similares aos de uma dieta formulada, os quais serão incluídos em proporções diferentes (Pezzato et al., 2004), mas geralmente não atendem quantitativamente as exigências dos peixes em criação intensiva. Assim, é necessário conhecer as exigências das várias espécies, bem como o valor nutritivo dos mesmos (Pond et al., 2005).

Atribui-se ao alto custo das rações para peixes, principalmente o preço dos ingredientes de origem animal. Isso leva à necessidade de constante busca por ingredientes alimentícios alternativos que permitam diminuir, em parte, essa dependência e permita a obtenção de peixes em níveis economicamente razoáveis. Para cada ingrediente usado na formulação de rações para peixes, além do valor nutricional determinado por análise proximal, é fundamental considerar as alterações naturais ocasionadas por fatores antinutricionais, que podem mudar drasticamente as condições de qualidade e torná-los potencialmente tóxico para os peixes (Pezzato et al., 2002).

A análise química e os testes alimentares são os primeiros itens para determinar o valor nutritivo de um alimento (Maynard & Loosly, 1966). 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).

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).

Segundo Cho (1987), a determinação da digestibilidade dos nutrientes de um alimento é o primeiro cuidado quando se pretende avaliar seu potencial de inclusão em rações para peixes. O conhecimento da digestibilidade de diversos alimentos viabiliza a utilização de diversos ingredientes em rações para peixes (Pezzato et al., 2004). 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 otimizar o desempenho dos animais e minimizar o custo de produção (Sakomura e Rostagno, 2007).

1.3. Equações de regressão

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. É uma importante ferramenta para a formulação de ração, já que os demais métodos necessitam da realização de ensaios biológicos e dependem de metodologias de difícil execução pela indústria, além de maior tempo para obter resultados (Sakamura & Rostagno, 2007). Estão entre os primeiros nutricionistas a utilizar equações de regressão para estimar exigências em nutrientes: Wood & Capstick, 1926; Titus, 1928; Broodt & Proctor, 1935 e Blaxter & Wood, 1951 (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: β_0 é o intercepto de Y quando 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 chamadas regressões simples, 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 a outra indica possibilidade de estimar uma variável desconhecida por outra conhecida (Lindsay, 1997).

O coeficiente de determinação (R^2) estima a proporção da variável dependente que está associada com as variáveis independentes e, 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 análise de regressão *stepwise* pode determinar que 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 em que começam a diminuir significativamente o R^2 (*stepwise backward*) (Harris et al., 1972).

Quando uma regressão parece desviar significativamente da linearidade, uma regressão polinomial pode se adequar melhor aos dados, como por exemplo: a equação quadrática, $\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i}^2$; a regressão cúbica, $\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{1i}^2 + \beta_3 X_{1i}^3$. Em alguns casos uma regressão polinomial múltipla descreve melhor os dados.

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

A análise dos dados de 617 médias de 69 estudos, que avaliaram proteína digestível de 73 ingredientes para 35 espécies de peixes, revelou a equação linear: $PD = -10,0731 + 0,8942 \times PB$ ($R^2 = 0,9462$) entre proteína bruta (g/kg de matéria seca) e proteína digestível (g/kg de matéria seca). Em alimentos compostos (n = 831, 170 estudos, 49 espécies) foi descrita 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, 2008a).

O conteúdo de lipídios digestíveis (LD) (de 7,6 a 353,4 g/kg 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 g/kg 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,

repectivamente. A equação correspondente para 37 ingredientes avaliou dados de 24 estudos em 18 espécies de peixes ($n = 180$) foi: $LD = -1,5824 + 0,8654 \times EE$ ($R^2 = 0,9717$) (Sales, 2009).

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 (2008a,b), Sales (2009) e Bureau & Hua (2009).

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

- BHUJEL, R.C. **Statistics for aquaculture**. Ames: Wiley-Blackwell, 2008, 240p.
- BUREAU, D.P.; HUA, K. Nutritional models as tools to address current challenges in aquaculture. In: 3º SIMPOSIO DE NUTRIÇÃO E SAÚDE DE PEIXES, 2009, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Aquanutri, [2009]. (CD-ROM).
- CAMIRE, M.E., Protein functionality modification by extrusion cooking. **JAOCS**, v.68, n.5, p.200-205, 1991.
- CHO, C.Y. La energía en la nutrición de los peces. In: **Nutrición en Acuicultura II**. Ed. J. Espinosa de los Monteros y U. Labarta, Madrid – España, 1987, p.197-237.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Fish Stats Plus**: universal software for fishery statistical time series: version 2.32. Rome, Italy, 2009.
- FITZSIMMONS, K. Tilapia: The most important aquaculture species of the 21st Century. In: SYMPOSIUM ON TILAPIA AQUACULTURE, 5., Rio de Janeiro, 2000. **Anais**. Rio de Janeiro: SRG Gráfica & Editora LTDA, 2000. p.3-8.
- FURUYA, W.M. Nutrição de Peixes. In: MARQUES, H.L.; VARGAS, L.; RIBEIRO, R.P.; ZIMMERMAN, S. **Fundamentos da Moderna Aqüicultura**, 1ª edição, Canoas: Ed. ULBRA, 2001. Cap. 8, p. 59 – 68.
- GLENCROSS, B.D.; BOOTH, M.; ALLAN, G.L. A feed is only as good as its ingredients – a review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v. 13, p. 17–34, 2007.
- GUIMARÃES, I.G.; PEZZATO, L.E.; BARROS, M.M. Amino acid availability and protein digestibility of several protein sources for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture Nutrition**, v. 14, p. 396-404, 2008. HARRIS, L.E.; KEARL, L.C.; FONNESBECK, P.V. use of regression equations in predicting availability of energy and protein. **Journal of Animal Science**, v.35, n.3, 1972.
- HEPHER, B. **Nutrition of pond fishes**. Cambridge: Cambridge University Press, 1988. 386p.
- HUA, K. & BUREAU, D.P. Development of a model to estimate digestible lipid content of salmonid fish feeds. **Aquaculture**, v.286, 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, p.282-287, 2009b.
- HUA, K. & BUREAU, D.P., Modelling digestible phosphorus content of salmonid fish feeds. **Aquaculture**, v.254, 455–465, 2006.
- LEHNINGER, A.L.; NELSON, D.L.; COX, M.M. **Princípios de bioquímica**. 2.ed. São Paulo: Sarvier, 1995. 841p.
- LINDSEY, J.K. **Applying Generalized Linear Models**. Springer-Verlag, New York, NY. 1997.
- LUND, V. X. & FIGUEIRA, M. L. O. A. **Criação de tilápias**. São Paulo, SP: Livraria Nobel, 1989, 63p.
- MAYNARD, L.A.; LOSSLY, J.K. **Nutrição Animal**. Rio de Janeiro: McGraw hill, 1966, 550p.
- MAYNARD, L.D.; LOOSLI, J.K.; HINTZ, H.F. et al. **Nutrição animal**. 3.ed. Rio de Janeiro: FreitasBastos, 1984, 726p.
- MORALES, A. **La tilapia en México. Biología, cultivo e pesquerias**. México: AGT Editores, S. A. 1995. 324p.
- OPSTVEDT, J.; MILLER, R.; HARDY, R. et al. Heat-induced changes in sulfhydryl groups and disulfide bonds in fish protein and their effect on protein and amino acid

