

Modelos de norma de reação para estudo das características de qualidade da carne de codornas de corte em função das razões (metionina + cistina): lisina da dieta

[Reaction norm models for the study of meat quality of European quail in function of (methionine + cysteine): lysine diet ratio]

R.C. Veloso¹, L.R.A. Abreu², L.F.M. Mota², M.R. Castro², M.A. Silva²,
A.V. Pires², H.J.D'A. Lima³, C.A. Boari²

¹Universidade Federal de Viçosa – Viçosa, MG

²Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – Diamantina, MG

³Universidade Federal de Mato Grosso – Cuiabá, MS

RESUMO

Objetivou-se avaliar a sensibilidade dos valores genéticos para características de qualidade da carne em codornas de corte alimentadas com dietas contendo diferentes relações de (metionina + cistina): lisina, do nascimento aos 21 dias de idade, por meio de modelos de normas de reação. Utilizaram-se 9011 informações de qualidade de carne referentes a 1400 progênies de 80 reprodutores e 160 matrizes de duas linhas (LF1 e LF2). Para o ajuste dos modelos de regressão aleatória, foi usado o programa WOMBAT, considerando-se nas análises homogeneidade de variância residual. As codornas foram alimentadas do nascimento aos 21 dias de idade com dietas contendo as relações 0,61; 0,66; 0,71; 0,76 e 0,81 de (metionina + cistina): lisina, mantendo os níveis de proteína bruta de 26,12% e de energia em 2900 kcal EM/kg da dieta. Dos 22 aos 35 dias de idade, todas as codornas foram alimentadas com dieta contendo 22% de proteína bruta e 3050 kcal EM/kg da dieta. As estimativas da variância genética e da herdabilidade foram influenciadas pelo gradiente ambiental e pela linha, com mudanças nessas estimativas com o aumento do gradiente ambiental. Os valores genéticos das características de qualidade de carne referentes a cada uma das linhas se alteraram com o aumento das relações de aminoácidos das dietas em razão das mudanças no ordenamento dos valores genéticos, evidenciando a existência da interação genótipo x nível de relação dos aminoácidos da dieta para características de qualidade de carne. Predições de valores genéticos de características de qualidade de carne com base em determinada relação de (metionina + cistina): lisina da dieta não são válidas para outras relações desses aminoácidos.

Palavras-chave: avaliação genética, homogeneidade de variância, interação genótipo x ambiente, variância genética

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the sensitivity of breeding values for meat quality traits of European quails fed different (methionine + cystine): lysine ratio diets from hatch to 21 days of age, using reaction norm models. A total of 9011 meat quality records from 1400 progenies of 80 sires and 160 dams from two lines (LF1 and LF2) were used in the analyses considering homogeneity of residual variance. The quails from hatch to 21 days of age were fed diets containing 0.61, 0.66, 0.71, 0.76 and 0.81 (methionine + cystine): lysine ratios, 26.12% of crude protein and 2900 ME/kcal of diet. From 22 to 35 days of age all quail were fed a diet containing 22% of crude protein and 3050 kcal ME/kg of diet. The random regression model analyses was performed using the WOMBAT program considering homogeneity of residual variance. Genetic variance and heritability estimates were affected by the environment gradient of diet and line, increasing these estimates with the increase of the (methionine + cystine): lysine ratio of the diet. The breeding values changed with the increase of the environment gradient of the diet with changes in the rank of genetic breeding values characterizing the existence of genotype by environment interaction for meat quality traits. Predictions of meat quality trait breeding values based on a given (methionine + cystine): lysine ratio are not valid for other levels of the amino acid ratio.

Keywords: genetic evaluation, homogeneity of residual variance, genetic variance, genotype x environment interaction

Recebido em 26 de agosto de 2014

Aceito em 7 de abril de 2015

E-mail: velosozootecnista@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

As dietas das codornas, formuladas à base de milho e farelo de soja, são deficientes, entre outros aminoácidos, em metionina e cistina, que são fisiologicamente essenciais para o desenvolvimento e o desempenho normal das codornas. Dessa forma, as dietas devem ser suplementadas com aminoácidos sintéticos (Pinto *et al.*, 2003).

Nos modelos de avaliação genética, podem ocorrer estimativas de variâncias genéticas de baixa acurácia para características que apresentam modificações na variância genética ou na ordem de classificação dos valores genéticos em função do ambiente, evidenciando, assim, a interação genótipo x ambiente (Falconer e MacKay, 1996). Nesse caso, a predição do valor genético do animal deve ser feita no nível nutricional semelhante àquele em que a codorna é criada.

O estudo de diferenças na sensibilidade dos valores genéticos pode ser feito utilizando-se norma de reação, que é definida como a mudança sistemática na expressão média de uma característica fenotípica que ocorre em resposta à mudança sistemática de uma variável ambiental (Jong, 1990). Os modelos de regressão aleatória (Kirkpatrick *et al.*, 1990) são utilizados para a predição das normas de reação, pois, nesses modelos de regressão, as características são consideradas como funções contínuas de um gradiente ambiental, como, por exemplo, diferentes níveis de aminoácidos da dieta.

Nesse contexto, objetivou-se investigar a presença de interação genótipo x nível de razão (metionina + cistina): lisina da dieta sobre as características de qualidade da carne, em duas linhas de codornas de corte, por intermédio de modelos de normas de reação.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de codornas de corte utilizados foram provenientes de um experimento realizado nas instalações do Programa de Melhoramento Genético de Codornas da UFVJM, Diamantina-MG, e aprovado de acordo com as normas do Comitê de Ética e Biossegurança da UFVJM nº. 032/2012.

