

AJUSTE DE MODELOS DE PLATÔ DE RESPOSTA PARA A EXIGÊNCIA DE ZINCO EM FRANGOS DE CORTE¹

Fitting response plateau models to Zn requirements in broilers

Douglas Messias Lamounier Camargos Rezende², Joel Augusto Muniz³, Daniel Furtado Ferreira⁴,
Fabyano Fonseca e Silva⁵, Luiz Henrique de Aquino⁶

RESUMO

Com este trabalho, objetivou-se estudar a técnica platô de resposta utilizando modelos de regressão segmentada para avaliar sua aplicação no estudo da exigência de Zn em frango de corte. Foram utilizados os dados de uma pesquisa com frangos de corte envolvendo um experimento fatorial 2 x 2 x 9, dois experimentos, dois sexos e nove doses de zinco na ração, considerando 8 repetições. As doses de Zn estudadas foram: 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120 ppm. A variável avaliada foi o teor de Zn na tibia em ppm. Foram utilizadas rotinas no procedimento não-linear (PROC NLIN do SAS[®]) para estimação dos parâmetros, utilizando-se as médias da variável resposta nas diversas doses. Dois modelos não-lineares (MNLE1 e MNLE2) e o Modelo Polinomial Quadrático (MPQ), ambos com platô, foram comparados. Os três modelos foram estatisticamente equivalentes, contudo o modelo MNLE1 mostrou-se mais adequado devido a sua maior facilidade de interpretação dos parâmetros.

Termos para indexação: Aves de corte, modelos não-lineares, platô de resposta.

ABSTRACT

This work had for objective to apply the response plateau technique to evaluate the methodology and the models in the requirements of Zn in broiler. The experiment was a completely randomized design with (2 x 2 x 9) factorial structure, being 2 experiments, 2 Sex (sexes) and 9 levels of Zn, with 8 replications. The levels of Zn were: 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120 ppm. The studied variable was Zn level in the tibia in ppm. The models were fitted using the averages of the doses from the initial analysis of variance in SAS PROC NLIN (SAS[®]). Two nonlinear models (MNLE1 and MLNE2) and the quadratic polynomial model (MPQ), both with plateau, were compared. The three models results equivalent fitting to data. As MNLE1 has the easiest interpretation it was suggested as the best model.

Index terms: Broilers, nonlinear models, response plateau.

(Recebido em 13 de janeiro de 2004 e aprovado em 26 de setembro de 2005)

INTRODUÇÃO

Com o constante melhoramento genético das aves, as linhagens de frangos de corte têm adquirido capacidade de expressar cada vez mais rápido seu alto potencial produtivo. Porém, esse potencial só é eficientemente aproveitado, quando se tem, além de outros fatores, fornecimento adequado de todos os nutrientes exigidos. Por isso, várias pesquisas têm sido desenvolvidas para determinar suas exigências nutricionais em diferentes idades, sexo e linhagens, com o objetivo de obter alimentação de menor custo, que permita o máximo aproveitamento do potencial genético da ave (RUNHO et al., 2001).

De acordo com Euclides & Rostagno (2001), a adição de um nutriente limitante na ração, mantendo níveis

adequados dos demais nutrientes, resultará, em crescimento do animal até que sua exigência seja atendida. A partir daí, existirá uma faixa de estabilização no crescimento e, em seguida, dependendo do nutriente que está sendo adicionado, poderá ocorrer uma perda de peso do animal. Os autores apresentam o esquema ilustrativo do efeito de um nutriente limitante (Figura 1), em que se observa que o fenômeno resultante do acréscimo de um nutriente na ração, partindo de níveis baixos até níveis elevados, pode ser descrito em quatro fases:

i. Inicial – Fase em que o acréscimo do nutriente garante apenas a sobrevivência do animal, pois os níveis são insuficientes para permitir o crescimento;

ii. Resposta – Fase na qual os animais começam a apresentar crescimento, melhor eficiência alimentar, entre

¹Parte da dissertação de apresentada à UFLA pelo primeiro autor para obtenção do título de Mestre em Agronomia/Estatística e Experimentação Agropecuária. Apoio financeiro do CNPq.