- digestibility in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.32, p.929-935, 1984.
- PAPADOPOULOS, M.C. Effect of processing on high-protein feedstuffs: a review. **Biological Wastes**, v.29, p.123-138. 1989.
- 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. et al. (Org.). **Tópicos Especiais em Piscicultura de Água Doce Tropical Intensiva**. 1 ed. São Paulo: TecArt, 2004, v. 1, p. 75 – 170.
- POND, W.G.; CHURCH, D.C.; POND, K.R. et al. **Basic animal nutrition and feeding**. Hoboken: Wiley, 2005, 608p.
- RENCHER, A.C., SCHAALJE, G.B. **Linear models in statistics**, New Jersey, John Wiley & Sons, 2008, 617p.
- ROSTAGNO, H.S. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2005. 141p.
- SAKOMURA, N.K., ROSTAGNO, H.S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. Jaboticabal, SP: Funep, 2007, 283 p.
- SALES, J. Linear models to predict the digestible lipid content of fish diets. **Aquaculture Nutrition**, v.15, p. 537-549. 2009.
- SALES, J. Prediction of digestible energy content across feed ingredients and fish species by linear regression. **Fish Physiology and Biochemistry**, v.35, p. 551-565, 2008a.
- 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, p. 128-142, 2008b.
- SAMPAIO, I.B.M. **Estatística aplicada à experimentação animal**. 3.ed. Belo Horizonte: FEPMVZ, 2007. 264p.
- SAUER, W.C.; OZIMEK, L. Digestibility of amino acids in swine: results and their practical applications. A review. **Livestock Production Science**, v.15, p.367-388, 1986.
- SWAISGOOD, H.E., CATIGNANI, G.L. Protein digestibility: in vitro methods of assessment. **Advances in Food and Nutrition Research**, v.35, p.185-236, 1991.
- TACON, A.G.J. (2003) Aquaculture production trends analysis. In: REVIEW OF THE STATE OF WORLD AQUACULTURE. FAO Fisheries Circular No. 886, Revision 2, FAO, Rome, pp. 5–29.
- TREWAVAS, E. **Tilapiine fishes of the genera *Sarotherodon*, *Oreochromis* and *Danakilia***. London: British Museum (Natural History). 1983. 427p.
- WANG, X; PARSON, C.M. Effect of raw material source, processing system, and processing temperatures on amino acid digestibility of meat and bone meals. **Poultry Science**, v.77, p.834-841, 1998.
- ZIMMERMANN, S; FITZSIMMONS, K. Tilapicultura intensiva. In: CYRINO, J.E.P.; URBINATI, E.C.; FRACALOSSO, D.M. et al. (Org.). **Tópicos Especiais em Piscicultura de Água Doce Tropical Intensiva**. 1 ed. São Paulo: TecArt, 2004, v. 1, p. 239 – 266.

CAPITULO II

EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO PARA VALORES DE PROTEÍNA E ENERGIA DIGESTIVEIS EM ALIMENTOS DE ORIGEM ANIMAL PARA TILÁPIAS

Equações de predição para valores de proteína e energia digestíveis em alimentos de origem animal para tilápias

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi elaborar modelos matemáticos para estimar valores de proteína e energia digestíveis para tilápias. Foram reunidos artigos científicos que continham dados de composição química, proteína bruta, extrato etéreo e matéria mineral, além dos valores de proteína e energia digestíveis obtidos em ensaios biológicos. Estes valores foram submetidos à regressão linear múltipla, *stepwise backward*. Adicionalmente, foi conduzido um ensaio de digestibilidade *in vivo*, com juvenis de tilápia do Nilo, linhagem GIFT, para testar cinco farinhas de carne e ossos, validar os modelos obtidos e elaborar modelos próprios e foi utilizado o sistema Guelph de coleta de fezes e o óxido de cromo III como indicador. Não foi possível obter uma equação adequada para estimar a exigência de energia digestível (ED) dos alimentos. Foi obtida a seguinte equação para estimar os valores de proteína digestível (PD) de ingredientes de origem animal para tilápias: $PD (\%) = 0,970 \times PB - 0,290 \times MM; R^2 = 0,998$. As equações para estimar os valores de proteína digestível e energia digestível da farinha de carne são: $PD (\%) = 3,460 \times EE - 0,347 \times MM; R^2 = 0,998$ e $ED (kcal/kg) = 6700,119 - 101,368 \times MM; R^2 = 0,965$, respectivamente.