Utilizou-se um total de 9011 informações de qualidade de carne referentes a 1400 progênes de 80 reprodutores e 160 matrizes de cada linha (LF1 e LF2), alimentadas à vontade do nascimento aos 21 dias de idade com dietas contendo as relações 0,61; 0,66; 0,71; 0,76 e 0,81 de (metionina + cistina): lisina, mantendo-se o nível de proteína bruta de 26,12% e 2900 kcal EM/kg da dieta (Tab. 1). A partir dos 22 aos 35 dias de idade (abate), todas as codornas foram alimentadas à vontade com dieta contendo 22% de proteína bruta e 3050 kcal EM/kg (Tab. 2).

Para o abate, as codornas foram submetidas a jejum alimentar de seis horas. Uma hora antes do abate, foram transportadas para a sala de abate, provida de luz azul; em seguida, foram pesadas e insensibilizadas por deslocamento cervical e abatidas, realizando-se a sangria por três minutos. Logo após, foram escaldadas em temperatura de 60 a 70°C por 30 segundos, depenadas e evisceradas, e as carcaças resfriadas, por 24 horas, à temperatura de aproximadamente 2°C.

As análises da qualidade da carne foram realizadas no Setor de Ciências e Tecnologias de Produtos de Origem Animal – CTPOA, do DZO/UFVJM. As variáveis analisadas foram pH, capacidade de retenção de água (CRA), perda de peso por cozimento (PPC), maciez objetiva e cor; os parâmetros de coloração avaliados foram luminosidade (L*), teor de vermelho (a*), teor de amarelo (b*), índice de saturação (c*) e tonalidade (H*).

O pH foi mensurado na carne do peito (*Pectoralis major*) resfriado (0±2°C) por 24 horas após o abate, pela utilização de potenciômetro MS Tecnopon mPA-210 acoplado com eletrodo de penetração tipo espada com perfil cônico. A capacidade de retenção de água (CRA) foi determinada pela disposição de frações de 0,5g da carne do peito resfriado entre dois discos de papel-filtro e estes entre duas placas de vidro (12x12x1cm), sob peso de 10kg por cinco minutos (Ramos, 2007). A capacidade de retenção de água foi calculada pela relação entre o peso final e o inicial das amostras, expressa em porcentagem.

Para as análises de perda de peso por cocção, amostras de filés de peito íntegros foram embaladas em papel laminado, sendo cozidas em

uma chapa metálica de dupla face, com aquecimento em ambas as faces, pré-aquecida e regulada para 180°C, onde cada lado do filé permaneceu por quatro minutos, totalizando oito minutos de cozimento ou até atingir temperatura interna de 82 a 85°C. Após o cozimento, os filés foram retirados do papel laminado e resfriados

sobre papel absorvente à temperatura ambiente. Posteriormente, as amostras foram pesadas para averiguação da perda de peso antes e após o cozimento. A diferença entre o peso inicial (peito *in natura*) e final (peito cozido) correspondeu à perda de peso por cocção (Honikel, 1987).

Tabela 1. Composição das dietas utilizadas para codornas de corte do nascimento aos 21 dias de idade

| Ingredientes (g/kg) | Relações (metionina + cistina): lisina | | | | |
|------------------------------------|--|----------|----------|----------|----------|
| | 0,61 | 0,66 | 0,71 | 0,76 | 0,81 |
| Milho moído | 50,97 | 50,97 | 50,97 | 50,97 | 50,97 |
| Farelo de soja (45% PB) | 34,11 | 34,11 | 34,11 | 34,11 | 34,11 |
| Glúten de milho (60%) | 10,00 | 10,00 | 10,00 | 10,00 | 10,00 |
| Calcário calcítico | 1,22 | 1,22 | 1,22 | 1,22 | 1,22 |
| Fosfato bicálcico | 1,16 | 1,16 | 1,16 | 1,16 | 1,16 |
| Sal comum | 0,38 | 0,38 | 0,38 | 0,38 | 0,38 |
| Mistura mineral ⁽¹⁾ | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 |
| Mistura vitamínica ⁽²⁾ | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 |
| Cloreto de colina (60%) | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| L- lisina HCl (78%) | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 |
| DL- metionina (99%) | 0,00 | 0,07 | 0,13 | 0,19 | 0,25 |
| L- treonina | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 |
| L- isoleucina | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 |
| L- arginina | 0,34 | 0,34 | 0,34 | 0,34 | 0,34 |
| L- glutâmico | 0,50 | 0,43 | 0,36 | 0,31 | 0,24 |
| Amido | 0,50 | 0,50 | 0,51 | 0,50 | 0,51 |
| Total | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| Composição calculada | | | | | |
| Energia metabolizável (kcal/kg) | 2900,000 | 2900,000 | 2900,000 | 2900,000 | 2900,000 |
| Proteína bruta (%) | 26,120 | 26,120 | 26,120 | 26,120 | 26,120 |
| Cálcio (%) | 0,850 | 0,850 | 0,850 | 0,850 | 0,850 |
| Fósforo disponível (%) | 0,320 | 0,320 | 0,320 | 0,320 | 0,320 |
| Sódio (%) | 0,170 | 0,170 | 0,170 | 0,170 | 0,170 |
| Fibra bruta (%) | 2,720 | 2,720 | 2,720 | 2,720 | 2,720 |
| Aminoácidos digestíveis (%) | | | | | |
| Lisina | 1,250 | 1,250 | 1,250 | 1,250 | 1,250 |
| Metionina +cistina | 0,760 | 0,830 | 0,890 | 0,950 | 1,010 |
| Triptofano | 0,212 | 0,212 | 0,212 | 0,212 | 0,212 |
| Treonina | 0,987 | 0,987 | 0,987 | 0,987 | 0,987 |
| Arginina | 1,798 | 1,798 | 1,798 | 1,798 | 1,798 |
| Isoleucina | 1,075 | 1,075 | 1,075 | 1,075 | 1,075 |
| Valina | 1,104 | 1,104 | 1,104 | 1,104 | 1,104 |

¹Composição/kg de produto: manganês: 160g, ferro: 100g, zinco: 100g, cobre: 20g, cobalto: 2g, iodo: 2g, excipiente q.s.p.: 1000g.

