

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA
FILHO” FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**AJUSTES DE CURVAS DE CRESCIMENTO E
ESTIMATIVAS DA VARIABILIDADE GENÉTICA DE PESO
CORPORAL DE AVESTRUZES (*Struthio camelus*)**

Salvador Boccaletti Ramos

Biólogo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Julho de 2010

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA
FILHO” FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**AJUSTES DE CURVAS DE CRESCIMENTO E
ESTIMATIVAS DA VARIABILIDADE GENÉTICA DE PESO
CORPORAL DE AVESTRUZES (*Struthio camelus*)**

Salvador Boccaletti Ramos

Orientador: Prof. Dr. Danísio Prado Munari

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento Animal.

JABOTICABAL – SÃO PAULO - BRASIL
Julho de 2010

R175a Ramos, Salvador Boccaletti
Ajustes de curvas de crescimento e estimativas da variabilidade genética de peso corporal de avestruzes (*Struthio camelus*) / Salvador Boccaletti Ramos. -- Jaboticabal, 2010
xiii, 63 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2010
Orientador: Danísio Prado Munari
Banca examinadora: Maria Estela Gaglianone Moro, João Ademir de Oliveira
Bibliografia

1. Ratita. 2. Avestruz-modelo não-linear. 3. Herdabilidade-avestruz. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 568.221.1

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

SALVADOR BOCCALETTI RAMOS - nasceu em Ribeirão Preto, São Paulo, aos 05 de maio de 1982. Filho de Alcides de Amorim Ramos e Dinora Boccaletti Ramos, iniciou o curso de bacharelado em Ciências Biológicas na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias –UNESP – Campus Jaboticabal, em fevereiro de 2004 e obteve o título de Biólogo em janeiro de 2008. Em junho de 2008, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento Animal na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias –UNESP – Campus Jaboticabal, sob orientação do Prof. Dr. Danísio Prado Munari. Foi bolsista FAPESP no período de Agosto de 2009 a Julho de 2010.

“Se fiz este trabalho mais longo, foi porque
não tive tempo de fazê-lo mais curto.”

(Blaise Pascal)

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me dado condições de entender, através da razão, as leis que regem o mundo.

Aos meus pais Dinora e Alcides, pelo carinho, pela criação, pelos ensinamentos e pela paciência.

Ao meu orientador, Danísio Prado Munari, pelos ensinamentos acadêmicos e sabedoria transmitidos, pela amizade e também pela paciência.

Aos meus grandes amigos Fábio, Fernando, Luciana, Marcel e Thiago pelos momentos de alegria e pelo crescimento que tivemos juntos.

Ao Professor João Ademir de Oliveira, pela amizade e pelas sugestões que viraram conhecimento.

À professora Maria Estela Gaglianone Moro, por ter aceito gentilmente fazer parte de minha banca examinadora e pelas sugestões que enriqueceram o trabalho.

À Professora Sandra Aidar de Queiroz pelas sugestões e ensinamentos transmitidos durante o exame de qualificação.

Aos amigos do departamento de Ciências Exatas Diego, Guilherme, Daniela, Marcos, Bia, Rodrigo, Natália, Adriane, Tati, Roberta, Giovana, Diércles, Liliam e Bruno pelo companheirismo, pelas risadas e pelos *coffee-breaks*.

À amiga Sabrina, meu oráculo estatístico, pelos ensinamentos transmitidos durante o mestrado, pela amizade, carinho e companhia.

Aos professores e funcionários do Departamento de Ciências Exatas pela agradável convivência e pela sabedoria transmitida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento Animal da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP e aos funcionários da seção de pós-graduação.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro e confiança no nosso trabalho.

À Associação dos Criadores de Avestruzes do Brasil (ACAB) e ao Programa de Melhoramento Genético do Avestruz Brasileiro (PROGESTRUZ) e os criadores envolvidos por terem cedidos os dados com os quais foi possível realizar este trabalho.

Meu muito obrigado a todos!