²Professor Adjunto I de Estatística da UNIPAC/Bom Despacho – Bom Despacho, MG – dougmes@yahoo.com.br

³Professor Titular do Departamento de Ciências Exatas da Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – Bolsista CNPq – joamuniz@ufla.br

⁴Professor Adjunto III do Departamento de Ciências Exatas da Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – danielff@ufla.br

⁵Professor de Estatística do Departamento de Informática da Universidade Federal de Viçosa/UFV – fabyano@dpi.ufv.br

⁶Professor do Departamento de Ciências Exatas Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37200-000 – Lavras, MG.

outras vantagens, até um nível em que se estabiliza a desempenho;

iii. Estável – Fase em que os níveis do nutriente não promovem resposta ao desempenho;

iv. Tóxica – Fase em que o nível elevado do nutriente pode causar redução no desempenho em consequência de efeitos colaterais.

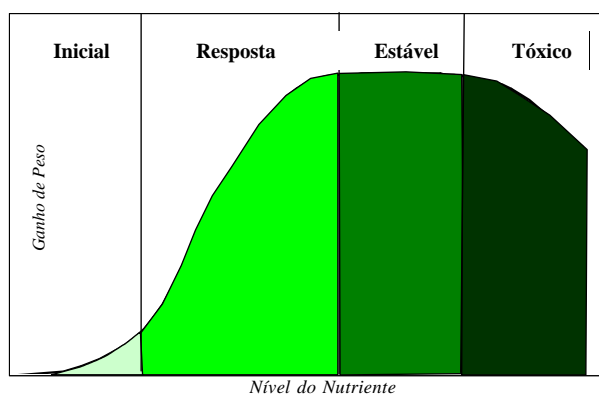


FIGURA 1 – Curva de resposta dos animais à adição de um nutriente limitante à ração.

Os autores consideram, ainda, que os modelos utilizados para determinar os níveis ótimos dos nutrientes na ração são aplicáveis quando os experimentos são conduzidos nas fases “Resposta” e “Estável”. Se o experimento for instalado somente no começo da fase “Resposta”, o nível ideal do nutriente poderá não ser determinado, porque a resposta máxima não foi atingida. Se o experimento tiver início no decorrer da fase “Estável”, concluir-se-á que o nutriente em estudo não é essencial ou está acima da exigência. Caso os níveis estudados se situem na fase “Tóxica”, o resultado mostrará efeito nocivo aos animais.

Experimentos do tipo Dose x Resposta são muito comuns em várias áreas da experimentação. Eles são utilizados para obter os níveis recomendáveis dos minerais nas formulações de rações para animais, para avaliar níveis de proteína, energia e outros ingredientes em rações animais de diferentes espécies e estudar a conversão alimentar, bem como no estudo das formulações de adubos para plantações cultivadas em diferentes solos. Para estes experimentos, entre as técnicas de análises estatísticas que podem ser utilizadas para descrever os níveis ótimos de um nutriente, destacam-se o modelo polinomial quadrático, *broken line*, Platô linear, Platô quadrático e Platô não-lineares.

i. O Modelo Broken Line

Segundo Coelho et al. (1987), para a análise de exigências nutricionais dos animais um dos modelos utilizados é o de linha quebrada, ou *broken line*. Baker (1986) e Robbins et al. (1979) avaliaram que este modelo combina um teste de média para determinação do platô e ajusta uma equação linear aos dados que apresentam respostas a níveis crescentes de nutrientes. A exigência é dada no ponto em que uma perpendicular baixada da intersecção da reta com o platô encontrar o eixo da abscissa. De acordo com Pack (1996), o modelo de regressão linear mais usado em estudos de nutrição animal é o modelo *broken line*, que apesar de apresentar um ajustamento aceitável, não é fisiologicamente o mais adequado.

ii. O modelo platô de resposta linear (PRL)

Este modelo platô de resposta linear foi aplicado inicialmente em ensaios sobre fertilidade do solo (BRAGA, 1983). Sua principal vantagem é que na presença de doses muito elevadas de algum elemento torna-se possível estimar a diminuição de desempenho ocasionada pelo excesso. Segundo Coelho et al. (1987), o modelo descontínuo PRL permite a comparação de combinações alternativas de retas e platô permitindo escolher como melhor opção de ajustamento a combinação que tenha apresentado a menor soma de quadrados dos desvios. À semelhança do *broken line*, a exigência em determinado nutriente é dada no ponto em que a perpendicular baixada da intersecção da reta com o platô encontrar a abscissa. As respostas nem sempre apresentam esta configuração em virtude do complexo sistema fisiológico do animal. Morris (1983) e Runho et al. (2001) afirmam que o ajuste de dados pelo modelo PRL em casos especiais proporciona bom ajuste estatístico, mas freqüentemente subestima à dose ótima. Vários autores utilizaram o modelo PRL em pesquisas com diferentes espécies na área de Zootecnia: em frangos de corte, Cella et al. (2001) e Gomes et al. (1994); em poedeiras, Figueiredo et al. (2001); em suínos, Coelho (1984) e Oliveira et al. (2001), entre outros. A maior parte destes trabalhos foi desenvolvida na UFV, utilizando como suporte estatístico o programa SAEG, cuja grande versatilidade serviu para difundir o uso desse modelo.