²Composição/kg de produto: vit. A:12.000.000U.I., vit D₃:3.600.000U.I., vit. E: 3.500U.I., vit B₁: 2.500mg, vit B₂: 8.000mg, vit B₆: 5.000mg, ácido pantotênico: 12.000mg, biotina: 200mg, vit. K: 3.000mg, ácido fólico: 1.500mg, ácido nicotínico: 40.000mg, vit. B₁₂: 20.000mg, selênio: 150mg, veículo q.s.p.: 1.000g.

Tabela 2. Composição da dieta utilizada para codornas de corte dos 22 aos 35 dias de idade

| Ingredientes (g/kg) | (%) |
|-----------------------------------|----------|
| Milho moído | 58,4800 |
| Farelo de soja (45% PB) | 37,7900 |
| Calcário calcítico | 0,9337 |
| Fosfato bicálcico | 0,8183 |
| Sal comum | 0,3441 |
| Óleo de soja | 1,0407 |
| Mistura mineral ⁽¹⁾ | 0,2000 |
| Mistura vitamínica ⁽²⁾ | 0,2000 |
| L- lisina HCl (78%) | 0,0000 |
| DL- metionina (99%) | 0,1776 |
| Total | 100,0000 |
| Composição calculada | |
| Energia metabolizável (kcal/kg) | 3050 |
| Proteína bruta (%) | 22,0000 |
| Cálcio (%) | 0,7000 |
| Fósforo disponível (%) | 0,2700 |
| Sódio (%) | 0,1500 |

¹Composição/kg de produto: manganês: 160g, ferro: 100g, zinco: 100g, cobre: 20g, cobalto: 2g, iodo: 2g, excipiente q.s.p.: 1000 g.

²Composição/kg de produto: vit. A:12.000.000 U.I., vit D₃:3.600.000 U.I., vit. E: 3.500 U.I., vit B₁: 2.500mg, vit B₂: 8.000mg, vit B₆: 5.000mg, ácido pantotênico: 12.000mg, biotina: 200mg, vit. K: 3.000mg, ácido fólico: 1.500mg, ácido nicotínico: 40.000mg, vit. B₁₂: 20.000mg, selênio: 150mg, veículo q.s.p.: 1.000g.

A força de cisalhamento foi determinada por texturômetro TA.XT2 plus[®] Stable Micro Systems acoplado a uma lâmina de cisalhamento retangular padrão Warner-Bratzler com espessura de 1,016mm e com lâmina de 3,05mm. Os dados (picos positivos máximos) foram obtidos empregando-se o programa Exponent Lite versão 5.1 (Stable Micro Systems). O equipamento foi calibrado com peso padrão de 5kg, e a velocidade de descida e corte do dispositivo foi de 200mm min.⁻¹. Para o procedimento, foram utilizadas amostras remanescentes da análise da perda de peso por cocção, das quais foram retiradas subamostras em forma de paralelepípedos de 1x1x2cm (altura, largura e comprimento, respectivamente), sendo dispostas no equipamento com as fibras orientadas no sentido perpendicular à lâmina.

A coloração foi determinada por uso de colorímetro Chroma Meter CR-400 (Konica Minolta), no sistema CIELAB, sendo avaliados a luminosidade (L*), o teor de vermelho (a*) e o teor de amarelo (b*) em espectrofotômetro. Foram, então, calculados os índices de saturação [C=(A²+B²)^{1/2}] e de tonalidade [H=arctang(B/A)].

O modelo considerado para análise das características foi o modelo animal unicaracterística com regressões aleatórias. Os efeitos fixos de sexo e genéticos aditivos aleatórios foram modelados como funções lineares de polinômios ortogonais de Legendre ponderados por coeficientes de regressão (fixos ou aleatórios, de acordo com o efeito). O mesmo modelo de avaliação utilizado nos 18 arquivos (combinação das características de qualidade da carne e linha) foi definido como:

$$y_{hij} = \sum_{k=0}^1 b_{jk} \Phi_k(p_i) + \sum_{k=0}^1 a_{hk} \Phi_k(p_i) + e_{hij},$$

em que:

y_{hij} é a observação do animal h , do sexo j , alimentado com dieta de relação (metionina+cistina): lisina i ; b_{jk} é o coeficiente de regressão fixo associado ao polinômio Legendre k atribuído ao sexo j ; a_{hk} é o coeficiente de regressão aleatória k de efeito genético aditivo direto atribuído ao animal h ; $\Phi_k(p_i)$ é o polinômio de Legendre k normalizado atribuído à relação (metionina + cistina): lisina transformada (escala de -1 a 1) na coleta da observação i ; e e_{hij} é o resíduo associado à observação y_{hij} , o único efeito que não foi considerado uma função da relação de (metionina + cistina): lisina da dieta.

Na forma matricial, este modelo é especificado como: $y = Xb + Za + e$,

em que: y é o vetor de observações; b é o vetor de coeficientes de regressão da trajetória fixa e de cada sexo; a é o vetor de coeficientes de regressão aleatória atribuídos aos efeitos genéticos aditivos diretos; X e Z são matrizes de incidência de efeitos em b e a , contendo polinômios de Legendre relativos a relação (metionina + cistina):lisina da dieta utilizado na observação; e e é o vetor de resíduos.