SUMÁRIO

| | Página |
|---|---------------|
| CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS..... | 1 |
| Introdução..... | 1 |
| Objetivos..... | 3 |
| Revisão de literatura..... | 4 |
| Características de importância econômica..... | 4 |
| Peso ao nascer..... | 4 |
| Peso corporal e ganho médio diário aos 90 e 180 dias..... | 4 |
| Parâmetros genéticos e fenotípicos..... | 4 |
| Herdabilidade..... | 4 |
| Curvas de crescimento..... | 6 |
| Referências..... | 9 |
| CAPÍTULO 2 – VARIABILIDADE GENÉTICA E FENOTÍPICA DE PESO CORPORAL DE AVESTRUZES (<i>Struthio camelus</i>)..... | 15 |
| Resumo..... | 15 |
| Introdução..... | 16 |
| Material e métodos..... | 17 |
| Resultados e Discussão..... | 18 |
| Conclusões..... | 22 |
| Referências..... | 22 |
| Anexos..... | 38 |
| CAPÍTULO 3 – AJUSTES DE CURVAS DE CRESCIMENTO EM AVESTRUZES.... | 26 |
| Resumo..... | 26 |
| Introdução..... | 27 |
| Material e métodos..... | 27 |
| Resultados e discussão..... | 30 |
| Conclusões..... | 35 |
| Referências..... | 35 |

AJUSTES DE CURVAS DE CRESCIMENTO E VARIABILIDADE GENÉTICA DE PESO CORPORAL DE AVESTRUZES (*Struthio camelus*)

RESUMO - Medidas periódicas de peso corporal de avestruzes (*Struthio camelus*) foram utilizadas para avaliar o desenvolvimento corporal por meio de modelos não lineares e para obter estimativas de herdabilidade para pesos ao nascer (PN), aos 90 (P90) e aos 180 dias de idade (P180). As funções estudadas foram: Brody, Richards, von Bertalanffy, Gompertz e Logístico, pelo método de Gauss Newton, por meio de regressão não-linear das características em função da idade (dias). As estimativas de herdabilidade foram obtidas pelo método de máxima verossimilhança restrita. Todos os modelos não-lineares ajustaram parâmetros para o crescimento corporal, exceto Richards e Brody. O modelo Gompertz foi o mais adequado para representar o crescimento, conforme a interpretação biológica dos parâmetros e a qualidade do ajuste. As estimativas de herdabilidade foram de $0,42 \pm 0,05$, $0,16 \pm 0,04$ e $0,24 \pm 0,08$ para PN, P90 e P180, respectivamente. Todas as características poderão responder à seleção.

Palavras-chave: herdabilidade, modelo não-linear, ratita

FITTING OF GROWTH CURVES AND GENETIC VARIABILITY OF BODY WEIGHT OF OSTRICHES (*Struthio camelus*)

SUMMARY - Periodic measurements of body weight of ostriches (*Struthio camelus*) was used to evaluate the body development by nonlinear models and to fit heritability estimates of hatched chick weight (CHWT) and live weights recorded at 90 (LW90) and 180 (LW180) days of age. The studied models were: Brody, Richards, von Bertalanffy, Gompertz and Logistic, by Gauss-Newton method, on nonlinear regression of the traits in function of the age (days). The heritability estimates were obtained by restricted maximum likelihood method. All the nonlinear models fitted parameters for body growth, except Richards and Brody. The Gompertz model was the more appropriate to represent the growth, considering the biological interpretation of the parameters and the quality of the fitting. The heritability estimates were $0,42\pm 0,05$, $0,16\pm 0,04$ and $0,24\pm 0,08$ for CHWT, LW90 and LW180 respectively. All the traits can respond to selection.

Key words: ratite, nonlinear model, ostrich

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

Introdução

O avestruz (*Struthio camelus*) é a maior ave em existência (ROGERS, 1998) e pertence à família das ratitas ou aves corredoras como o emu, o casuar, a ema e o kiwi (SIBLEY & AHLQUISTE, 1990). É uma espécie endêmica africana e seu peso adulto varia de 70 a 130 quilogramas (PALEARI et al., 1995). Os machos adquirem plumagem preta e branca aos dois anos de idade enquanto que a das fêmeas é marrom-acinzentado (SHANAWANY, 1996). A subespécie da África meridional *Struthio camelus australis* é comumente conhecida como “blue neck”.

