



Modelos matemáticos para estimar as exigências de lisina digestível para aves de corte ISA Label

Jefferson Costa de Siqueira¹, Nilva Kazue Sakomura², Dáphinne Cardoso Nagib Nascimento¹, João Batista Kochenborger Fernandes³

¹ Pós-Graduação em Zootecnia – FCAV/UNESP – Jaboticabal, SP.

² DZO/FCAV/UNESP – Jaboticabal, SP.

³ Caunesp – Jaboticabal, SP.

RESUMO - O objetivo neste estudo foi avaliar diferentes modelos ajustados às respostas de ganho de peso obtidas em experimento com aves da linhagem ISA Label no período de 1 a 28 dias de idade. Foram utilizados 480 pintos de ambos os sexos, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 4×2 (níveis de lisina \times sexo), com três repetições, com 20 aves por unidade experimental. Uma ração basal foi formulada para atender às exigências das aves, exceto em lisina. Essa ração foi suplementada com L-lisina HCl em substituição ao ácido L-glutâmico, resultando em rações experimentais isonitrogênicas e isoenergéticas contendo 0,85; 0,97; 1,09 e 1,21% de lisina digestível. As respostas de ganho de peso foram ajustadas de acordo com os níveis de lisina da ração pelos modelos Linear Reponse Plateau (LRP), segmentado de duas inclinações, polinomial quadrático e exponencial. A primeira intersecção da equação quadrática com o platô do LRP também foi utilizado para estimar o nível ótimo. Os níveis de lisina digestível estimados pelos modelos LRP, segmentado e quadrático, foram 0,999; 1,010 e 1,116%, respectivamente. Na combinação do modelo quadrático com o LRP, a estimativa da exigência de lisina digestível foi de 1,041%. O modelo exponencial proporcionou estimativa de 1,066%, considerando 95% da resposta assintótica. Com base nos custos com alimentação, esse mesmo modelo gerou estimativas de 1,000 e 1,030% quando o custo do quilograma de L-lisina HCl foi R\$ 8,50 e R\$ 6,50, respectivamente. Considerando as limitações de cada um dos modelos propostos, o procedimento para estimar as exigências de lisina digestível pela primeira intersecção da equação quadrática com o platô do LRP foi o mais adequado para melhorar o ganho de peso das aves quando variáveis econômicas não foram consideradas.

Palavras-chave: aminoácidos digestíveis, dose-resposta, frangos de corte, modelos de regressão

Mathematical models to estimate digestible lysine of ISA Label broilers

ABSTRACT - The objective of this study was to evaluate different models in the adjustment of weight gain (WG) responses, obtained in an experiment carried out with ISA Label birds from 1 to 28 days of age. A total of 480 male and female chicks were distributed in a completely randomized design, in a 4×2 factorial arrangement (lysine levels \times sex), with three replications of 20 birds each. The basal diet was formulated to meet the chick requirements, except for lysine. This diet was supplemented with L-lysine HCl replacing the L-glutamic acid and resulting in experimental diets containing 0.85, 0.97, 1.09 and 1.21% digestible lysine. The weight gain response was adjusted to lysine levels according to following models: Linear Response Plateau (LRP), segmented regression with two slopes, quadratic and exponential. The first interception of the quadratic model on the LRP plateau was used to estimate the optimum lysine level. The lysine levels estimated according to LRP, segmented regression and quadratic models were 0.999, 1.010 and 1.116%, respectively. The digestible lysine level estimated by the combination of quadratic with LRP models was 1.041%. The exponential model provided an estimate of digestible lysine digestible of 1.066%, considering 95% of the asymptotic response. Based on the economic approach this model generated estimates of 1.000 and 1.030%, when the L-lysine cost was R\$ 8.50 and R\$ 6.50, respectively. Considering the limitations of each one of the proposed models, procedure to estimate the digestible lysine by the interception of quadratic equation with LRP plateau was the most adequate to optimize the weight gain of the birds when economic variables were not considered.

Key Words: broilers, digestible lysine, dose-response, regression models

Introdução

Diversos modelos matemáticos de natureza linear ou não-linear podem ser utilizados para descrever as respostas de desempenho animal aos níveis de aminoácidos das dietas, entretanto, na experimentação avícola, os modelos mais comumente empregados têm sido os de natureza linear.