Palavras-chave: alimentos; composição química; estimativa; modelos lineares

Prediction equations of digestible protein and energy values of animal feeds for tilapias

ABSTRACT: The objective of this study was to formulate mathematical models to estimate values of digestible protein and energy of feeds for tilapias. Papers containing data on chemical composition of crude protein, ether extract and mineral matter, in addition to values of digestible protein and energy obtained in biological assays were used. The data were subjected to multiple linear regression, stepwise backward. Additionally, a digestibility trial with juvenile Nile tilapias of the GIFT strain was conducted to test five meat and bone meals to validate the obtained models and elaborate individual models for the ingredients. Values of digestible protein and energy of meat and bone meals were obtained using Guelph system to feces collection and chromium (III) oxide was used as indicator. It was not possible to obtain a reliable model to estimate digestible energy (DE) values of the ingredients. It was concluded that the model to estimate digestible protein values (DP) of animal origin is: $DP(\%) = 0.970 \times CP - 0.290 \times MM; R^2 = 0.998$. The models to estimate the digestible protein and energy values of the meat and bone meal were: $DP(\%) = 3.460 \times EE - 0.347 \times MM; R^2 = 0.998$ and $DE (kcal/kg) = 6700.119 - 101.368 \times MM; R^2 = 0.965$, respectively.

Keywords: feed; chemical composition; estimate; linear models

Introdução

O grupo das tilápias é um dos mais promissores para a aquicultura, devido ao seu rápido crescimento em criação intensiva, rusticidade, carne com boas características organolépticas e ausência de espinhos intramusculares. A alimentação é o componente mais caro na produção de tilápias, representando mais de 50% dos custos operacionais (El Sayed, 2006).

A forma como os peixes utilizam a energia e nutrientes varia entre as espécies, sendo muito influenciada pelos hábitos alimentares (Dabrowski & Portella, 2006). Assim, os valores de proteína e energia digestíveis em cada ingrediente são importante para elaborar dietas de bom valor nutricional e sustentáveis (Pond et al., 2005). Dados confiáveis sobre a digestibilidade de nutrientes são fundamentais na avaliação do potencial inclusão de ingredientes na dieta, para formular rações a baixo custo e para minimizar o impacto ambiental da produção animal (Vandenberg & De La Noue, 2001).

A obtenção de valores de digestibilidade é realizada com base na coleta de fezes, metodologia rotineiramente utilizada em estudos com animais, em ensaios de digestibilidade. A dificuldade de realização desses ensaios, especialmente em peixes, é devido ao ambiente aquático e às características biológicas do animal (Glencross et al., 2007). Em condições práticas, é oneroso e difícil submeter todas as partidas de matéria-prima a ensaios *in vivo*. Pela possibilidade de obter, com facilidade e menor custo, as determinações químicas dos teores de proteína bruta, extrato etéreo e cinzas, a utilização de regressões com base nessas análises é de grande aplicação prática (Sakomura & Rostagno, 2007).

O uso de regressões lineares na nutrição é importante ferramenta para 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 particularidades fisiológicas dos peixes, que, por sua vez, podem influenciar no aproveitamento dos alimentos.

A modelagem matemática já foi amplamente utilizada para estimar lipídios digestíveis (Sales, 2009; Hua & Bureau, 2009a), fósforo disponível (Hua & Bureau, 2006), carboidratos (Hua & Bureau, 2009b). Recentemente, Sales (2008a) descreveu equações para estimar o valor de proteína digestível em alimentos para peixes, mas não conseguiu elaborar um modelo adequado para energia digestível (Sales, 2008b). Porém, existem poucas informações sobre equações de predição para determinar os valores

digestíveis de energia e proteína dos alimentos especificamente para tilápias, para agilizar o processo de elaboração de rações, dada a variação diária dos preços das matérias-primas, sendo importante ferramenta em complementação aos ensaios biológicos, que dependem de metodologias mais complexas, de elevado custo e que demandam maior tempo.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver modelos de predição para estimar as proteína e energia digestíveis, em alimentos de origem animal para a tilápia e validá-los com dados obtidos em um ensaio de digestibilidade *in vivo*, utilizando a farinha de carne como alimento padrão.

Material e métodos

Dados de composição química e digestibilidade aparente da proteína de diferentes ingredientes de origem animal foram coletados de artigos científicos publicados entre 2002 e 2008, na sua maioria obtidos para tilápia do Nilo. A pesquisa foi realizada nas bases de dados Scopus e ISI Web of Science.

Foram utilizados artigos que continham valores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), matéria mineral (MM), proteína digestível (PD) e energia digestível (ED). Ao final da seleção, foram obtidos oito artigos, que resultaram na base de dados descrita abaixo (Tabela 1). Para padronização, os dados de composição química e digestibilidade aparente da proteína foram expressos em valores de matéria seca.

Os dados foram submetidos à análise de regressão linear múltipla, testando modelos com e sem intercepto, respectivamente:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \beta_3 X_{i3} + ei$$

$$Y_i = \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \beta_3 X_{i3} + ei$$

Sendo o valor de β_0 calculado pela equação:

$$\beta_0 = (\bar{Y}_1 - \beta_1 \bar{X}_{i1}) + (\bar{Y}_2 - \beta_2 \bar{X}_{i2}) + (\bar{Y}_3 - \beta_3 \bar{X}_{i3})$$

Em que: Y_i = PD ou ED do alimento determinado em ensaio metabólico no i -ésimo estudo; β_0 = constante; X_{i1} , X_{i2} , X_{i3} = variáveis de composição química do alimento, no i -ésimo estudo, respectivamente, PB, EE e MM.

Utilizou-se o método *stepwise backward* para remoção de variáveis independentes não significativas ($p < 0,10$). Para verificar se há diferença entre a

utilização da equação linear com intercepto e sem intercepto, foi testada a hipótese $H_0: a = 0$, que corresponde ao modelo sem intercepto, por meio da aplicação do Teste F ($p < 0,05$), obtido pela diferença entre a Soma dos Quadrados Médios do Resíduo do modelo reduzido e do modelo completo, dividido pelo Quadrado Médio do Resíduo do modelo completo (Seber, 1977). Foi realizada análise de trilha, para medir os efeitos diretos e indiretos de cada variável independente sobre as dependentes.