iii. O modelo polinomial quadrático

O modelo quadrático ($y = a + bx + cx^2$), sobre o ponto de vista “biológico”, é mais utilizado que o modelo linear por possibilitar a determinação do ponto de máximo. Todavia, dependendo da natureza dos dados e do

experimento, esse modelo pode não ser adequado. Morris (1983) e Runho et al. (2001) afirmam que o uso do Modelo Polinomial Quadrático em algumas situações não proporciona bom ajuste dos dados, causando falsa segurança, uma vez que a curvatura é muito sensível a variações nos intervalos dos tratamentos e o modelo pode não ser fisiologicamente correto, pois pressupõe respostas simétricas para a deficiência e para o excesso de nutrientes.

iv. O Modelo Polinomial Quadrático com platô

O procedimento não-linear do *software Statistical Analysis System*, (SAS INSTITUTE, 1995), apresenta um exemplo da aplicação da técnica platô de resposta quadrático. Neste exemplo, o ponto de início do platô foi denominado de x_0 , que é localizado por meio da primeira derivada da equação quadrática, ou seja, pelo ponto de máximo. Quando x é maior que x_0 , este ponto se torna uma constante, transformando-se numa reta com inclinação zero, denominada platô, cujo modelo é dado por $y = p$; e quando x é menor que x_0 , este ponto se encontra na parte quadrática do modelo ($y = a + bx + cx^2$) sendo descrito por uma parábola. Para que esta técnica possa ser aplicada, exige-se que a curva seja contínua e suave. Bullock & Bullock (1994), Carrijo & Hochmuth (2000) e Cerrato & Blackmer (1990), utilizaram esta técnica, observando um bom comportamento do modelo na descrição das respostas em experimentos na área de Ciências Agrárias.

v. Modelos não-lineares

Neste caso a técnica platô de resposta é utilizada conjugada com o ajuste de modelos não-lineares, conforme o trabalho de Rezende et al. (2000), que desenvolveram um estudo com dados de nutrição animal. Euclides & Rostagno (2001) comentam que parece não existir uma metodologia adequada para análise de dados no caso de ajuste de modelos de resposta para nutrientes. Segundo

os autores, os diversos pesquisadores têm simplesmente se limitado a apresentar críticas às metodologias de ajuste dos modelos existentes, sem propor o melhor modelo. Morris (1983) considera que os métodos estatísticos de estimação e ajuste de modelos, apesar de serem bastante lógicos, nem sempre apresentam conclusões apropriadas.

Este trabalho teve por objetivo estudar a técnica platô de resposta utilizando modelos de regressão segmentada para avaliar sua aplicação no estudo da exigência de Zn em frango de corte.

MATERIAL E MÉTODOS

O material experimental utilizado corresponde a pintos de um dia da linhagem Hubbard, sexados, vacinados contra as doenças Marek e Bouda Aviária. Foram alojados inicialmente 12 pintos do mesmo sexo por box e no final da primeira semana feita uma refugagem, reduzindo o total para 10 pintos. A partir do primeiro dia, as aves receberam as dietas experimentais e água deionizada à vontade.

No 27º dia de idade selecionou-se aleatoriamente 2 aves de cada box para serem abatidas. Estas constituíram a unidade experimental, e dessa forma foram pesadas individualmente e aneladas no pé direito. Após o abate a tíbia direita foi descarnada e levada para o refrigerador para ser posteriormente analisada. O teor de Zn foi calculado em relação ao peso da tíbia seca.