Considera-se, ainda, que: $E(y) = XB$;

$$G = \begin{bmatrix} \sigma_{b_0}^2 & \sigma_{b_0 b_1} \\ \sigma_{b_0 b_1} & \sigma_{b_1}^2 \end{bmatrix};$$

$$V(y) = Z(A \otimes G)Z' + I_n \sigma_e^2; e$$

$$V \begin{bmatrix} a \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \otimes G & \Phi \\ \Phi & I_n \sigma_e^2 \end{bmatrix}, \text{ em que:}$$

$\sigma_{b_0}^2$ e $\sigma_{b_1}^2$ são componentes de variância atribuídos aos coeficientes de regressão

$$\sigma_{a_{ij}} = Z_i G Z_j', \text{ em que: } Z_i = [\Phi_0(i) \quad \Phi_1(i)] \text{ e } Z_j = [\Phi_0(j) \quad \Phi_1(j)].$$

Uma vez estimada a estrutura de variância genética para as características de qualidade da carne [pH, capacidade de retenção de água (CRA), luminosidade (L*), teor de vermelho (a*), teor de amarelo (b*), índice de saturação (c*), tonalidade (H*), perda de peso por cocção (PPC) e maciez objetiva (MO)], as herdabilidades diretas dessas características podem ser estimadas para qualquer ponto entre 0,61 e 0,81 da relação (metionina + cistina): lisina, da seguinte maneira:

$$h_{di}^2 = \frac{Z_i G Z_i'}{Z_i G Z_i' + \sigma_e^2}, \text{ em que } i \text{ representa a relação (metionina + cistina): lisina da dieta.}$$

Os componentes de covariância atribuídos a cada efeito aleatório foram estimados por meio do programa WOMBAT (Meyer, 2006), que utiliza a máxima verossimilhança restrita (REML). Funções de covariância foram utilizadas para estimar a estrutura de covariância genética aditiva e a herdabilidade direta em função da relação (metionina + cistina): lisina da dieta.

constante e linear do efeito genético aditivo direto; $\sigma_{b_0 b_1}$ é o componente de covariância entre os coeficientes de regressão constante e linear do efeito genético aditivo direto; σ_e^2 é o componente de variância residual; A é a matriz de numeradores do coeficiente de parentesco de Wright; e n é o número de observações.

Após a obtenção de G , estimações das variâncias e covariâncias genéticas aditivas diretas para qualquer relação (metionina + cistina): lisina tornaram-se possíveis e foram obtidas por meio de funções de covariância (Kirkpatrick *et al.*, 1990). Com base nessas funções, foi obtida a estrutura de covariância genética aditiva direta em função da relação (metionina + cistina): lisina. Assim, a covariância genética aditiva direta entre as relações (metionina + cistina): lisina i e j $\sigma_{a_{ij}}$ foi obtida por:

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De maneira geral, a variância estimada para o coeficiente de regressão aleatória do intercepto (b_0) foi maior do que a estimada para o coeficiente de regressão aleatória linear (b_1) (Tab. 3). Os dois coeficientes apresentaram, para a LF1, correlação positiva para a maioria das características de qualidade da carne, exceto para pH, b^* e H^* , que apresentaram valores negativos. Essas correlações positivas indicam que quanto maior o valor do intercepto, mais positiva será a inclinação na reta que descreve a sensibilidade das codornas à mudança da relação (metionina + cistina): lisina da dieta. As correlações entre coeficientes de regressão aleatória do intercepto e do linear para o efeito genético aditivo direto para a LF2 foram todas negativas, exceto para pH. As correlações negativas indicam que os valores genéticos dessas características de qualidade de carne respondem de forma negativa ao aumento da relação (metionina + cistina): lisina da dieta.

Tabela 3. Componentes de (co)variância atribuídos aos coeficientes de regressão aleatórios do intercepto (b_0) e linear (b_1) do efeito genético aditivo direto em função da relação (metionina + cistina): lisina e componentes de variância residuais estimados para as características de qualidade da carne de codornas de corte das linhas LF1 e LF2

| Linha | Fator ¹ | $\sigma_{b_0b_1}$ | $\sigma_{b_0}^2$ | $\sigma_{b_1}^2$ | σ_e^2 | $r_{b_0b_1}$ |
|-------|--------------------|-------------------|------------------|------------------|--------------|--------------|
| LF1 | pH | -0,0006 | 0,0039 | 0,0002 | 0,0115 | -0,70 |
| | CRA | 0,3534 | 1,0607 | 0,1422 | 9,3440 | 0,90 |
| | L* | 0,0447 | 0,5171 | 0,0069 | 4,5588 | 0,75 |
| | a* | 0,2826 | 1,3384 | 0,0645 | 2,1881 | 0,96 |
| | b* | -0,1540 | 0,2922 | 0,0852 | 1,6385 | -0,98 |
| | c* | 0,2562 | 1,1162 | 0,0640 | 2,3071 | 0,96 |
| | H* | -4,3354 | 8,6889 | 2,3111 | 42,2432 | -0,97 |
| | PPC | 1,0191 | 3,1764 | 18,6252 | 18,6252 | 0,36 |
| | MO | 0,0162 | 0,0169 | 0,0377 | 0,4573 | 0,64 |
| LF2 | pH | 0,0002 | 0,0072 | 0,0001 | 0,0126 | 0,21 |
| | CRA | -0,4848 | 3,5657 | 0,1650 | 8,4276 | -0,63 |
| | L* | -0,1108 | 1,9179 | 0,0202 | 3,9786 | -0,56 |
| | a* | -0,0847 | 1,2989 | 0,0089 | 2,2011 | -0,79 |
| | b* | -0,0476 | 0,4685 | 0,0163 | 1,6103 | -0,55 |
| | c* | -0,0650 | 1,0934 | 0,0068 | 2,0610 | -0,76 |
| | H* | -2,2369 | 13,2246 | 1,0402 | 47,1210 | -0,60 |
| | PPC | -0,2835 | 3,7699 | 0,0536 | 19,7807 | -0,63 |
| | MO | -0,0171 | 0,0764 | 0,0205 | 0,3583 | -0,43 |

¹CRA: capacidade de retenção de água; L*: luminosidade; a*: teor de vermelho; b*: teor de amarelo; c*: índice de saturação; H*: tonalidade; PPC: perda de peso por cocção; MO: maciez objetiva.