Aos 14 meses, um avestruz pode produzir de 1,4 a 1,8 kg de penas, de 34 a 41 kg de carne com baixo teor de gordura e de 1,08 a 1,26 m² de couro. A carne é popular entre os consumidores interessados em alimentos saudáveis. A pele é utilizada na manufatura de calçados e vestimentas. As penas são utilizadas em espanadores e decoração (MARCH, 1995). Os produtos processados que geram maior retorno financeiro são a carne e a pele (COOPER, 1999).

Socialmente os avestruzes vivem em colônias formadas por mais de 100 animais podendo comumente formar subgrupos. Na época reprodutiva, dividem-se em pares ou haréns formados por um macho e duas a quatro fêmeas, porém casais são mais freqüentes. Na natureza, tanto nos machos quanto nas fêmeas, há os indivíduos dominantes mais aptos à reprodução. Em haréns, a fêmea dominante é aquela que terá o maior número de ovos dentro do ninho. Nos machos, estes são reconhecidos pela vocalização mais grave. Embora a maioria das fêmeas possa compartilhar o mesmo ninho, apenas a fêmea e macho dominantes é que se encarregam da incubação e cuidados com as crias. A ninhada de uma fêmea dominante inclui de 5 a 11 ovos postos em dias alternados e a incubação começa cerca de 16 dias após a postura do primeiro ovo. Fêmeas dominantes conseguem reconhecer os próprios ovos e podem remover do ninho os de outras fêmeas, desde que o número total de ovos seja maior que 20 a 25 unidades. Kimwele e Graves (2003) encontraram que cerca de 70 por cento da

descendência gerada da ninhada da fêmea dominante não era originado destas aves. Isto leva a crer que embora as demais aves não estabeleçam dominância, a diversidade natural dos genes fica assegurada por meio deste comportamento. Um ovo pesa em média 1,5kg. A incubação requer cerca de 45 dias. Desde épocas pré-históricas os avestruzes tem providenciado alimento, vestimentas, utensílios e adornos. Os egípcios, gregos e romanos os mantiveram em cativeiro e talvez os semi-domesticaram. A domesticação efetiva ocorreu na África do Sul em Cape Province no início de 1860 e ali se iniciou o monopólio deste país nessa criação (SIEGFRIED, 1984).

Avestruzes se desenvolvem em áreas de baixa vegetação, portanto, podem ser criados em áreas inapropriadas ao cultivo. No hemisfério sul, a estação de monta tem início por volta de julho a agosto e termina em março. Alguns produtores de carne bovina mudaram para a criação de avestruzes devido ao seu maior e mais rápido retorno financeiro (SHANAWANY, 1996).

Em criações tradicionais como bovinos, suínos e aves, o uso do melhoramento genético como ferramenta para aumento de produtividade já é bem conhecido. Entretanto, pouco se conhece sobre o potencial genético do avestruz. Avaliações realizadas em frangos são, comumente, utilizadas para ilustrar os ganhos que poderiam ser obtidos nessa espécie. Embora estimativas de parâmetros genéticos para características medidas em frangos possam ser utilizadas como referência para o melhoramento de avestruzes, esses valores não são ideais devido às diferenças fisiológicas e de manejo das espécies (RIRDC, 2000).

Curvas de crescimento são excelentes ferramentas para avaliar o potencial fenotípico de um animal (COOPER, 2004). Sua função é caracterizar a relação existente entre uma variável resposta e uma variável explanatória. Em curvas de crescimento estas variáveis são comumente o peso e a idade, respectivamente. A relação entre as mesmas é não-linear, devido a não-linearidade dos parâmetros que descrevem o crescimento. Uma vez que o potencial fenotípico foi determinado, programas de melhoramento genético com objetivos mais definidos podem ser desenvolvidos. A literatura referente a curvas de crescimento de avestruzes é escassa, não somente em quantidade de trabalhos, mas também em relação ao número de

modelos não-lineares estudados já que poucos, dentre os vários existentes, foram ajustados para esta espécie.