Tabela 1 - Descrição da base de dados selecionada

Autor	Ano	Indicador	Dieta referência	Método de Coleta	Substituição (%)	Peso dos peixes (g)	Alimentos (N)	PD	ED
Boscolo et al.	2008	Cr ₂ O ₃	Purificada	Guelph	18,67	80,69	1	x	x
Goddard et al.	2008	CAI	Prática	Sifonagem	30,00	54,80	5	x	-
Guimarães et al.	2008	Cr ₂ O ₃	Prática	Guelph	30,00	96,00	3	x	-
Küprücü & Özdemir	2005	Cr ₂ O ₃	Prática	Sedimentação	30,00	27,00	3	x	x
Boscolo et al.	2004	Cr ₂ O ₃	Prática	Guelph	20,00	40,00	3	x	x
Sklan et al.	2004	Cr ₂ O ₃	Prática	Sifonagem	*	125,00	2	x	x
Maina et al.	2002	CAI	Prática	Extrusão	30,00	59,00	2	x	x
Pezzato et al.	2002	Cr ₂ O ₃	Purificada	Guelph	65,00	100,00	3	x	x

N = números de alimentos; * não informada pelo autor; PD = proteína digestível; ED = energia digestível

Para a validação do modelo, 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, município de Maringá, Estado do Paraná.

Para a determinação do coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) da proteína e energia, elaborou-se ração referência prática, com base em proteína de farelo de soja e farinha de vísceras de aves (Tabela 2), elaborada para possuir aproximadamente 32 % de proteína bruta, 3120 kcal de energia digestível, 3,40% de fibra bruta e 0,50% de fósforo disponível.

Tabela 2 - Composição percentual da dieta referência

Alimento	(%)
Milho	32,62
Farelo de soja	43,70
Farinha de vísceras	14,95
Amido de milho	2,99
Fosfato bicalcico	1,99
Óleo de soja	1,49
L-lisina HCl	0,10
DL-metionina	0,10
L-treonina	0,10
L-triptofano	0,05
L-arginina	0,10
Vitamina C ²	0,10
NaCl	0,50
Cloreto de colina	0,10
Suplemento mineral e vitamínico	0,50
Antioxidante ³	0,02
Antifungico ⁴	0,10
Óxido de crômio III	0,50

¹ Suplemento mineral e vitamínico (por kg): vitamina A, 1 200 000 IU; vitamina D3, 200 000 IU; vitamina E, 12 000 mg; vitamina K3, 2 400 mg; vitamina B1, 4 800 mg; vitamina B2, 4 800 mg; vitamina B6, 4 000 mg; vitamina B12, 4 800 mg; ácido fólico = 1200 mg; pantotenato D-cálcio, 12 000 mg; ácido ascórbico, 48 000 mg; biotina, 48 mg; colina, 65 000 mg; ácido nicotínico, 24 000 mg; ferro, 10 000 mg; sulfato de cobre, 600 mg; sulfato de manganês, 4 000 mg; sulfato de zinco, 6 000 mg; iodo de potássio, 20 mg; cobalto, 2 mg; selênio, 20 mg.

² Vitamina C: sal calcítico, princípio ativo-42% ácido ascórbico2-monofosfato.

³ Butil-hidroxi-tolueno

⁴ Propionato de cálcio

Foram utilizadas farinhas de carne e ossos com diferentes níveis de proteína bruta (Tabela 3) com o alimento modelo para validar as equações obtidas. As farinhas de carne e ossos, num total de cinco, substituíram 30% da ração referência.

Tabela 3 - Composição química das farinhas de carne e ossos com diferentes níveis de proteína nas rações teste

Variável*	Proteína bruta (%)				
	33,70	37,49	40,17	43,48	46,38
MS %	93,64	94,05	94,76	95,15	95,64
PB %	33,70	37,49	40,17	43,48	46,38
EE %	8,99	10,60	11,57	13,16	14,46
MM %	45,45	42,09	38,76	35,52	32,30
EB kcal/kg	3031,40	3249,37	3462,88	3767,10	4011,39

*FCO = farinha de carne e ossos; MS = matéria seca; PB = proteína bruta; EE = extrato etéreo; MM = matéria mineral; EB = energia bruta

Valores determinados no LANA (DZO/UEM) com base em matéria seca

Na confecção das rações-teste, após moagem, pesagem e homogeneização dos ingredientes, foi acrescida água a 60°C na proporção de 25% do peso total da ração. A mistura foi peletizada em moínho de carne e desidratada em estufa de ventilação forçada (55°C), por 48 h.

Os CDA da proteína bruta e da energia bruta foram determinados pelo método indireto usando óxido de crômio III (0,5%) como indicador inerte. Foram utilizados doze aquários cônicos para coleta de fezes com capacidade individual de 250 L, confeccionados em fibra de vidro. Utilizou-se água de poço artesiano, que antes de ser utilizada nos tanques de coleta, foi estocada em dois tanques circulares de 2000 litros dentro do laboratório, para evitar mudanças bruscas de temperatura para os animais.

Os peixes (180 juvenis de tilápia do Nilo da linhagem GIFT com peso médio de $32,65 \pm 4,52$ g) foram mantidos, durante todo o tempo, nos aquários de coleta de fezes, onde receberam alimentação à vontade a cada duas horas das 8:30 às 17:00 por arraçamento manual. Em seguida, os aquários foram lavados e toda a água trocada, e, após, os tubos coletores foram instalados e as fezes coletadas na manhã seguinte, sendo acondicionadas em freezer a -21°C, até que se encerrasse o período de coleta.