Modelos lineares são caracterizados quando as variáveis independentes estão linearmente dispostas com os coeficientes paramétricos, mesmo que existam termos elevados ao quadrado, ao cubo e assim por diante (Sall et al., 2001; Oviedo-Rondón et al., 2002). Exemplos de modelos lineares amplamente utilizados para interpretar resultados de experimentos com base no método dose-resposta são o *Linear Response Platô* (LRP) e o polinomial quadrático, muitas vezes classificado erroneamente como não-linear. Outro modelo de natureza linear é o de regressão segmentada com duas inclinações, utilizado por diversos autores (Robbins, 1986; Portz et al., 2000; Lamberson & Firman, 2002; Leske & Coon, 2002), que se diferencia do LRP por compor-se de duas retas com inclinações diferentes de zero.

De acordo com Oviedo-Rondón et al. (2002), modelos lineares são amplamente utilizados na avicultura por serem facilmente implementados nas análises estatísticas. Pack et al. (2003) salientaram ainda que a popularidade desses modelos ocorre pela sua interpretação simplificada das respostas biológicas, possibilitando a determinação matemática de um único valor, considerado a exigência.

As exigências geradas com o uso de modelos lineares podem ser interpretadas como concentrações de aminoácidos presentes na dieta acima das quais não serão observadas respostas adicionais no desempenho das aves (Robbins, 1979; Labier & Leclercq, 1992; Pack et al., 2003). Desse modo, a descrição mais detalhada do desempenho das aves pode ser obtida com o uso de modelos não-lineares, capazes de descrever pequenas variações nas respostas, entre eles, o exponencial ou assintótico.

De acordo com Paula (2004), os modelos não-lineares da família exponencial admitem a presença de preditores não-lineares nos parâmetros e são caracterizados pela existência de variáveis independentes no expoente das constantes paramétricas. Pack (1996), Pack et al. (2003), Lemme (2005) e Sakomura & Rostagno (2007) têm recomendado o uso de modelos exponenciais pelo fato de descreverem de forma detalhada os pequenos acréscimos na resposta animal, o que, em situações práticas, pode ser de grande utilidade quando o objetivo é determinar a concentração adequada de aminoácidos na dieta para proporcionar máxima lucratividade. Por outro lado, em situações em que variáveis econômicas não são conside-

radas nas análises, as exigências obtidas por modelos exponenciais podem estar sujeitas a crítica, uma vez que são estimadas com base na proporção da resposta escolhida arbitrariamente, situando-se, na maioria das vezes, entre 95% e 98% da resposta máxima ou assintótica (Sakomura & Rostagno, 2007).

Considerando as críticas, vantagens e desvantagem de cada um dos modelos utilizados para ajustar os dados de desempenho obtidos em experimentos conduzidos com base no método dose-resposta, avaliaram-se os modelos LRP, segmentado com duas inclinações, polinomial quadrático e exponencial, ajustados à resposta de ganho de peso de aves de corte da linhagem ISA Label no período de 1 a 28 dias de idade recebendo diversos níveis de lisina digestível na ração.

Material e Métodos

Os modelos foram ajustados aos dados provenientes de um experimento conduzido no Aviário Experimental da FCAV – Unesp, em Jaboticabal, São Paulo. Foram utilizadas 480 aves da linhagem ISA Label de ambos os sexos (240 machos e 240 fêmeas) durante o período de 1 a 28 dias de idade, com o peso inicial de $41,29 \pm 0,30$ g. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4×2 (níveis de lisina digestível \times sexo), com três repetições e 20 aves por unidade experimental.

A ração basal foi formulada à base de milho e farelo de soja para atender às exigências nutricionais das aves, exceto de lisina (Tabela 1). Essa ração foi suplementada com L-lisina HCl 78,5% (0,000; 0,153; 0,306 e 0,459%) em substituição ao ácido L-glutâmico, resultando em rações experimentais isoenergéticas e isonitrogênicas contendo 0,85; 0,97; 1,09 e 1,21% de lisina digestível. Para que nenhum outro aminoácido se tornasse limitante nas rações experimentais, realizou-se a suplementação com aminoácidos cristalinos, evitando que as relações com a lisina digestível ficassem abaixo daquelas preconizadas por Rostagno et al. (2005), com base na proteína ideal.