Modelo experimental

Utilizou-se o delineamento inteiramente ao acaso com 8 repetições, num esquema fatorial 2 x 2 x 9 adaptado de Teixeira (1994). Este fatorial envolveu dois experimentos, dois sexos e nove doses de Zn (0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120 ppm), sendo a variável estudada o teor de Zn na tíbia em ppm. A análise de variância foi realizada no *software* estatístico SISVAR (FERREIRA, 2000), considerando o seguinte modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + E_i + S_j + D_k + (ES)_{ij} + (ED)_{ik} + (SD)_{jk} + (ESD)_{ijk} + e_{ijkl} \quad (1)$$

com $i = 1, 2; j = 1, 2; k = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9; l = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$.

em que:

Y_{ijkl} é o teor de Zn na tíbia em ppm da ave l , do sexo j , do experimento i que recebeu a dose k ;

μ é uma constante associada a cada observação;

E_i é o efeito do experimento i ; S_j é o efeito do sexo j ;

D_k é o efeito da dose k ; $(ES)_{ij}$ é o efeito da interação entre experimento e sexo;

$(ED)_{ik}$ é o efeito da interação entre experimento e dose;

$(SD)_{jk}$ é o efeito da interação entre sexo e dose;

$(ESD)_{ijk}$ é o efeito da interação entre experimento, sexo e dose;

e_{ijkl} é o erro experimental associado a cada observação, independente e com distribuição normal de média zero e variância σ^2 .

Modelos estatísticos ajustados

O ajuste dos modelos de platô de resposta foi realizado considerando as médias estimadas pelo modelo (1) para o teor de Zn na tibia referentes as doses de Zn estudadas, para posterior ajuste dos modelos por meio do procedimento NLIN (PROC NLIN) do sistema SAS Institute (1995).

i. Modelo Polinomial Quadrático com Resposta em Platô (MPQ)

Considerou-se as seguintes equações:

$$Y = a + bx + cx^2 + e \quad \text{se } x < x_0 \text{ (quadrático)} \quad (2)$$

$$Y = p + e \quad \text{se } x \geq x_0, \quad \text{(platô)} \quad (3)$$

em que:

Y é o teor médio de Zn na tibia referente a dose x de Zn. Dessa forma, para valores de x menores que x_0 , o modelo que descreve a resposta Y é uma função quadrática, e para valores de x maiores ou iguais a x_0 , a equação é uma constante ou platô. Para estimação dos parâmetros, o

modelo deve apresentar propriedades matemáticas adequadas, isto é, deve ser uma função contínua e diferenciável em x_0 . Esta condição implica que: $x_0 = -b/2c$ e $p = a - b^2/4c$, em que: x_0 é a dose máxima de Zn para uma máxima deposição de Zn do animal e o ponto de intercessão das duas linhas p é o platô, sendo a , b e c os parâmetros do modelo a serem estimados.

ii. Modelo Não-Linear Exponencial 1 com Resposta em Platô (MNLE1)

Considerou-se o seguinte modelo apresentado por Rezende et al. (2000).

$$Y = a \exp \left[-c(x-b)^2 \right] + e \quad (4)$$

se $x < x_0$ (exponencial)

$$Y = p + e \quad (5)$$

se $x \geq x_0$, (platô)

Da mesma forma que nos modelos (2) e (3), ao se derivar Y em relação a x , tem-se:

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{\partial \left\{ a \exp \left[-c(x-b)^2 \right] \right\}}{\partial x} = a \exp \left[-c(x-b)^2 \right] \left[-2c(x-b) \right]$$

Igualando-se o resultado da derivação a zero e resolvendo-se para $x = x_0$, obtém-se

$x_0 = b$. Substituindo-se x pelo valor de x_0 na equação inicial, encontra-se $p = f(x_0) = a \exp \left[-c(b-b)^2 \right]$, resultando em $p = a$, sendo x_0 o estimador da dose máxima de Zn, para uma máxima deposição de Zn, o ponto de intercessão das duas linhas; p é a estimador do platô, a , b e c são parâmetros do modelo a serem estimados.

Do ponto de vista da teoria da estimação, este modelo é considerado não-linear com relação a seus parâmetros, uma vez que as derivadas parciais dos parâmetros do segmento anterior ao ponto x_0 , o platô e o próprio x_0 são funções dos próprios parâmetros.

iii. Modelo Não-Linear Exponencial 2 com Resposta em Platô (MNLE2)

Considerou-se o modelo exponencial

$$Y = a \exp(bx - cx^2) + e \quad \text{se } x < x_0 \text{ (exponencial)} \quad (6)$$

$$Y = p + e \quad \text{se } x \geq x_0, \text{ (platô)} \quad (7)$$

em que Y é o teor de Zn do animal que recebeu a dose x de Zn e a , b , c são parâmetros do modelo.