Cada dieta teste foi avaliada em triplicata, em que cada aquário foi considerado uma repetição pela coleta durante cinco dias (“pool” de fezes). Antes do início das coletas, os peixes foram adaptados aos aquários cônicos, manejo e dietas peletizadas durante sete dias. A cada novo ingrediente, as fezes foram desprezadas nos três primeiros dias, para evitar a contaminação com a dieta anterior. Ao final de cada período, as fezes foram desidratadas em estufa de ventilação forçada a 55°C (48 h) e moídas em moínho “bola” no LANA (DZO/UEM).

As análises bromatológicas das farinhas de carne e ossos, 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 & Quiroz (2002). A energia bruta determinada em bomba calorimétrica adiabática (Parr Instrument Company, Moline-IL, EUA), no Complexo de Centrais de Apoio à Pesquisa – COMCAP/UEM.

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

Os CDA da proteína foram calculados de acordo com as expressões descritas por Pezzato et al. (2002).

$$CDA = 100 - \left[100 \cdot \left(\frac{\%I_d}{\%I_f} \right) \cdot \left(\frac{\%N_f}{\%N_d} \right) \right]$$

Em que: CDA(n) = digestibilidade aparente; I_r = % de óxido de crômio na ração; I_f = % de óxido de crômio nas fezes; N_r = nutrientes na ração; N_f = nutriente nas fezes.

$$CDA_{ing} = \frac{CD_{(rt)} - b \cdot CD_{rr}}{a}$$

Em que:

CDA(ing) = coeficiente de digestibilidade aparente do ingrediente;

CD(rt) = coeficiente de digestibilidade aparente da ração com o ingrediente teste;

CD(rr) = coeficiente de digestibilidade aparente da ração referência; b = porcentagem da ração basal; a = porcentagem do ingrediente teste.

As diferenças entre os valores de proteína e energia digestíveis foram determinadas por meio de análise de variância (ANOVA), $p < 0,05$, sendo os valores significativos submetidos ao teste de Tukey. Para a validação dos modelos, foi verificada a correlação entre os valores estimados e obtidos, no caso de correlação significativa, $p < 0,01$ e $p < 0,05$, foi aplicado o teste *T*-student para verificar as diferenças entre as médias dos valores obtidos e estimados. Em caso de diferença significativa ($p < 0,05$), as equações foram corrigidas, acrescentando um fator de correção, obtido pela diferença entre as médias dos valores obtidos e estimados, e, após, houve nova simulação de dados e submetidos ao teste *T*-student. Após verificar que tipo de modelo estimaria melhor os valores de proteína e energia digestíveis, foi aplicada a regressão *stepwise backward*, para elaborar equações de predição das farinhas de carne e ossos.

Todos os cálculos foram realizados no pacote estatístico SPSS 18.0, exceto a análise de trilha, realizada no pacote estatístico SAEG.

Resultados e discussão

O modelo padrão para estimar proteína digestível, determinados pela regressão linear múltipla resultou coeficiente de determinação de 95,30%. Para equação com intercepto, o método *stepwise backward* realizou três passos, mantendo no último a variável proteína bruta, semelhante a Sales (2008a), que após quatro passos manteve no último a mesma variável independente. Este autor utilizou dados de ingredientes de origem animal, avaliados em 35 espécies, determinou a equação: $PD(\%) = -103,933 + 0,997 \times PB; R^2 = 0,761$.

O modelo padrão determinado por regressão múltipla para estimar energia digestível apresentou coeficiente de determinação de 75,80%. O método *stepwise backward* determinou dois passos, utilizando no modelo final, as variáveis proteína bruta e extrato etéreo. Sales (2008b) determinou a equação: $ED (kcal/kg) = -1,541 + 0,005 \times PB + 0,724 \times EB; R^2 = 0,477$.

Observou-se que os modelos obtidos apenas para tilápias apresentaram coeficientes de determinação maiores que aqueles encontrados para as espécies em geral (Tabela 4). De acordo com Dabrowiski & Portella (2006), as diferentes espécies de peixes possuem metabolismo digestivo distinto, de acordo com o hábito alimentar dos animais, assim esse fator biológico deve ser levado em consideração para a elaboração de modelos matemáticos.

Analisando as equações, nota-se que o teste F, que testou a hipótese $H_0: a = 0$, não foi significativo em nível de 5 % de probabilidade, podendo-se optar entre as equações com ou sem intercepto para a estimativa da proteína e energia digestíveis.

O valor da constante de uma equação tem como função criar uma tendência nos valores estimados, já que é obtido a partir dos valores médios das variáveis dependentes e independentes (Bhujel, 2008). Por esse motivo, a utilização de modelos de predição com constante não é indicada, em situações em que os valores da composição química do alimento, a ter a proteína e/ou energia digestíveis estimadas, não estão contidos na amplitude da base de dados utilizada para obter os modelos. Por outro lado, as equações sem intercepto reduzem a precisão dos dados estimados, quando o coeficiente linear se distancia do zero (Rencher & Schaalje, 2008).

Tabela 4 - Modelos lineares para estimar valores de proteína e energia digestíveis de ingredientes de origem animal para tilápia

Intercepto	Equação			QM resíduo	Teste F ($H_0: a = 0$)	R ²
	PB	EE	MM			
Proteína digestível (%)						
-20,415	1,203	-	-	6,809	-	0,953
-	0,970	-	-0.290	7,025	0,636NS	0,998
Energia digestível (kcal/kg)						
-2202,534	83,950	61,833	-	315732,521	-	0,758
-	61,236	52,361	-34,192	318675,480	0,125NS	0,979

PB = proteína bruta; EE = extrato etéreo; MM = matéria mineral; QM = quadrado médio; NS = não significativo ($p < 0.05$).

As análises de trilha apresentaram coeficientes de determinação de 0,957 e 0,763 para proteína e energia digestíveis, respectivamente (Tabela 5). Indicando menor acurácia na estimação dos valores de energia digestível e ratificando a impossibilidade de Sales (2008b) em determinar um modelo para variadas espécies de peixe.