Inicialmente as pressuposições de normalidade e homocedasticidade foram testadas e atendidas. Em seguida, os dados de ganho de peso das aves foram submetidos à análise de variância de acordo com o modelo estatístico: $GP_{ij(k)} = \mu + Lis_i + S_j + Lis \times S_{ij} + e_{ij(k)}$; em que $GP_{ij(k)}$ = ganho de peso observado no i -ésimo nível de lisina digestível oferecido ao j -ésimo sexo; μ = efeito da média geral; Lis_i = efeito do i -ésimo nível de lisina digestível da ração, S_j = efeito do j -ésimo sexo, $Lis \times S_{ij}$ = efeito da interação níveis de lisina digestível da ração \times sexo; e $e_{ij(k)}$ = erro experimental.

Tabela 1 - Composição da ração basal

Ingrediente	(%)
Milho	65,027
Farelo de soja	27,978
Óleo de soja	1,134
Calcário	1,129
Fosfato bicálcico	1,713
Sal comum	0,416
Suplemento mineral ¹	0,100
Suplemento vitamínico ²	0,100
DL-metionina (99%)	0,080
L-lisina HCl (78,5%)	0,000
Ácido L-glutâmico (99%)	2,100
Amido	0,150
Cloreto de colina (70%)	0,070
Total	100,000
Composição calculada	
Proteína bruta (%)	19,291
Energia metabolizável (kcal/kg)	3000
Cálcio (%)	0,940
Fósforo disponível (%)	0,420
Sódio (%)	0,190
Metionina+cistina digestível (%)	0,604
Lisina digestível (%)	0,850
Treonina digestível (%)	0,615
Arginina digestível (%)	1,129
Triptofano digestível (%)	0,196
Isoleucina digestível (%)	0,706
Valina digestível (%)	0,768

¹ Manganês, 75.000 mg; ferro, 50.000 mg; zinco, 70.000 mg; cobre, 8.500 mg; cobalto, 200 mg; iodo, 1.500 mg; veículo q.s.p., 1.000 g.

² Vit. A - 12.000.000 UI; vit. D₃ - 2.200.000 UI; vit. E - 30 g; vit. B₁ - 2,2 g; vit. B₂ - 6 g; vit. B₆ - 3,3 g; vit. B₁₂ - 0,016 mcg; ácido pantotênico - 13 g; vit. K₃ - 2,5 g; ácido fólico - 1 g; Se - 250 mg; antioxidante - 100.000 mg; e veículo q.s.p. - 1.000 g.

Posteriormente, o conjunto de dados foi submetido às análises de regressão considerando o ganho de peso como variável dependente e o nível de lisina da ração como variável independente utilizando-se os seguintes modelos:

1 - *Linear Response Platô* (LRP): $GP_i = L + U(R - Lis_i) + e_i$, $i = 1, 2, \dots, n_1, n_1 + 1, \dots, n$

em que $(R - Lis_i) = 0$ para $i = n_1 + 1$; $n_1 =$ número de observações até o ponto de quebra; $n =$ número de pares de observações; $GP_i =$ ganho de peso estimado para o i -ésimo nível de lisina digestível na ração; $Lis_i =$ nível de lisina da ração; $L =$ ganho de peso estimado no platô; $U =$ inclinação da reta ascendente; $R =$ nível de lisina estimado pelo ponto de quebra; e $e_i =$ erro ou desvio associado à distância entre o valor de ganho de peso observado e o valor de ganho de peso estimado pela equação.

2 - *Regressão segmentada de duas inclinações*: $GP_i = L + U(R - Lis_i) + V(Lis_i - R) + e_i$, em que $(R - Lis_i) = 0$ para $i > n_1$ e $(Lis_i - R) = 0$ para $i \leq n_1$, sendo V é a inclinação da reta descendente quando $Lis_i > R$.

3 - *Polinomial quadrático*: $GP_i = \beta_0 + \beta_1 Lis_i + \beta_2 Lis_i^2 + e_i$, em que $\beta_0 =$ constante da regressão ou intercepto,

$\beta_1 =$ parâmetro da regressão para componente linear; e $\beta_2 =$ parâmetro da regressão para o componente quadrático.

4 - *Exponencial*: $GP_i = A + B(1 - e^{-C(Lis - D)}) + e_i$, em que $A =$ resposta de ganho de peso estimada para a dieta contendo o nível mais baixo de lisina (basal); $B =$ diferença estimada entre a mínima e a máxima resposta obtida com a suplementação de lisina; $C =$ coeficiente de inclinação da curva; $D =$ nível de lisina da dieta basal, sendo e a base do logaritmo neperiano (2,718282).