No Brasil, o interesse pela estrutiocultura iniciou-se em 1995 com as primeiras importações de animais que deram início à formação do plantel atual. Em 2006, este contava com 335.425 animais distribuídos por todo território nacional, sendo os estados de São Paulo e Goiás detentores de 63 por cento do rebanho nacional (Anuário da Estrutiocultura Brasileira, 2005/2006).

A experiência dos produtores mostra que o Brasil apresenta condições naturais adequadas à estrutiocultura. O cerrado, com suas características naturais é muito semelhante às grandes planícies africanas, habitat típico dos avestruzes. As emas, naturais do cerrado e parentes próximas dos avestruzes, são outro indicador de que esta região é ideal à criação da espécie (CARRER et al., 2004). O grande volume de animais e o contínuo e intenso crescimento do rebanho existente no país justificam a necessidade de um programa de avaliação genética dos reprodutores (PROGESTRUZ, 2005). O estudo do desempenho produtivo por meio do ajuste de curvas de crescimento e da estimação de parâmetros genéticos e fenotípicos para o peso corporal podem representar o início de um programa de avaliação genética de avestruzes para produção de carne no Brasil.

Objetivos

Para o presente trabalho teve-se os seguintes objetivos:

- (a) Estimar parâmetros genéticos e fenotípicos de peso corporal medido ao nascer, aos 90 e aos 180 dias de idade em avestruzes; e
- (b) Ajustar curvas de crescimento que melhor descrevam o desenvolvimento corporal da espécie.

Revisão de literatura

Características de importância econômica

Peso ao nascer

Ovos com maior perda de água resultarão em menor peso ao nascer devido à desidratação (TULLETT & BURTON, 1982). WILSON (1991) concluiu que peso ao nascer é primariamente determinado pelo peso inicial do ovo, o qual é também afetado pela perda de água durante a incubação. Para o peso ao nascer, Bunter. et al. (2001), Bunter et al. (2004), Cloete et al. (2004), Cloete et al. (2005) e Brand et al. (2008), encontraram médias de 849 ± 86 , $855,6$, 858 ± 85 , 862 ± 85 e 858 ± 78 gramas respectivamente.

Peso corporal e ganho médio diário aos 90 e 180 dias

Os pesos corporais aos 90 e 180 dias referem-se às idades de transição nos regimes de manejo. Após a eclosão, as aves são transferidas ao berçário onde são manejadas em grupos até os 90 dias de idade. Nesta idade, as aves são pesadas e transferidas a piquetes até completarem 180 dias de idade quando são pesadas novamente e transferidas para piquetes maiores, com a função de formação dos pares, chamados de colônias.

Bunter et al. (2004) encontraram médias de 22,2 kg e 56,7 kg para peso aos 90 e 180 dias respectivamente, em avestruzes. Os autores relataram 255g/dia e 310g/dia de ganho de peso médio diário até 90 e 180 dias de idade, respectivamente.

Parâmetros genéticos

Herdabilidade

A herdabilidade é uma propriedade não somente de um caráter, mas da população e das circunstâncias de ambiente às quais os indivíduos estão sujeitos. O valor da estimativa de herdabilidade depende da magnitude de todos os componentes de variância. A estimativa expressa a proporção da variância total que é atribuída às diferenças dos valores genéticos e estes, determinam o grau de semelhança entre parentes. A herdabilidade tem papel preditivo expressando a confiança do valor fenotípico como uma referência para o valor genético. Valores altos de herdabilidade indicam que grande parte da variação fenotípica dos indivíduos é decorrente do efeito aditivo dos genes. Maior variação das condições de criação reduz a herdabilidade, e maior uniformidade desta aumenta a herdabilidade (FALCONER & MACKAY, 1996).