De acordo com Su *et al.* (2006), as modificações na ordem de classificação dos valores genéticos ocorrem quando o valor da correlação entre os coeficientes de regressão aleatória do intercepto e linear é distante da unidade positiva. Neste trabalho, os coeficientes de regressão aleatória do intercepto e linear estimados para a LF1 apresentaram alta correlação entre si (Tab. 3) para as características CRA, a*, b*, c* e H*, o que indica que a ordem de classificação dos valores genéticos preditos pouco se altera em diferentes níveis da relação (metionina + cistina): lisina da dieta, mas ocorrem alterações nos valores genéticos das características de qualidade de carne. A linha LF2 apresentou comportamento diferente da LF1, pois os coeficientes de regressão aleatório do intercepto e o coeficiente linear do efeito genético aditivo direto foram todos distantes da unidade e, para as características de pH e MO, esses valores foram muito baixos, indicando reordenamento na classificação dos animais. Este resultado mostra que, quando as correlações são positivas, maiores valores genéticos aditivos para as características de qualidade da carne no ambiente médio [relação (metionina + cistina): lisina igual a zero,

numa escala de -1 a 1] respondem de maneira positiva ao aumento da relação (metionina + cistina): lisina da dieta, sendo o contrário verdadeiro. Isso é mais importante para os valores genéticos da linhagem LF1 para as características que apresentam altas correlações. Dessa maneira, avaliações genéticas realizadas com determinado nível da relação (metionina + cistina): lisina da dieta não permitiriam a predição de valores genéticos válidos para outros níveis das relações (metionina + cistina): lisina da dieta, entretanto as codornas de maior valor genético no ambiente de seleção apresentariam superioridade também em outras relações (metionina + cistina): lisina no intervalo considerado, com exceção para as características de PPC e MO da linhagem LF1 e para MO da LF2.

Houve mudança no valor da herdabilidade e da variância genética para todas as características e linhas com a mudança da relação (metionina + cistina): lisina (Tab. 4). Para a LF1, houve aumento da herdabilidade das características pH, CRA, L* e c*, com o aumento dos níveis da relação (metionina + cistina): lisina, o que mostra

que a seleção se torna eficaz quando praticada em níveis elevados da relação (metionina + cistina): lisina. Para a LF2, observou-se uma diminuição da herdabilidade em todas as características de qualidade de carne, com o

aumento dos níveis da relação (metionina + cistina): lisina, o que indica que a seleção seria mais eficiente se fosse praticada em níveis mais baixos da relação (metionina + cistina): lisina.

Tabela 4. Estimativas de herdabilidade (h^2) e variância genética (σ_A^2) para as características de qualidade da carne de codornas de corte das linhas LF1 e LF2

| Linha | Fator ¹ | | Relação (metionina + cistina): lisina | | | | |
|-------|--------------------|--------------|---------------------------------------|------|------|------|------|
| | | | 0,61 | 0,66 | 0,71 | 0,76 | 0,81 |
| LF1 | pH | h^2 | 0,23 | 0,18 | 0,15 | 0,12 | 0,09 |
| | | σ_A^2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | CRA | h^2 | 0,01 | 0,03 | 0,05 | 0,09 | 0,13 |
| | | σ_A^2 | 0,13 | 0,28 | 0,53 | 0,89 | 1,36 |
| | L* | h^2 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,07 |
| | | σ_A^2 | 0,19 | 0,22 | 0,26 | 0,30 | 0,35 |
| | a* | h^2 | 0,11 | 0,17 | 0,23 | 0,30 | 0,36 |
| | | σ_A^2 | 0,28 | 0,45 | 0,67 | 0,94 | 1,26 |
| | b* | h^2 | 0,25 | 0,16 | 0,08 | 0,03 | 0,00 |
| | | σ_A^2 | 0,54 | 0,31 | 0,15 | 0,04 | 0,01 |
| | c* | h^2 | 0,08 | 0,14 | 0,19 | 0,26 | 0,32 |
| | | σ_A^2 | 0,21 | 0,36 | 0,56 | 0,80 | 1,10 |
| | H* | h^2 | 0,27 | 0,18 | 0,09 | 0,03 | 0,01 |
| | | σ_A^2 | 15,32 | 8,97 | 4,34 | 1,46 | 0,30 |
| PPC | h^2 | 0,16 | 0,08 | 0,08 | 0,16 | 0,28 | |
| | σ_A^2 | 3,62 | 1,65 | 1,59 | 3,42 | 7,15 | |
| MO | h^2 | 0,07 | 0,02 | 0,02 | 0,07 | 0,16 | |
| | σ_A^2 | 0,04 | 0,01 | 0,01 | 0,04 | 0,09 | |
| LF2 | pH | h^2 | 0,23 | 0,18 | 0,15 | 0,12 | 0,09 |
| | | σ_A^2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | CRA | h^2 | 0,25 | 0,21 | 0,17 | 0,14 | 0,12 |
| | | σ_A^2 | 2,87 | 2,26 | 1,78 | 1,42 | 1,19 |
| | L* | h^2 | 0,23 | 0,21 | 0,19 | 0,18 | 0,17 |
| | | σ_A^2 | 1,18 | 1,06 | 0,96 | 0,87 | 0,80 |
| | a* | h^2 | 0,27 | 0,25 | 0,23 | 0,21 | 0,19 |
| | | σ_A^2 | 0,81 | 0,73 | 0,65 | 0,58 | 0,52 |
| | b* | h^2 | 0,17 | 0,15 | 0,13 | 0,11 | 0,10 |
| | | σ_A^2 | 0,34 | 0,28 | 0,23 | 0,20 | 0,18 |
| | c* | h^2 | 0,25 | 0,23 | 0,21 | 0,19 | 0,18 |
| | | σ_A^2 | 0,67 | 0,61 | 0,55 | 0,49 | 0,44 |
| | H* | h^2 | 0,20 | 0,16 | 0,12 | 0,10 | 0,08 |
| | | σ_A^2 | 12,05 | 8,94 | 6,61 | 5,07 | 4,30 |
| PPC | h^2 | 0,11 | 0,10 | 0,09 | 0,08 | 0,07 | |
| | σ_A^2 | 2,46 | 2,15 | 1,88 | 1,66 | 1,47 | |
| MO | h^2 | 0,22 | 0,14 | 0,10 | 0,08 | 0,10 | |
| | σ_A^2 | 0,10 | 0,06 | 0,04 | 0,03 | 0,04 | |