Como apresentado nos modelos anteriores, a primeira derivada parcial deve ser idêntica no ponto $x = x_0$ para que a condição de continuidade das curvas antes e após o platô seja atendida. Assim, ao se derivar y em relação a x , tem-se:

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{\partial \left[a \exp(bx - cx^2) \right]}{\partial x} = a(b - 2cx) \exp(bx - cx^2)$$

Igualando-se o resultado da derivação a zero e resolvendo-se para $x = x_0$, obtém-se

$x_0 = \frac{b}{2c}$. Substituindo-se x pelo valor de x_0 na equação inicial, encontra-se

$$p = f(x_0) = a \exp \left[\frac{b^2}{2c} - c \left(\frac{b^2}{4c^2} \right) \right], \text{ que resulta em}$$

$$p = a \exp \left(\frac{b^2}{4c} \right) \text{ em que } x_0 \text{ é o estimador da dose máxima}$$

de Zn, para uma máxima deposição de Zn, o ponto de intercessão das duas linhas; p é a estimador do ponto do platô e a , b , c são parâmetros do modelo a serem estimados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 está apresentado o resumo da análise de variância.

TABELA 1 – Análise de variância e teste F para o teor de Zn em relação ao peso da tibia seca.

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio	
Experimento	1	32874,3261	**
Sexo	1	2375,0981	ns
Dose	8	21607,3303	**
Experimento × Sexo	1	2629,9378	*
Experimento × Dose	8	933,5284	ns
Sexo × Dose	8	434,3318	ns
Experimento × Sexo × Dose	8	72,0330	ns
Resíduo	252	673,4048	
Total	287	Coeficiente de variação 9,83%	

(**) significativo a 1% de probabilidade, (*) significativo a 5% de probabilidade e (ns) não-significativo.

Nota-se pelos resultados do teste F que houve significância para a fonte de variação Dose ($P < 0,01$), sendo não-significativa as interações Sexo × Dose e Experimento × Dose indicando que a resposta à dose de Zn independe do sexo e do experimento.

As médias do teor de Zn na tibia, com erro padrão 4,5873, para cada dose de Zn estão apresentadas na Tabela 2.

As equações obtidas, com seus correspondentes Coeficientes de Determinação assintóticos (R^2), dose máxima de Zn (x_0) e platô (p), estão apresentadas na Tabela 3.

Pode-se notar pelos resultados apresentados na Tabela 3 que, os valores do coeficiente de determinação (R^2) foram elevados e bem próximos para os diferentes modelos. Carrijo & Hochmuth (2000) e Cerrato & Blackmer (1990) comentam que o R^2 não é, isoladamente, um critério adequado para discussão de ajuste de modelos, pois, geralmente em ajuste de modelos não-lineares, é comum a obtenção de R^2 assintóticos altos e similares.

Observa-se também que os modelos não-lineares foram semelhantes, uma vez que apresentaram praticamente a mesma estimativa para x_0 e para p . Em relação à interpretação prática desses parâmetros, nas condições do presente trabalho, é possível inferir que a dose ideal de Zn na dieta de frangos de corte está próxima a 70 ppm a qual corresponde a um teor de Zn na tibia próximo a 280 ppm.

Quanto à escolha do melhor modelo, é preferível optar pelo modelo não-linear 1 (MNLE1) devido à sua maior praticidade relacionada com a facilidade de interpretação de x_0 e do platô, os quais correspondem, respectivamente, aos parâmetros b e a . O Modelo Polinomial Quadrático com platô (MPQ) apresentou um maior valor para x_0 , quando comparado com os modelos não-lineares. Este último resultado concorda com os obtidos por Coelho (1984), Euclides & Rostagno (2001), Morris (1983) e Runho et al. (2001), que afirmaram ter este modelo a característica de superestimar as exigências nutricionais do animal ou planta.

Na Tabela 4 está apresentado o teste de falta de ajuste para os três modelos estudados.

TABELA 2 – Médias estimadas pelo modelo (1) utilizadas no ajuste dos modelos de platô.

Dose de Zn	Média observada	Dose de Zn	Média observada
0	208,97	75	280,49
15	234,31	90	281,16
30	257,47	105	282,84
45	270,22	120	279,27
60	280,03	-----	-----

Os resultados apresentados na Tabela 4 comprovam que o teste F para os desvios de regressão foram não-significativos para todos os modelos, implicando na capacidade desses modelos em descrever os dados analisados, ou seja, não é rejeitada a hipótese dos modelos serem adequados.

Na Figura 2 estão representados os três modelos estudados.