Para verificar o ajuste das equações obtidas com o uso dos diferentes modelos, consideraram-se a menor soma dos quadrados dos desvios, a significância do teste F sob a hipótese $H_0: \beta_0 = \beta_1 = \beta_2 = 0$ e os coeficientes de determinação ($R^2 = SQ \text{ regressão} / SQ \text{ tratamentos}$).

A estimativa do nível ótimo de lisina para aumentar o ganho de peso com base no LRP foi obtida pelo encontro da reta ascendente com o platô e, na regressão segmentada de duas inclinações, o nível ótimo foi obtido pelo encontro da reta ascendente com a reta descendente. Considerando o polinomial quadrático, a estimativa foi obtida igualando-se a primeira derivada da equação a zero. O nível ótimo estimado com o uso do modelo exponencial foi obtido considerando 95% da resposta assintótica por meio da expressão: $(\ln 0,05) / C + D$, de acordo com Sakomura & Rostagno (2007). A primeira intersecção da equação quadrática com o platô do LRP, proposto por Baker et al. (2002), foi obtida pela equação: $L = \beta_0 + \beta_1 Lis_i + \beta_2 Lis_i^2$ e o nível de lisina correspondente à intersecção, calculado pela expressão: $(-\beta_1 + (\beta_1^2 - 4\beta_2(\beta_0 - L))^{1/2}) / (2\beta_2)$.

Considerando a equação exponencial ajustada para o ganho de peso das aves, realizou-se a determinação do nível ótimo econômico de lisina na ração com base no custo com alimentação/kg de ganho das aves. Inicialmente a conversão alimentar para cada nível de suplementação foi estimada considerando o consumo médio de ração da fase e a equação ajustada para o ganho de peso. Multiplicando-se a conversão alimentar estimada pelo custo do alimento obtido a partir dos níveis de suplementação do aminoácido, obteve-se a variação do custo com alimentação por kg de ganho de peso, pela expressão: $\Delta R\$/kgGP = (CDB + (CUAA - CUDB)NSAA)CA$, em que $CDB =$ custo do kg da dieta basal (sem adição de L-lisina HCl); $CUAA =$ custo unitário da lisina suplementar; $CUDB =$ custo unitário da dieta basal; e $NSAA =$ acréscimo na concentração de lisina proporcionado pela suplementação de L-lisina HCl na dieta basal (Pack et al., 2003).

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa computacional SAS 9.0, por meio dos procedimentos PROC GLM para análise de variância, PROC REG para ajuste do modelo quadrático e PROC NLIN para ajuste dos demais modelos (SAS, 1985).

Resultados e Discussão

Pela análise de variância foram observados efeitos ($P = 0,0015$) dos níveis de lisina e do sexo ($P = 0,0001$) sobre o ganho de peso das aves, não havendo efeito ($P = 0,5558$) da interação lisina \times sexo (Tabela 2). Esse resultado indica que o comportamento das respostas de ganho de peso foi semelhante entre machos e fêmeas, apesar de a magnitude dessas respostas ter variado entre os sexos. Assim, as estimativas foram obtidas a partir das equações ajustadas para os dados de machos e fêmeas conjuntamente (24 observações).

Todos os modelos proporcionaram excelentes ajustes, evidenciados pelos respectivos R^2 , entretanto, os níveis estimados pelos modelos foram diferentes (Tabela 3; Figura 1).

Pelo modelo LRP, considerando a intersecção da reta ascendente com o platô, foi estimado o nível de lisina digestível de 0,999%. De acordo com Robbins et al. (1979) e Pack et al. (2003), o modelo LRP proporciona uma interpretação simplificada da curva-resposta, assumindo que a utilização de um nutriente limitante é constante até que sua exigência seja suprida e que não há respostas adicionais no desempenho acima deste ponto. Com base nisso, a estimativa de 0,999% pode ser interpretada como a concentração de lisina na ração a partir da qual não ocorrerá aumento no ganho de peso das aves. Essa abordagem pontual dos fenômenos biológicos pode conduzir a subestimativas dos níveis ótimos, uma vez que as respostas de desempenho das aves se aproximam da “lei dos mínimos retornos” (Oviedo-Rondón & Waldroup, 2002; Pack et al., 2003; Lemme, 2005; Sakomura & Rostagno, 2007), pela qual o incremento no desempenho decresce à medida que doses crescentes de um nutriente limitante são fornecidas, fato esse que não é considerado quando o modelo LRP é utilizado.