Tabela 5 - Coeficientes de trilha entre as variáveis de composição química e conteúdos de proteína e energia digestíveis

Variável	Via	Proteína digestível	Energia digestível
PB	Direta	0,8995868	0,7820468
PB	EE	0,0001055	-0,0603534
PB	MM	0,0766996	0,0941862
Total		0,9763919	0,8158796
EE	Direta	-0,0006100	0,2969701
EE	PB	-0,1556452	-0,1589357
EE	MM	0,0029165	0,0058359
Total		-0,1533387	0,1321984
MM	Direta	-0,0971733	-0,1156078
MM	PB	-0,7100506	-0,6371372
MM	EE	0,0000183	-0,0149912
Total		-0,8072055	-0,7377538
R ²		0,9568816	0,7626051

PB = proteína bruta; EE = extrato etéreo; MM = matéria mineral; R² = coeficiente de determinação

Os coeficientes de trilha demonstraram alto efeito positivo direto (0,8995868 e 0,7820468) da proteína bruta sobre os conteúdos de proteína e energia digestíveis, respectivamente, Figuras 1 e 2. O conteúdo de matéria mineral afetou negativamente a digestibilidade da proteína e energia, porém esse efeito foi indireto (-0,7100506 e -

0,6371372, respectivamente), pela redução no conteúdo de proteína bruta. O maior efeito determinado do extrato etéreo foi o positivo direto (0,2969701) sobre a energia digestível, justificável pelo alto aporte energético dos lipídios. Desta forma, pode-se afirmar que, além do grande impacto econômico de utilizar ingredientes de origem animal na alimentação de tilápias, aumenta-se o problema ambiental dos empreendimentos aquícolas. A proteína é o nutriente de maior custo em dietas para animais domésticos (Wilson, 2002) e, quando utilizada como fonte energética, passa por processo de deaminação (Wright & Fyun, 2001), que resulta em grandes volumes de nitrogênio excretado no meio aquático. Esse processo pode causar o decréscimo na qualidade da água, com possível multiplicação excessiva de algas ou microrganismos nocivos à integridade dos peixes. Em situações em que haja pouca renovação de água, o acúmulo excessivo de amônia pode impossibilitar o peixe de excretar este metabolito, exigindo que o mesmo realize o ciclo da uréia, diminuindo a eficiência energética dos alimentos, podendo causar enfermidades e morte dos peixes (Ip et al. 2001).

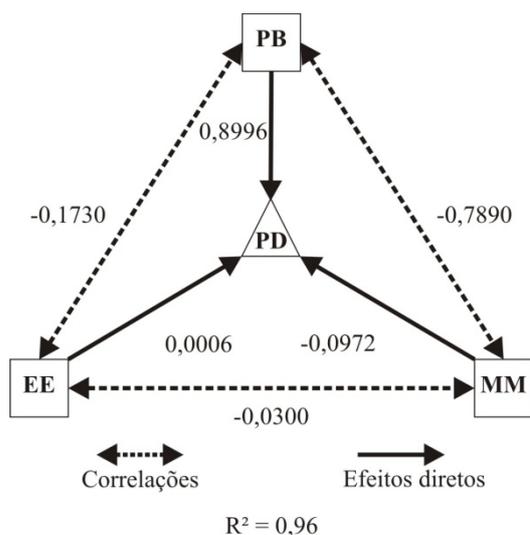


Figura 1 - Análise de trilha entre composição química e o conteúdo de proteína digestível de ingredientes de origem animal para tilápia

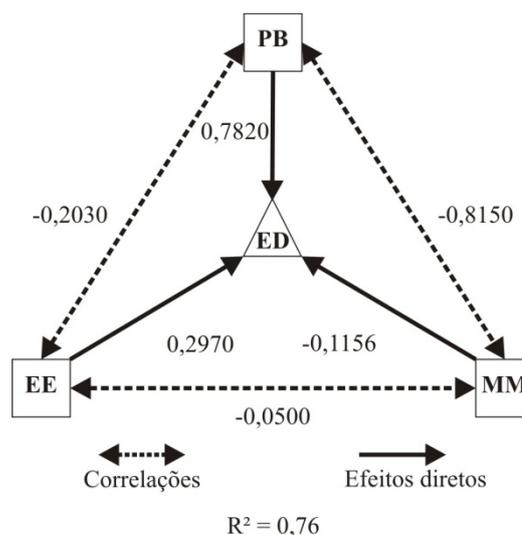


Figura 2 - Análise de trilha entre composição química e o conteúdo de energia digestível de ingredientes de origem animal para tilápia

Em que: PD = proteína digestível; ED = energia digestível; PB = proteína bruta; EE = extrato etéreo; MM = matéria mineral.

No ensaio de digestibilidade *in vivo*, a qualidade da água foi mantida na faixa de conforto para a espécie, não alterando os valores no decorrer do experimento. Além do suprimento de oxigênio, a água dos aquários de digestibilidade foi renovada diariamente

para manter os parâmetros de qualidade da água dentro dos padrões recomendados para a espécie.

Os coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) e os valores digestíveis da proteína bruta e energia encontram-se na Tabela 6. Pode-se observar a diferença ($p < 0,05$) para os CDA da energia e nutrientes dos alimentos avaliados, assim como entre os valores obtidos, estimados com sem intercepto e estimados com intercepto para valores de proteína e energia digestíveis.

Assim, como a composição da ração referência pode influenciar os resultados obtidos, o processamento das rações, forma de coleta do material fecal e níveis nutricionais utilizados para a determinação do CDA dos alimentos são fatores importantes na determinação do valor biológico de cada alimento, podendo apresentar diferenças em função de cada metodologia utilizada (Gonçalves et al., 2009).