A obtenção de parâmetros genéticos para características de desempenho em avestruzes tem sido dificultada por vários fatores. Primeiramente, avestruzes acasalados em colônias compartilham os mesmos ninhos, logo, o parentesco dos ovos e dos filhotes é desconhecido. Esta informação não pode ser utilizada para a estimação dos parâmetros a não ser que os *pedigrees* possam ser determinados (por exemplo, técnicas de genética molecular). Em segundo lugar, há evidências que sugerem que o avestruz não possui estação reprodutiva, são territorialistas e casais possuem fortes vínculos. Todavia, as estratégias tradicionais de manejo para rebanhos formados por casais (acasalamentos repetidos do mesmo casal, no mesmo piquete e ano após ano) permitem este comportamento. Isto também compromete a estrutura do banco de dados quando o objetivo é a estimação de parâmetros genéticos, mesmo que o *pedigree* seja conhecido pois rebanhos de tamanho reduzido e o longo período produtivo dos avestruzes limitam a rotatividade de animais, reduzindo tanto o número de reprodutores com progênie quanto o número de gerações com registros de dados de desempenho (BUNTER, 2004).

Bunter et al. (2004), estimaram herdabilidade para peso ao nascimento, peso aos 6 meses, aos 10 meses e ao abate (12 meses) iguais a $0,15 \pm 0,03$, $0,21 \pm 0,09$, $0,27 \pm 0,12$ e $0,28 \pm 0,10$ respectivamente. Para peso médio ao nascimento, Bunter et al. (2001) estimaram herdabilidade de $0,51 \pm 0,17$, Cloete et al. (2004) de $0,74 \pm 0,03$ e Brand et al. (2008) de $0,56 \pm 0,11$, respectivamente. Segundo os autores, as

estimativas de herdabilidade indicam que estas características poderão responder à seleção.

Curvas de crescimento

Segundo Ratkoswsky (1983), os objetivos principais do ajuste de curvas de crescimento são descrever e prever o crescimento dos animais além de fazer inferências com base nas interpretações dos parâmetros destas curvas. Os parâmetros podem ser utilizados separadamente, ou em conjunto, para prever taxas de crescimento, requerimentos nutricionais, e outros aspectos de interesse como dar suporte ao processo de seleção, bem como acompanhar o progresso genético. Pode-se, desta maneira, comparar animais, considerando-se efeitos não controlados em grupos de manejo como, por exemplo, o sexo.

O desenvolvimento dos animais é, geralmente, representado por curvas de crescimento ajustadas por polinômios descritos por funções logarítmicas e pode ser dividido em três fases: a primeira, log positiva, a segunda, log negativa, e a terceira, estacionária. As duas primeiras definem o crescimento exponencial, sendo crescente e decrescente, respectivamente (THOLON & QUEIROZ, 2009).

A velocidade de crescimento de um animal depende da espécie a que pertence, sendo que animais de pequeno porte apresentam crescimento mais rápido que os de grande porte. As espécies nidícolas apresentam velocidade de crescimento inicial elevada, e período de crescimento curto e, portanto, velocidade de maturação elevada. Em aves aquáticas, como os patos, o crescimento é rápido e favorece o acúmulo de gordura, fundamental para o isolamento do contato com a água. Aves migratórias devem desenvolver com prioridade as plumas e penas, relacionadas ao aparelho locomotor. Desta forma, o modo de vida influencia no crescimento relativo dos diferentes componentes do corpo (MIGNON-GRASTEAU & BEAUMONT, 2000).

Segundo Barbato e Vasilatoyounken (1991), o crescimento é influenciado numa proporção de 5 a 10% pelos efeitos relacionados ao sexo do animal. Nas espécies em que a fêmea é mais leve do que o macho, como a galinha e o avestruz, a velocidade de

crescimento inicial, o ponto de inflexão e o peso assintótico, apresentam valores menores, enquanto que a velocidade de maturação apresenta valor mais elevado. O inverso é observado em espécies em que a fêmea é maior do que o macho. Estas diferenças de precocidade entre os sexos são igualmente observadas no crescimento dos diferentes tecidos.

O ajuste de funções não lineares à sequência de pontos peso-idade dos animais tem sido usado como técnica analítica para resumir informações contidas nesta sequência em alguns parâmetros que permitam interpretação biológica. Estes podem ser usados na derivação de características relevantes para o estudo do crescimento (FITZHUGH JUNIOR, 1976).

Os modelos mais usados para descrever o crescimento dos animais são Brody (BRODY, 1945), Von Bertalanffy (VON BERTALANFFY, 1957), Richards (RICHARDS, 1959), Logístico (NELDER, 1961) e Gompertz (LAIRD, 1965). Estes estão apresentados na Tabela 1. As funções descritas anteriormente contêm diversos parâmetros em comum e embora existam variações quanto à sua interpretação e conteúdo, é possível associar significado biológico a cada um deles.