Nota-se pela Figura 2 que todos os modelos apresentaram curvas muito semelhantes, havendo assim uma sobreposição que impede a identificação individual da dispersão gráfica de cada modelo.

TABELA 3 – Equações estimadas para os diferentes modelos, Coeficientes de Determinação assintóticos (R^2), dose máxima de Zn (x_0) e platô (p).

	Modelos	R^2	x_0	p
MPQ	$Y = 208,4413 + 2,0222 x - 0,014077 x^2$	0,9979	71,8	281,1
MNLE1	$Y = 280,9151 \exp \left[-0,00006372 (x - 68,1005)^2 \right]$	0,9980	68,1	280,9
MNLE2	$Y = 209,0390 \exp (0,008679 x - 0,00006372 x^2)$	0,9980	68,1	280,9

TABELA 4 – Análise de variância e teste F, verificando a falta de ajuste para os modelos analisados.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio		
		MPQ	MNLE1	MNLE2
Mod. Reg. não Corrigido	3	6741401,4536	6741408,1630	6741408,1630
Desvio de regressão	6	59,5414 ^{ns}	56,1867 ^{ns}	56,1867 ^{ns}
Resíduo	252	673,4048	673,4048	673,4048

^{ns} não-significativo pelo teste F.

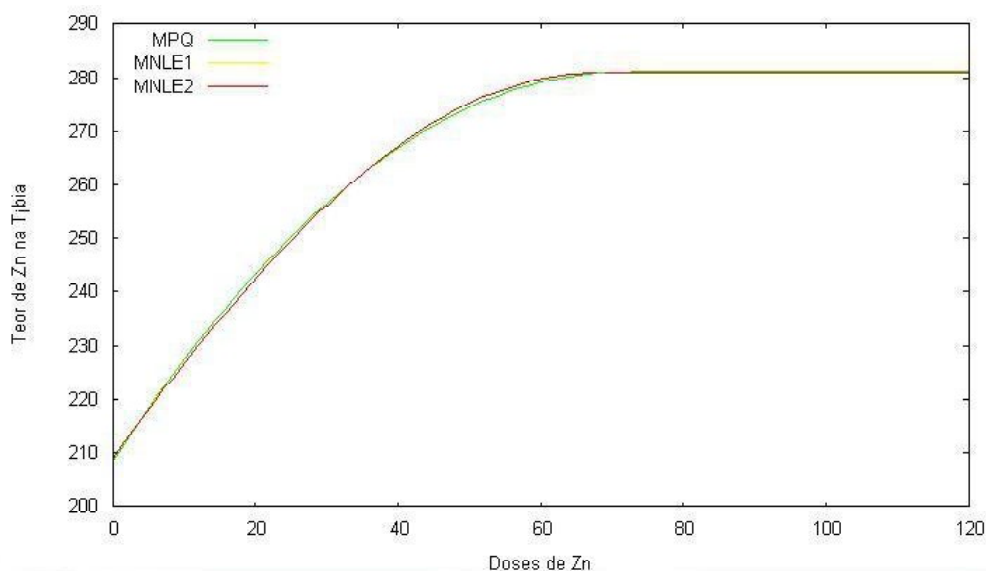


FIGURA 2 – Teor de Zn na tíbia de frangos de corte em função das doses de Zn na ração, para os três modelos estudados.

CONCLUSÕES

Todos os modelos avaliados mostraram-se adequados ao estudar a exigência de Zinco em frangos de corte, sendo impossível indicar aquele de maior qualidade.