Para a regressão segmentada, a intersecção da reta ascendente com a reta descendente proporcionou a estimativa de 1,010% de lisina digestível na ração e foi o modelo que melhor se ajustou aos dados do ponto de vista estatístico. Entretanto, como no caso do LRP, a regressão

segmentada com duas inclinações assume a utilização constante do nutriente limitante e está sujeita às mesmas críticas.

O nível de lisina estimado igualando-se a primeira derivada da equação quadrática a zero foi de 1,116%. De acordo com Lamberson & Firmam (2002), o modelo quadrático proporciona superestimativas, especialmente quando as dietas experimentais não estão igualmente distribuídas acima e abaixo das exigências. Esse comportamento se deve ao fato de o modelo quadrático assumir a simetria bilateral da resposta com a adição do nutriente, descrevendo a redução da resposta na mesma intensidade do acréscimo (Euclides & Rostagno, 2002). Com base nisso, outra crítica é o fato de a equação quadrática descrever a redução no desempenho imediatamente após o nível ótimo por ela estabelecido, o que, na prática, ocorre somente com concentrações mais elevadas, capazes de produzir toxicidade, supostamente bem acima do nível ótimo.

O nível de lisina correspondente à primeira intersecção da equação quadrática com o platô do LRP, proposto por Baker et al. (2002), foi obtido pela expressão: $(-1598,12 + (1598,12^2 - 4 * -715,774 * (-281,998 - 605,97))^{1/2}) / (2 * -715,774) = 1,041$. Esse método de determinação das exigências mostrou-se coerente, uma vez que proporcionou estimativa intermediária (1,041%) àquelas obtidas com os modelos LRP e quadrático individualmente, contornando as críticas a esses modelos. De acordo com Baker et al. (2002), o valor da primeira intersecção é uma excelente forma de representar as exigências por ser um valor obtido de forma objetiva.

Com base no modelo exponencial, considerando 95% da resposta assintótica, obteve-se a estimativa de 1,066% de lisina digestível na ração pela expressão: $((\ln 0,05) / -13,88) + 0,85 = 1,066$. Biologicamente, o modelo exponencial é considerado o mais adequado para descrever as respostas das aves aos níveis nutricionais da dieta (Pack, 1996; Pack et al., 2003; Lemme, 2005), entretanto, tem sido criticado pelo fato de o nível ótimo, na maioria das vezes, ser estimado com base na proporção da resposta assintótica escolhida arbitrariamente (nesse caso 95%). Apesar dessa crítica, o

Tabela 2 - Ganho de peso de aves ISA Label de ambos os sexos recebendo diversos níveis de lisina digestível na ração no período de 1 a 28 dias de idade

	Sexo	Nível de lisina digestível (%)				Média	Probabilidade		
		0,850	0,970	1,090	1,210		Lisina	Sexo	Lisina \times sexo
Ganho de peso (g)	Macho	587,97 \pm 14,59	621,85 \pm 14,05	648,09 \pm 12,14	633,73 \pm 8,69	622,91 \pm 8,58	0,0015	0,0001	0,5580
	Fêmea	529,17 \pm 6,51	571,67 \pm 11,17	566,88 \pm 8,24	575,15 \pm 11,05	560,72 \pm 6,87			
	Média ¹	558,57 \pm 14,97b	596,76 \pm 13,80a	607,49 \pm 19,31a	604,44 \pm 14,53a				

¹ Valores seguidos de letras iguais não diferem entre si ($P > 0,05$) pelo teste de Duncan. Coeficiente de variação = 3,25%.

Tabela 3 - Equações ajustadas para ganho de peso de aves ISA Label de ambos os sexos recebendo diversos níveis de lisina digestível e níveis de lisina estimados com o uso de diferentes modelos

Modelo	Equação	R ²	NLE (%)
LRP ¹	GP = 605,97 - 318,232 (0,999 - Lis)	0,997	0,999
Segmentada com duas inclinações ²	GP = 609,5 - 318,232 (1,01 - Lis) - 25,361 (Lis - 1,01)	1,000	1,010
Quadrático ³	GP = - 281,998 + 1598,12Lis - 715,774 Lis ²	0,994	1,116
Exponencial ⁴	GP = 558,503 + 48,132 (1 - e ^{-13,88 (Lis - 0,85)})	0,993	1,066
Quadrático + LRP	605,97 = - 281,998 + 1598,12 Lis - 715,774 Lis ²	-	1,041

¹(P=0,055); ²(P<0,001); ³(P=0,061); ⁴(P=0,061).
NLE = nível de lisina estimado.