¹CRA: capacidade de retenção de água; L*:luminosidade; a*: teor de vermelho; b*: teor de amarelo; c*: índice de saturação; H*: tonalidade; PPC: perda de peso por cocção; MO: maciez objetiva.

Modelos de norma de reação...

O comportamento da variância genética foi semelhante ao observado para a herdabilidade da característica (Tab. 4). Os valores genéticos aditivos diretos apresentaram diferentes sensibilidades à modificação da relação (metionina + cistina): lisina da dieta (Fig. 1). Nessas situações, as avaliações genéticas realizadas em determinado nível da relação (metionina + cistina): lisina da dieta resultariam em previsões que não seriam válidas para outros níveis da relação (metionina + cistina): lisina da dieta. As correlações genéticas estimadas entre as características de qualidade da carne (Tab. 5) e de coloração da carne (Tab. 6), de forma geral, foram altas e positivas.

O mesmo resultado não foi observado para as correlações genéticas estimadas para maciez objetiva (MO) da LF1, que apresentou correlação genética negativa do menor nível da dieta para as combinações de maiores níveis da dieta. Ainda são escassos na literatura trabalhos relacionados com características de qualidade da carne envolvendo análise de modelos via normas de reação, mas, para características de desempenho, Bonafé *et al.* (2011) encontraram correlações genéticas negativas entre pesos corporais ao nascer e os demais pesos em diferentes idades em codornas de corte; e Felipe *et al.* (2012) encontraram correlações genéticas positivas entre os pesos corporais aos 21 e aos 35 dias de idade em duas linhas de codornas de corte.

Tabela 5. Estimativas das correlações genéticas entre níveis de (metionina + cistina): lisina para as características de qualidade da carne das codornas de corte das linhas LF1 (acima da diagonal) e LF2 (abaixo da diagonal)

| | | pH | | | | |
|-----------------------|------|--------------------------------------|-------|--------|--------|--------|
| Relação (Met+Cis):Lis | | 0,61 | 0,66 | 0,71 | 0,76 | 0,81 |
| | 0,61 | - | 0,996 | 0,977 | 0,930 | 0,835 |
| | 0,66 | 0,994 | - | 0,992 | 0,96 | 0,883 |
| | 0,71 | 0,978 | 0,995 | - | 0,987 | 0,934 |
| | 0,76 | 0,953 | 0,979 | 0,995 | - | 0,979 |
| | 0,81 | 0,920 | 0,956 | 0,982 | 0,996 | - |
| | | Capacidade de retenção de água - CRA | | | | |
| Relação (Met+Cis):Lis | | 0,61 | 0,66 | 0,71 | 0,76 | 0,81 |
| | 0,61 | - | 0,927 | 0,840 | 0,777 | 0,734 |
| | 0,66 | 0,995 | - | 0,982 | 0,957 | 0,935 |
| | 0,71 | 0,974 | 0,992 | - | 0,994 | 0,985 |
| | 0,76 | 0,924 | 0,958 | 0,987 | - | 0,998 |
| | 0,81 | 0,831 | 0,883 | 0,935 | 0,980 | - |
| | | Perda de peso por cocção - PPC | | | | |
| Relação (Met+Cis):Lis | | 0,61 | 0,66 | 0,71 | 0,76 | 0,81 |
| | 0,61 | - | 0,884 | 0,294 | -0,213 | -0,434 |
| | 0,66 | 0,998 | - | 0,708 | 0,269 | 0,039 |
| | 0,71 | 0,990 | 0,997 | - | 0,871 | 0,733 |
| | 0,76 | 0,974 | 0,987 | 0,996 | - | 0,973 |
| | 0,81 | 0,948 | 0,967 | 0,983 | 0,995 | - |
| | | Maciez objetiva - MO | | | | |
| Relação (Met+Cis):Lis | | 0,61 | 0,66 | 0,71 | 0,76 | 0,81 |
| | 0,61 | - | 0,882 | -0,318 | -0,731 | -0,821 |
| | 0,66 | 0,980 | - | 0,166 | -0,323 | -0,455 |
| | 0,71 | 0,864 | 0,947 | - | 0,880 | 0,802 |
| | 0,76 | 0,545 | 0,702 | 0,894 | - | 0,990 |
| | 0,81 | 0,119 | 0,315 | 0,603 | 0,897 | - |

Pelas normas de reação de 25 codornas amostradas aleatoriamente para as características pH, CRA, PPC e MO (Fig. 1), notou-se que houve alteração na sensibilidade dos valores

genéticos em razão da mudança do gradiente ambiental. As linhagens LF1 e LF2 apresentaram mudanças na ordem de classificação dos valores genéticos preditos nas diferentes relações

(metionina + cistina): lisina, resultado coerente com as magnitudes das correlações genéticas e dos coeficientes de regressão aleatória. As linhagens apresentam comportamentos distintos dos valores genéticos preditos nas diferentes

relações de (metionina + cistina): lisina da dieta, o que já era esperado em decorrência dos valores de correlações genéticas entre os coeficientes de regressão aleatória.