Observou-se aumento ($p < 0,05$) dos coeficientes de digestibilidade da proteína bruta das farinhas de carne e ossos. Ao comparar estes valores com outros já existentes na literatura encontra-se proximidade entre o CDA da farinha de carne e ossos (FCO) de 43,38% e a estudada por Pezzato et al. (2001), que obtiveram CDA de 73,19%, utilizando FCO de composição semelhante à utilizada no presente trabalho. A FCO 46,38 apresentou CDA mais elevado que o obtido por Guimarães et al. (2008), apesar do valor de proteína bruta próximo, o atual estudo foi realizado com farinha contendo menos matéria mineral, 32,30% contra 41,13%. Ao avaliar alimentos alternativos para a perca prateada australiana (*Bidyanus bidyanus*), utilizando duas farinhas de carne e ossos com 49,2 e 54,3% de proteína bruta, Allan et al. (2000), obtiveram coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta de 71,5 e 73,9%, respectivamente, inferiores aos obtidos com a tilápia, ao considerar a composição química do ingredientes testados.

Houve menor influência da mudança da composição química sobre os coeficientes de digestibilidade da energia bruta. Porém, os valores de energia digestível aumentaram significativamente à medida em que aumentaram os conteúdos de proteína bruta das farinhas de carne e ossos, semelhante ao determinado por Bureau et al. (1999), em ensaio conduzido com juvenis de truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*).

Foi detectada correlação positiva entre todos os valores estimados por modelo e obtidos em ensaio ($p < 0,01$). Os valores médios obtidos e estimados por ambos modelos determinados para proteína digestível não diferiram significativamente pelo teste *t*. Por outro lado, os valores obtidos pelas equações definidas para energia digestível foram

significativamente diferentes dos valores obtidos, sempre gerando valores subestimados. Após correções, foram obtidas as equações:

$$ED(kcal/kg) = 862,631 - 2202,534 + 83,950 \times PB + 61,833 \times EE$$

$$ED(kcal/kg) = 6617,898 - 99,250 \times MM$$

Em que: ED = energia digestível; PB = proteína bruta; EE = extrato etéreo; MM = matéria mineral; todos os valores obtidos em base de matéria seca.

Substituindo as equações sem constante e com constante, respectivamente, os valores estimados por estes modelos não diferiram significativamente dos valores obtidos em experimento de digestibilidade.

Tabela 6 - Coeficientes de digestibilidade aparentes de farinhas de carne e ossos com diferentes níveis de proteína bruta para a tilápia do Nilo.

Nutriente	Proteína bruta (%)				
	33,70	37,49	40,17	43,48	46,38
Coeficientes de digestibilidade aparente (%)					
PB	49,67a	57,01ab	62,77b	74,28c	87,03d
EB	72,37a	72,91a	78,23ab	79,85ab	88,32b
Proteína digestível (%)					
Obtida	16,74a	21,37b	25,21b	32,30c	40,36d
Estimada sem intercepto	19,51	24,16	27,72	31,87	35,57
Estimada com intercepto	20,13	24,69	27,91	31,89	35,31
Energia digestível (kcal/kg)					
Obtido	2193,85aA	2369,05abA	2709,01bcA	3008,16cA	3543,01dA
Estimada sem intercepto	980,35B	1411,62B	1740,39B	2137,11B	2489,68B
Estimada com intercepto	1182,46C	1600,181C	1885,145C	2261,334C	2580,807C
Estimada sem intercepto corrigida	1993,14A	2424,41A	2753,17A	3149,90A	3502,47A
Estimada com intercepto corrigida	2045,09A	2462,81A	2747,78A	3123,96A	3443,44A

FCO = farinha de carne e ossos; CDAPB = coeficiente de digestibilidade aparente da proteína bruta; CDAEB = coeficiente de digestibilidade aparente da energia bruta; valores obtidos na mesma linha com letras minúsculas diferentes são diferentes ($p < 0,05$) pelo teste de tukey. Valores na mesma coluna com letras maiúsculas diferentes são diferentes ($p < 0,05$) pelo teste *T*.

Utilizando o método *stepwise backward*, com os valores obtidos de composição química e digestibilidade das farinhas de carne e ossos, foram elaboradas as seguintes equações:

$$PD (\%) = 3,460 \times EE - 0,347 \times MM; R^2 = 0,998$$

$$ED (kcal/kg) = 6700,119 - 101,368 \times MM; R^2 = 0,965$$

Em que: PD = proteína digestível; ED = energia digestível; EE = extrato etéreo; MM = matéria mineral; todos os valores obtidos em base de matéria seca.

Em condições práticas, a utilização de modelos matemáticos para estimar os valores de proteína e energia digestíveis é importante ferramenta, uma vez que é comum a aquisição de alimentos de diferentes composições químicas, dificultando análises laboratoriais.

Em alguns países, em função do menor custo em relação à farinha de peixes, a farinha de carne e ossos tem sido amplamente utilizada como fonte de energia e proteína (aminoácidos), minerais e vitaminas. No entanto, sua composição em proteína, gordura e minerais é bastante variável, o que afeta o valor nutritivo da farinha de carne e ossos, e, assim, a digestibilidade dos nutrientes dos demais alimentos da ração.

Modelos lineares múltiplos são úteis para estimar valores de proteína digestível, utilizando valores de composição química dos ingredientes de origem animal, mostrando-se eficientes com ou sem intercepto. Por outro lado, os modelos de energia digestível somente foram eficientes quando incluídos fatores de correção. Isso demonstra que a variação é constante e que mais estudos devem ser realizados para definir quais são as fontes de variação.

Verificou-se que a proteína bruta dos ingredientes contribui diretamente com os valores de energia digestível, fato que deve ser considerado durante a formulação de rações para evitar perdas econômicas e ambientais. Os dados obtidos em ensaio de digestibilidade *in vivo*, estão de acordo com os já encontrados em literatura e confirmam a eficácia dos modelos.