O parâmetro A, definido como peso assintótico ou peso adulto, representa a estimativa de peso à maturidade, independente de flutuações de pesos devido a efeitos genéticos e ambientais. Um outro parâmetro, K, corresponde ao índice de maturidade ou a estimativa de precocidade de maturidade e determina a eficiência do crescimento do animal. Quanto maior for o valor desse parâmetro, mais precoce é o animal e vice-versa. O parâmetro M é denominado parâmetro de inflexão. Este refere-se ao ponto em que o animal passa de uma fase de crescimento acelerado para uma fase de crescimento inibitório e indica o ponto a partir do qual o animal passa a crescer com menor eficiência. O parâmetro B é denominado de parâmetro de integração ou interceptação com o eixo-y. Não possui interpretação biológica e é utilizado apenas para adequar o valor inicial do peso vivo fazendo com que a curva passe pela origem quando $y \neq 0$ e/ou $t \neq 0$, sendo t a expressão da idade (SILVA et al., 2001).

Todos estes modelos são derivados da curva de Richards e a diferença entre estes consiste na variação do parâmetro de inflexão (m). Os modelos Brody, von

Bertalanffy e Logístico apresentam parâmetros de inflexão (m) iguais a zero, $2/3$ e 2 respectivamente. Já em Gompertz, esse parâmetro tende a um (THOLON & QUEIROZ, 2009).

Na análise dos modelos não lineares utiliza-se o processo iterativo para obtenção das soluções do sistema de equações, pois não é possível obter solução analítica dos parâmetros como no caso dos modelos lineares. O processo iterativo requer o fornecimento de valores iniciais aos parâmetros e a partir destes valores é calculada a soma de quadrado do resíduo (SQR). Os parâmetros são continuamente modificados até que a SQR seja minimizada. Para isto, as derivadas parciais (Tabela 1) em função de cada parâmetro são calculadas e seus pontos de mínimo determinados.

Cilliers et al. (1995) e du Preez et al. (1992) encontraram para o modelo Gompertz, estimativas para peso assintótico de avestruzes, em quilogramas, de 120,76 e 100,25; para taxa de maturação de $8,8 \cdot 10^{-3}$ e $9,4 \cdot 10^{-3}$ e para idade de máximo ganho de peso diário de 190,02 e 169,00 kg, respectivamente. Nestes estudos, os dados foram colhidos entre a eclosão até mais de 700 dias. Considerando a importância de características de interesse econômico e de crescimento, bem como a escassez de trabalhos sobre esses temas, estudos devem ser realizados. Na literatura brasileira, não foram encontrados trabalhos de avaliação e predição do crescimento de avestruzes, assim como resultado de estimação de parâmetros genéticos para quaisquer características mensuradas na mesma espécie.

Tabela 1. Equação de cada modelo não-linear utilizado e suas respectivas derivadas parciais em função do peso assintótico (A), da constante de integração (B), da taxa de maturação (k), do parâmetro “m” e do parâmetro “d”

| Modelo | Equação | dy/dA | dy/dB | dy/dk |
|------------------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Brody ¹ | $Y_t = A(1 - Be^{-kt})$ | $(1 - Be^{-kt})$ | $-Ae^{-kt}$ | $ABte^{-kt}$ |
| Von Bertalanffy ₂ | $Y_t = A(1 - Be^{-kt})^3$ | $(1 - Be^{-kt})^3$ | $-3^A e^{-kt} (1 - Be^{-kt})^2$ | $3^A Bte^{-kt} (1 - Be^{-kt})^2$ |
| *Richards ³ | $Y_t = A(1 - Be^{-kt})^m$ | $(1 - Be^{-kt})^m$ | $-Ame^{-kt} (1 - Be^{-kt})^{(m-1)}$ | $AmBte^{-kt} (1 - Be^{-kt})^{(m-1)}$ |
| **Logístico ⁴ | $Y_t = A(1 + e^{-kt})^{-m}$ | $(1 + Be^{-kt})^{-m}$ | ----- | $Amte^{-kt} (1 + e^{-kt})^{-(m-1)}$ |
| Gompertz ⁵ | $Y_t = Ae^{-e^{-k(t-d)}}$ | $e^{-Be(-kt)}$ | $-Ae^{-kt} e^{(-Be(-kt))}$ | $ABte^{-kt} e^{-Be(-kt)}$ |