Tabela 6. Estimativas das correlações genéticas entre níveis de (metionina + cistina): lisina para as características de coloração da carne das codornas de corte das linhas LF1 (acima da diagonal) e LF2 (abaixo da diagonal)

| | | L* - luminosidade | | | | |
|-----------------------|--|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Relação (Met+Cis):Lis | | 0,61 | 0,66 | 0,71 | 0,76 | 0,81 |
| 0,61 | | - | 0,996 | 0,988 | 0,976 | 0,963 |
| 0,66 | | 0,998 | - | 0,997 | 0,991 | 0,982 |
| 0,71 | | 0,991 | 0,998 | - | 0,998 | 0,993 |
| 0,76 | | 0,978 | 0,989 | 0,997 | - | 0,999 |
| 0,81 | | 0,957 | 0,973 | 0,987 | 0,996 | - |
| | | a* - teor de vermelho | | | | |
| Relação (Met+Cis):Lis | | 0,61 | 0,66 | 0,71 | 0,76 | 0,81 |
| 0,61 | | - | 0,995 | 0,987 | 0,979 | 0,971 |
| 0,66 | | 0,999 | - | 0,998 | 0,994 | 0,990 |
| 0,71 | | 0,997 | 0,999 | - | 0,999 | 0,997 |
| 0,76 | | 0,992 | 0,996 | 0,999 | - | 0,999 |
| 0,81 | | 0,984 | 0,990 | 0,995 | 0,999 | - |
| | | b* - teor de amarelo | | | | |
| Relação (Met+Cis):Lis | | 0,61 | 0,66 | 0,71 | 0,76 | 0,81 |
| 0,61 | | - | 0,999 | 0,994 | 0,958 | 0,293 |
| 0,66 | | 0,995 | - | 0,998 | 0,968 | 0,328 |
| 0,71 | | 0,975 | 0,992 | - | 0,983 | 0,393 |
| 0,76 | | 0,931 | 0,964 | 0,989 | - | 0,556 |
| 0,81 | | 0,856 | 0,904 | 0,950 | 0,986 | - |
| | | c* - índice de saturação | | | | |
| Relação (Met+Cis):Lis | | 0,61 | 0,66 | 0,71 | 0,76 | 0,81 |
| 0,61 | | - | 0,993 | 0,981 | 0,971 | 0,962 |
| 0,66 | | 0,999 | - | 0,997 | 0,992 | 0,988 |
| 0,71 | | 0,997 | 0,999 | - | 0,999 | 0,996 |
| 0,76 | | 0,992 | 0,996 | 0,999 | - | 0,999 |
| 0,81 | | 0,984 | 0,990 | 0,995 | 0,999 | - |
| | | H* - tonalidade | | | | |
| Relação (Met+Cis):Lis | | 0,61 | 0,66 | 0,71 | 0,76 | 0,81 |
| 0,61 | | - | 0,999 | 0,993 | 0,950 | 0,408 |
| 0,66 | | 0,992 | - | 0,997 | 0,962 | 0,446 |
| 0,71 | | 0,958 | 0,986 | - | 0,981 | 0,515 |
| 0,76 | | 0,871 | 0,925 | 0,975 | - | 0,672 |
| 0,81 | | 0,702 | 0,785 | 0,877 | 0,962 | - |

Os resultados indicam a presença de interação genótipo x ambiente em ambas as linhas, ocorrendo, assim, para as características de pH da LF1 e para a característica de MO de ambas as linhas, mudanças na classificação dos valores genéticos com alteração dos níveis das relações

(metionina + cistina): lisina da dieta. Nesse sentido, as predições dos valores genéticos para qualidade da carne de codornas de corte devem ser feitas no nível da relação (metionina + cistina): lisina da dieta com a qual a codorna será alimentada.