O modelo não-linear 1 (MNLE1) é recomendado por ser de utilização mais prática, uma vez que fornece diretamente a dose máxima de Zn e o ponto inicial do platô de resposta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAKER, D. H. Problems and pitfalls in animal experiments designed to establish dietary requirements for essential nutrients. **Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 116, p. 2339-2349, 1986.
- BRAGA, J. M. **Avaliação da fertilidade do solo**: ensaios de campo. Viçosa: UFV, 1983. 101 p.
- BULLOCK, D. G.; BULLOCK, D. S. Quadratic and quadratic-plus-plateau models for predicting optimal nitrogen rate of corn: a comparison. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, p. 191-195, 1994.
- CARRIJO, O. A.; HOCHMUTH, G. **Estimativa do rendimento do tomateiro usando modelos estatísticos com teores iniciais de fósforo no solo e níveis de adubação fosfatada**: pesquisa em andamento nº 19 Embrapa/CNPB. Disponível em: <<http://www.cnpb.embrapa.br/pa/pa19.html>>. Acesso em: 10 set. 2000.
- CELLA, P. S.; DONZELE, J. L.; OLIVEIRA, R. F. M.; ALBINO, L. F. T.; FERREIRA, A. S.; GOMES, P. C.; VALERIO, S. R.; APOLONIO, L. R. Níveis de lisina mantendo a relação aminoacídica para frangos de corte no período de 1 a 21 dias de idade, em diferentes ambientes térmicos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 433-439, 2001.
- CERRATO, M. E.; BLACKMER, A. M. Comparison of models for describing corn yields response to nitrogen fertilizer. **Agronomy Journal**, Madison, v. 82, p. 138-143, 1990.
- COELHO, L. S. S. **Exigências de proteína e lisina para suínos de 15 a 30kg de peso vivo**. 1984. 139 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1984.
- COELHO, L. S. S.; COSTA, P. M. A.; SILVA, M. A.; PEREIRA, J. A. A.; ROSTAGNO, H. S.; BARBOSA, H. P. Modelos para estimar exigências nutricionais em suínos. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 16, n. 1, p. 102-110, 1987.
- EUCLYDES, R. F.; ROSTAGNO, H. S. **Estimativa dos níveis nutricionais via experimentos de desempenho** [mensagem pessoal]. Texto enviado por <rostagno@ufv.br> em 20 set. 2001. Palestra proferida no Workshop Latino Americano Anjinomoto Biolatina, em Foz do Iguaçu, 18-20 de junho de 2001.
- FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do SISVAR para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA (RBRAS), 45., 2000, São Carlos, SP. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.
- FIGUEIREDO, D. F.; TORAL, F. L. B.; GARCIA, J.; MURAKAMI, A. E.; FURLAN, A. C. Níveis nutricionais de sódio para poedeiras pós-muda forçada. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 841-843.
- GOMES, P. C.; GOMES, M. F. M.; ALBINO, L. F. T.; FIALHO, F. B.; LIMA, G. J. M. M. de; FIGUEIREDO, E. A. P. Exigência de fósforo disponível para frangos de corte nas fases de crescimento e terminação. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 615-622, 1994.
- MORRIS, T. R. The interpretation of response data from animal feeding trials. In: HARESIGN, W. **Recent advances in animal nutrition**. London: Butterworths, 1983. p. 13-23.
- OLIVEIRA, A. L. S.; DONZELE, J. L.; OLIVEIRA, R. F. M.; FERREIRA, A. S.; COTA, T. S.; GENEROSO, R. R. Níveis de lisina para suínos machos castrados de alto potencial genético para deposição de carne magra dos 95 aos 110kg. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 817-819.
- PACK, M. Models used to estimate nutrient requirements with emphasis on economic aspects. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NUTRITIONAL REQUIREMENTS OF POULTRY AND SWINE; SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE AVES E SUÍNOS, 1996, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: UFV, 1996. p. 43-54.

- REZENDE, D. M. L. C.; MUNIZ, J. A.; FERREIRA, D. F. Proposição de um modelo não linear com response plateau. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA (RBRAS), 45., 2000, São Carlos, SP. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 96-99.
- ROBBINS, K. R.; NORTON, H. W.; BAKER, D. H. Estimation of nutrient requirements from growth data. **Journal of Nutrition**, Baltimore, v. 109, p. 1710-1714, 1979.
- RUNHO, R. C.; GOMES, P. C.; ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; LOPES, P. S.; POZZA, P. C. Exigência de fósforo disponível para frangos de corte machos e fêmeas de 1 a 21 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 187-196, 2001.
- SAS INSTITUTE. **SAS STAT user's guide**: version 6. 4. ed. Cary, 1989. v. 2.
- SASINSTITUTE. **SAS language and procedures**: usage. Version 6. Cary, 1995. 373 p.
- TEIXEIRA, A. S. **Exigências nutricionais de zinco e sua biodisponibilidade em sulfatos e óxidos de zinco para pintos de corte**. 1994. 172 f. Tese (Doutorado em Desempenho Animal) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

ANEXO (ROTINAS SAS®)