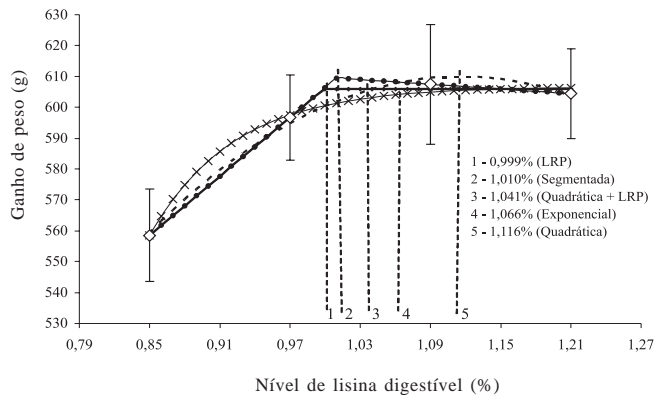


Figura 1 - Representação gráfica dos valores observados de ganho de peso (média ± erro-padrão da média), modelos ajustados e estimativas dos níveis de lisina digestível.

modelo exponencial descreve de forma detalhada os pequenos acréscimos no desempenho decorrentes dos níveis nutricionais da dieta, o que o torna de grande utilidade quando o interesse é determinar o nível ótimo de nutrientes do ponto de vista econômico.

O consumo de ração pelas aves não foi influenciado ($P > 0,05$) pelos níveis de lisina da ração. O consumo médio de ração observado durante período de 1 a 28 dias foi de 1.100 g e foi utilizado nos cálculos econômicos. Considerando os preços de R\$ 0,60 por kg de ração basal e de R\$ 8,50 por kg de L-lisina HCl, o menor custo com alimento foi de aproximadamente R\$ 1,120 ($0,60 + (0,085 - 0,006) 0,150$) $1,831 = 1,1203$) e correspondeu ao nível de 1,000% de lisina digestível na ração. Entretanto, se o preço da L-lisina HCl é reduzido para R\$ 6,50, o menor custo com alimento passa a R\$ 1,114 ($0,60 + (0,065 - 0,006) 0,180$) $1,825 = 1,1144$), correspondendo ao nível de 1,030% de lisina digestível na ração (Figura 2).

A utilização do modelo exponencial permite identificar o ponto da curva-resposta em que o aumento relativo no custo da alimentação proporcionado pela adição de uma unidade de L-lisina HCl se iguala à melhora relativa no desempenho. Assim, quando variáveis econômicas são consideradas na determinação do nível ótimo de

aminoácidos nas rações, a recomendação normalmente não corresponde àquela adequada para proporcionar o máximo desempenho, variando principalmente de acordo com os custos da dieta basal e do aminoácido cristalino.

A determinação das exigências sofre influência direta do modelo utilizado na descrição das respostas e dos critérios adotados para estabelecimento do nível ótimo. Em conformidade com os resultados de Baker et al. (2002), quando o interesse é determinar o nível de lisina para melhorar o ganho de peso das aves, o primeiro intercepto da equação quadrática com o platô do LRP pode ser considerado o método mais adequado por ser um valor intermediário calculado de forma objetiva, evitando as críticas feitas ao LRP e ao quadrático individualmente. Entretanto, quando os custos com alimentação são considerados, o nível ótimo de lisina na ração é estabelecido com base no preço da L-lisina HCl e os cálculos devem ser fundamentados na equação ajustada pelo modelo exponencial. Considerando que os custos com insumos utilizados na nutrição animal estão sujeitos a frequentes oscilações de mercado, o uso do modelo exponencial pode ser de grande importância para auxiliar nas decisões em situações práticas.

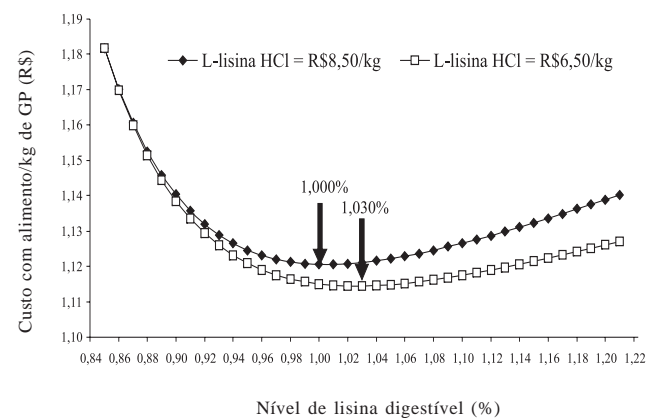


Figura 2 - Variação do custo com alimentação por kg de ganho de peso de acordo com o nível de lisina digestível da ração.