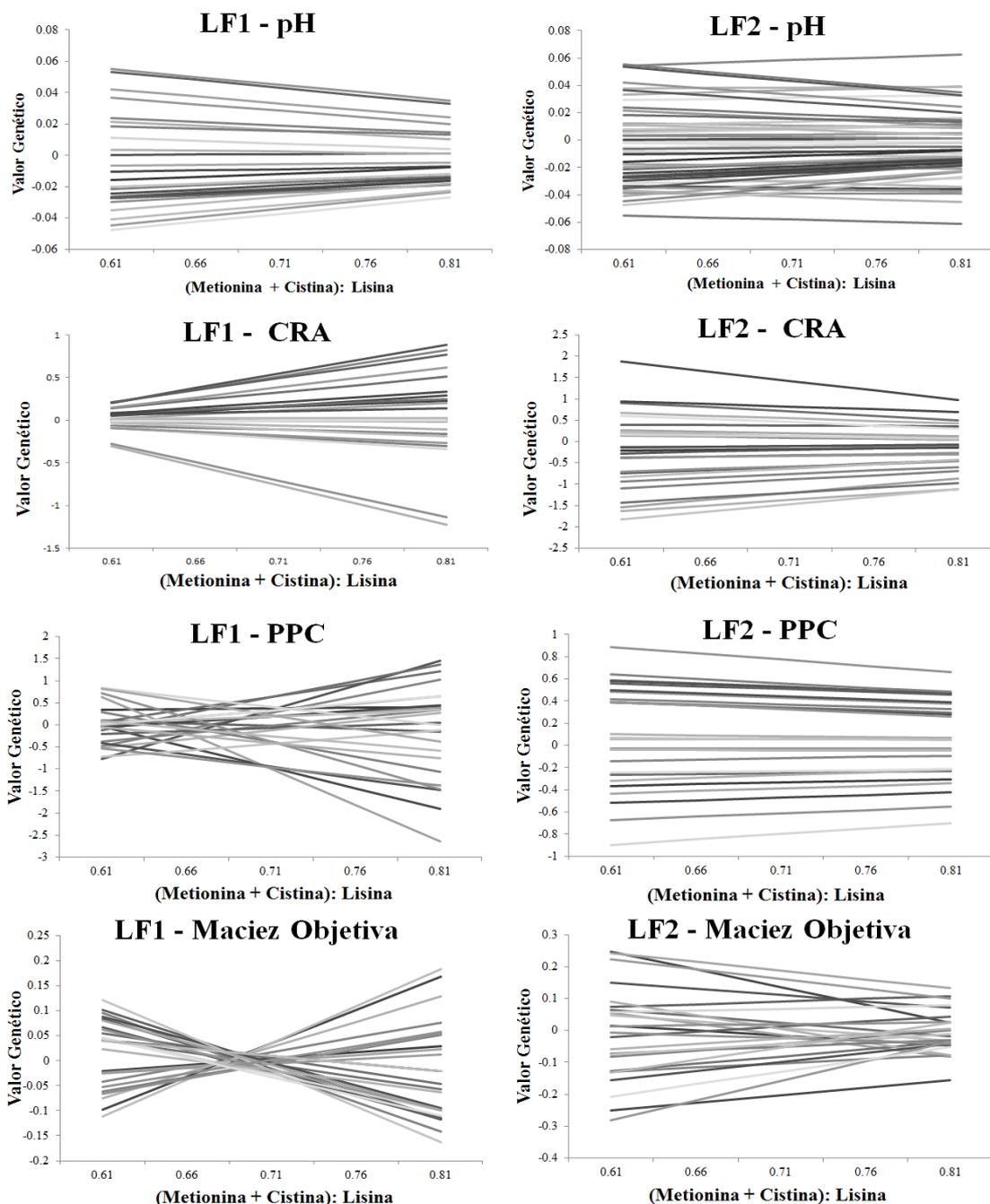


Figura 1. Normas de reação de valores genéticos aditivos de 25 codornas de corte, amostradas arbitrariamente da população avaliada, quanto às características de qualidade da carne das linhas LF1 e LF2, as quais receberam dietas com diferentes relações de (metionina + cistina): lisina.

CONCLUSÕES

Houve interação entre o valor genético e a razão (metionina + cistina): lisina da dieta para LF1 e LF2 para características de qualidade da carne.

As previsões dos valores genéticos para qualidade da carne de codornas de corte devem ser feitas no nível da relação (metionina + cistina): lisina da dieta com a qual a codorna será alimentada.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao suporte financeiro da Capes, do CNPq e da Fapemig.

REFERÊNCIAS

- BONAFÉ, C.M.; TORRES, R.A.; TEIXEIRA, R.B. *et al.* Heterogeneidade de variância residual em modelos de regressão aleatória na descrição do crescimento de codornas de corte. *Rev. Bras. Zootec.*, v.40, p.2129-2134, 2011.
- FALCONER, D.S.; MACKAY, T.F.C. *Introduction to quantitative genetics*. 4.ed. London: Longman. 1996. 464p.
- FELIPE, V.P.S., SILVA, M.A., WENCESLAU, R.R. *et al.* Utilização de modelos de norma de reação com variância residual heterogênea para estudo de valores genéticos de peso de codornas de corte em função de níveis de proteína bruta na dieta. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.64, p.991-1000, 2012.
- HONIKEL, K.O. Influence of chilling on meat quality attributes of fast glycolysing pork muscles. In: TARRANT, P.V.; EIKELENBOOM, G.; MONIN, G. (Eds.). *Evaluation and control of meat quality in pigs*. Dordrecht: Martinius Nijhoff, 1987. p.273-283.
- JONG, G. Quantitative genetics of reaction norms. *J. Evol. Biol.*, v.3, p.447-468, 1990.
- KIRKPATRICK, M., LOFSVOLD, D., BULMER, M. Analysis of the inheritance, selection and evolution of growth trajectories. *Genetics*, v.124, p.979-993, 1990.
- MEYER, K. WOMBAT : a tool for mixed model analyses in quantitative genetics by restricted maximum likelihood (REML). *J. Zhejiang Univ. Sci.*, v.8, p.815-821, 2007.
- PINTO, R.; FERREIRA, A.S.; DONZELE, J.L. *et al.* Exigência de Metionina mais Cistina para Codornas Japonesas em Crescimento. *Rev. Bras. Zootec.*, v.32, p.1174-1181, 2003.
- RAMOS, E.M.; GOMIDE, L.A.M. *Avaliação da qualidade de carnes: fundamentos e metodologias*. Viçosa, MG: Editora UFV, 2007. 599p.
- SU, G.; MADSEN, P.; LUND, M. S. *et al.* Bayesian analysis of the linear reaction norm model with unknown covariates. *J. Anim. Sci.*, v.84, p.1651-1657, 2006.