No Quadro 1 está apresentada a rotina para a estimação dos parâmetros a , b , c , do ponto x_0 e do platô por meio do modelo MPQ para a variável teor de Zn na tibia em ppm. Esta rotina para o MPQ está apresentada nas páginas 1162 a 1165 do manual do SAS Institute (1989).

```

Title 'Modelo de Response Plateau – modelo quadrático';
data aa;
input x y @@;
cards;
  0 208.974062 15 234.312812
 30 257.473750 45 270.220000
 60 280.032188 75 280.487187
 90 281.161563 105 282.844375
120 279.265938
;
proc nlin data aa method=dud;
parms a=120 b=5 c=-0.001;
file print;
  x0=-0.5*b/c;
  db=-0.5/c;
  dc=0.5*b/c**2;
  if x<x0 then
  do;
    model y=a+b*x+c*x*x;
    der.a=1;
    der.b=x;
    der.c=x*x;
  end;
  else
  do;
    model y=a+b*x0+c*x0*x0;
    der.a=1;
    der.b=x0+b*db+2*c*x0*db;
    der.c=b*dc+x0*x0+2*c*x0*dc;
  end;
  if _obs_=1 & _model_=1 then
  do;
    plateau=a+b*x0+c*x0*x0;
    put x0= plateau=;
  end;
output out=ba predicted=yp parms=a b c ess=sqe r=res;
run; quit;
proc plot data=ba;
  plot y*x yp*x='*' / overlay vpos=35;
run; quit;

```

QUADRO 1 – Rotina SAS® para o MPQ.

No Quadro 2 está apresentada a rotina para a estimação dos parâmetros a , b , c , do ponto x_0 e do platô por meio do modelo MNLE1 para a variável teor de Zn na tibia em ppm.

```

Title 'Modelo de Response Plateau – modelo não-linear exponencial 1';
data aa;
input x y @@;
cards;
  0 208.974062 15 234.312812
 30 257.473750 45 270.220000
 60 280.032188 75 280.487187
 90 281.161563 105 282.844375
120 279.265938
;
proc nlin data=aa method=dud;
parms a=120 b=50 c=0.001;
file print;
  x0=b;
  db=1;
  if x<x0 then
  do;
    model y=a*exp(-c*(x-b)**2);
    der.a=exp(-c*(x-b)**2);
    der.b=2*a*c*(x-b)*exp(-c*(x-b)**2);
    der.c=-a*(x-b)**2*exp(-c*(x-b)**2);
  end;
else
do;
  model y=a*exp(-c*(x0-b)**2);
  der.a=exp(-c*(x0-b)**2);
  der.b=0;
  der.c=-a*(x0-b)**2*exp(-c*(x0-b)**2);
end;
if _obs_=1 & _model_=1 then
do;
  plateau=a*exp(-c*(x0-b)**2);
  put x0= plateau=;
end;
output out=ba predicted=yp parms=a b c ess=sqe r=res;
run; quit;
proc plot data=ba;
  plot y*x yp*x='*' / overlay vpos=35;
run; quit;

```

QUADRO 2 – Rotina SAS® para o MNLE1.

No Quadro 3 está apresentada a rotina para a estimação dos parâmetros a , b , c , do ponto x_0 e do platô por meio do modelo MNLE2 para a variável teor de Zn na tibia em ppm.

```

Title 'Modelo de Response Plateau – modelo não-linear exponencial 2';
data aaa;
input x y @@;
cards;
  0 208.974062 15 234.312812
 30 257.473750 45 270.220000
 60 280.032188 75 280.487187
 90 281.161563 105 282.844375
120 279.265938
;
proc nlin data=aaa method=dud;
parms a=120 b=0.05 c=0.001;
file print;
  x0=0.5*b/c;
  db=0.5/c;
  dc=-0.5*b/(c*c);
if x<x0 then
do;
  model y=a*exp(b*x-c*x*x);
  der.a=exp(b*x-c*x*x);
  der.b=a*x*exp(b*x-c*x*x);
  der.c=-a*x*x*exp(b*x-c*x*x);
end;
else
do;
  model y=a*exp(b*x0-c*x0*x0);
  der.a=exp(b*x0-c*x0*x0);
  der.b=(x0+b*db-2*c*db*x0)*a*exp(b*x0-c*x0*x0);
  der.c=(b*dc-x0*x0-2*c*dc*x0)*a*exp(b*x0-c*x0*x0);
end;
if _obs_=1 & _model_=1 then
do;
  plateau=a*exp(b*x0-c*x0*x0);
  put x0= plateau=;
end;
output out=bca predicted=yp parms=a b c ess=sqe r=res;
run; quit;
proc plot data=ba;
  plot y*x yp*x='*' / overlay vpos=35;
run; quit;

```

QUADRO 3 – Rotina SAS® para o MNLE2.