Conclusões

É possível estimar os valores de proteína digestível em ingredientes de origem animal para tilápias por meio de equações de predição, e recomenda-se o modelo $PD = PB \times 0,97 - MM \times 0,290$. Os modelos foram ineficientes para estimar valores

de energia digestível para ingredientes de origem animal, por isso, mais estudos devem ser realizados para definir os fatores de interferem nesta variável.

As equações para estimar os valores de proteína digestível e energia digestível da farinha de carne são: $PD (\%) = 3,460 \times EE - 0,347 \times MM$, $R^2 = 0,998$; $ED (kcal/kg) = 6700,119 - 101,368 \times MM$; $R^2 = 0,965$, respectivamente.

Literatura citada

- ALLAN, G.L.; PARKINSON, S.; BOOTH, M.A. et al. Replacement of fish meal in diets for Australian silver perch, *Bidyanus bidyanus*: I Digestibility of alternative ingredients. **Aquaculture**, v.186, n.3-4, p.293-310, 2000.
- BHUJEL, R.C. **Statistics for aquaculture**. Ames: Wiley-Blackwell, 2008, 240p.
- BOSCOLO, W. R.; HAYASHI, C.; FEIDEN, A. et al. Composição química e digestibilidade aparente da energia e nutrientes da farinha de resíduos da indústria de filetagem de tilápias, para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Ciência Rural**, v.38, p.1-8, 2008.
- BOSCOLO, W. R. ; HAYASHI, C.; MEURER, F.; et al. Digestibilidade aparente da energia e proteína das farinhas de resíduos da filetagem da tilápia do Nilo, da corvina e farinha integral do camarão canela (*Macrobrachium amazonicum*) para a tilápia do Nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia / Brazilian Journal of Animal Science**, Viçosa-MG, v.33, n.1, p.8-13, 2004.
- BUREAU, D.P.; HARRIS, A.M.; CHO, C.Y. Apparent digestibility of rendered animal protein ingredients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v.180, n. 3-4, p.345-358, 1999.
- 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.25, p.691-697, 2005.
- DABROWISK, K.; PORTELLA, M.C. Feeding plasticity and nutritional physiology in tropical fishes. In: VAL, A.L.; ALMEIDA-VAL, V.M.F.; RANDALL, D. **Fish physiology: volume 21, The physiology of tropical fishes**. Amsterdam: Elsevier, 2006, p.155-209.
- EL-SAYED, A.F.M. **Tilapia Culture**. 1ª ed. Wallingford: CABI Publishing, 2006. 277p.
- 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, p.17–34, 2007.
- GODDARD, S.; AL-SHAGAA, G.; ALI, A. Fisheries by-catch and processing waste meals as ingredients in diets for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture Research**, v.39, n.5, p.518-525, 2008.
- 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, p. 396-404, 2008.
- HUA, K. & BUREAU, D.P. Development of a model to estimate digestible lipid content of salmonid fish feeds. **Aquaculture**, v.286, 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, p.282-287, 2009b.
- HUA, K. & BUREAU, D.P., Modelling digestible phosphorus content of salmonid fish feeds. **Aquaculture**, v.254, 455–465, 2006.
- IP, Y.K., CHEW, S.F., RANDALL, D.J. Ammonia toxicity, tolerance and excretion. In: WRIGHT, P.A.; ANDERSON, P.M. **Fish Physiology: volume 20, Nitrogen Excretion**. Amsterdam: Elsevier, 2001, p.109 – 148.

- KÜPRÜCÜ, K.; ÖZDEMİR, Y. Apparent digestibility of selected feed ingredients for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), **Aquaculture**, v.250, n.1-2, p. 308-316, 2005.
- 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.
- PEZZATO, L. E. ; MIRANDA, E.C.; BARROS, M.M. et al. Digestibilidade aparente de ingredientes pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia / Brazilian Journal of Animal Science**, Viçosa, v.31, n.4, p.1595-1604, 2002.
- POND, W.G.; CHURCH, D.C.; POND, K.R. et al. **Basic animal nutrition and feeding**. Hoboken: Wiley, 2005, 608p.
- RENCHER, A.C., SCHAALJE, G.B. **Linear models in statistics**, New Jersey, John Wiley & Sons, 2008, 617p.
- SAEG **Sistema para Análises Estatísticas**, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.
- SAKOMURA, N.K.; ROSTAGNO, H.S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. Jaboticabal: FUNEP, 2007, 283p.
- SALES, J. Linear models to predict the digestible lipid content of fish diets. **Aquaculture Nutrition**, v.15, p. 537-549. 2009.
- SALES, J. Prediction of digestible energy content across feed ingredients and fish species by linear regression. **Fish Physiology and Biochemistry**, v.35, p. 551-565, 2008a.
- 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, p. 128-142, 2008b.
- SEBER, G.A.F. **Linear regression analysis**. New York: John Wiley, 1977. 465p.
- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa: Imprensa Universitária, 2002. 235p.
- SKLAN, D.; PRAG, T.; LUPATSCH, I. Apparent digestibility coefficients of feed ingredients and their prediction in diets for tilapia *Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus* (Teleostei, Cichlidae). **Aquaculture Research**, v.35, n.4, p.358-364, 2004.
- SPSS **Statistical Package for the Social Sciences**: release 18.0. SPSS INCORPORATION - Chicago, 2009.
- VANDENBERG, G., DE LA NOÛE, J. Apparent digestibility comparison in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) assessed using three methods of faeces collection and three digestibility markers. **Aquaculture Nutrition**, v.7, p.237-245, 2001.
- WILSON, R.P. Amino acids and proteins. In: HALVER, J.E.; HARDY, R.W. **Fish Nutrition**, Amsterdam, Elsevier, 2002, 144 – 181.
- WRIGHT, P.A., FYHN, J.H. Ontogeny of nitrogen metabolism and excretion. In: WRIGHT, P.A.; ANDERSON, P.M. **Fish Physiology: volume 20, Nitrogen Excretion**. Amsterdam: Elsevier, 2001, p.149 – 200.