Conclusões

Os modelos *Linear Response Plateau* e polinomial quadrático, utilizados individualmente, apresentam limitações que podem ser contornadas com a combinação desses modelos. Se o objetivo for determinar o nível de aminoácidos adequado para melhorar o desempenho, a primeira intersecção da equação quadrática com o platô do *Linear Response Plateau* pode ser considerada o procedimento mais adequado. O emprego do modelo exponencial permite a associação de variáveis econômicas para o estabelecimento do nível ótimo de aminoácidos nas rações e pode ser valioso nas decisões práticas.

Literatura Citada

- BAKER, D.H.; BATAL, A.B.; PARR, T.M. et al. Ideal ration (relative to lysine) of tryptophan, threonine, isoleucine and valine for chicks during the second and third weeks posthatch. **Poultry Science**, v.81, p.485-494, 2002.
- EUCLYDES, R.F.; ROSTAGNO, H.S. Planejamento experimental em avicultura e interpretação de resultados. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 2002, Campinas. **Anais...** Campinas: Fundação Apinco de Ciência e Tecnologia Avícolas, 2002. p.117-133.
- LABIER, M.; LECLERCQ, B. **Nutrition and feeding of poultry**. Nottingham University Press: Julian Wiseman, 1992. 305p.
- LAMBERSON, W.R.; FIRMAN, D. A comparison of quadratic versus segmented regression procedures for estimating nutrient requirements. **Poultry Science**, v.81, p.481-484, 2002.
- LEMME, A. Optimum dietary amino acid level for broiler chicken. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE AVES E SUÍNOS, 2005, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2005. p.117-144.
- LESKE, K.; COON, C. The development of feedstuff retainable phosphorus values for broilers. **Poultry Science**, v.81, p.1681-1693, 2002.
- OVIEDO-RONDÓN, E.O.; MURAKAMI, A.E.; SAKAGUTI, E.S. Modelagem computacional para produção e pesquisa em avicultura. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v.4, p.199-207, 2002.
- OVIEDO-RONDÓN, E.O.; WALDROUP, P.W. Models to estimate amino acid requirements for broiler chickens: a review. **International Journal of Poultry Science**, v.5, p.106-113, 2002.
- PACK, M. Models used to estimate nutrient requirements with emphasis in economic aspects. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE AVES E SUÍNOS, 1996, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1996. p.43-54.
- PACK, M.; HOEHLER, D.; LEMME, A. Economic assessment of amino acid responses in growing poultry. In: D'MELLO, J.P.F. (Ed.) **Amino acids in animal nutrition**. Cambridge: CABI Publishing, 2003. p.459-483.
- PAULA, G.A. [2004]. **Modelos de regressão com apoio computacional**. Instituto de Matemática e Estatística. Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://www.ime.usp.br/~giapaula>>. Acesso em: 1/3/2007.
- PORTZ, L.; DIAS, C.T.S.; CYRINO, J.E.P. Regressão segmentada como modelo na determinação de exigências nutricionais de peixes. **Scientia Agricola**, v.57, p.601-607, 2000.
- ROBBINS, K.R. **A method, program, and example for fitting the broken-line to growth data**. Tennessee: University of Tennessee, Agricultural Experimental Station (Research Report 86/09), 1986. 8p.
- ROBBINS, K.R.; NORTON, H.W.; BAKER, D.H. Estimation of nutrient requirement from growth data. **Journal of Nutrition**, v.109, p.1710-1714, 1979.
- ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 2.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2005. 186p.
- SAKOMURA, N.K.; ROSTAGNO, H.S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. Jaboticabal: Funep, 2007, 283p.
- SALL, J.; LEHMAN, A.; CREIGHTON, L. **JMP start statistics: A guide to statistics and data analysis**. 2.ed. Duxbury: SAS Institute, 2001. 491p.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM - SAS. **SAS user's guide: statistics**. 5.ed. Cary: SAS Institute, 1985. 956p.