$$* dy/dm = A \ln(1 - Be^{-kt}) (1 - Be^{-kt})^m \quad ** dy/dm = -A \ln(1 + e^{-kt}) (1 + e^{-kt})^{-m}$$

¹Brody, (1945); ²Von Bertalanffy, (1957); ³Richards, (1959); ⁴Nelder, (1961); ⁵Laird, (1965)

Referências

ASSOCIAÇÃO DOS CRIADORES DE AVESTRUZES DO BRASIL. **Estruticultura**.

Disponível em <http://www.acab.org.br/>. Acesso em: 15 mar 2008.

BARBATO, G.F.; VASILATOS-YOUNKEN, R. Sex-linked and maternal effects on growth in chickens. **Poultry Science**, v.70, p.709-718, 1991.

BERTALANFFY, L. Von. Quantitative laws in metabolism and growth. **The Quarterly Review of Biology**, v.32, p.217-230, 1957.

BRAND, Z., CLOETE S. W. P., MALECKI I. A., BROWN C. R. Genetic relationships between water loss and shell deaths in ostrich eggs, assessed as traits of the female. **Australian Journal of Experimental Agriculture**. 2008. Vol 48. p 1326–1331.

BRODY, S. **Bioenergetics and growth**. New York: Reinhold Publ., 1945. 1023p.

BUNTER, K. L., GRASER, H. **Genetic Evaluation for Australian Ostriches**. RIRDC. 2000. 111p.

BUNTER, K. L., CLOETE, S. W. P., VAN SCHALKWYK, S. J., GRASER, H-U. Factors affecting reproduction in farmed ostriches. In: ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF ANIMAL BREEDING AND GENETICS, 14., 2001. **Proceedings...** p.43-46.

BUNTER, K. L., CLOETE, W. P. Genetics parameters for egg-, chick- and live-weight traits recorded in farmed ostriches (*Struthio camelus*). **Livestock Production Science**, jun 2004. vol. 91. p. 9-22.

CARRER, C. C., ELMÔR, R. A. e ROSA, F. D. **Manual do Programa de Melhoramento Genético do Avestruz Brasileiro**. ACAB/PROGESTRUZ. 2005. 20p.

CILLIERS, S. C., PREEZ, J. J. Du, MARITZ, J. S., HAYES, J. P. Growth curves of ostriches (*Struthio camelus*) from Oudtshoorn in South Africa. **Animal Science**, 1995. vol. 61. p. 161-164.

CLOETE, S. W. P., BUNTER, K. L., BRAND, Z., LAMBRECHTS, H. (Co)variances for reproduction, egg weight and chick weight in ostriches. **South African Journal of Animal Science**. 2004. vol. 34 (supplement 2).

CLOETE, S. W. P., BUNTER, K. L., BRAND, Z., Genetic parameters for reproduction in ostriches. In: ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF ANIMAL BREEDING AND GENETICS, 16., 2005. **Proceedings...** p.132-135.

COOPER, R. G. Zimbabwean ostrich industry strategies into de 21st century, **Ostrich Farmer Forum**, v3, p.4-5, 1999.

COOPER, R. G. Critical factors in ostrich (*Struthio camelus australis*) production: a focus on southern Africa. **World's Poultry Science Journal**, set 2000. vol. 56. p.247-265.

COOPER, r. g. Growth in ostrich (*Struthio camelus* var. *domesticus*). **Animal Science Journal**. 2005. vol 76. p.1-4.

MIGNON-GASTEAU, S.; BEAUMONT, C. Les courbes de croissance chez les oiseaux.

Inra Production Animales, v.13, n.5, p.337-348, 2000.

PREEZ, J. J. Du, JARVIS, M. J. F., CAPATOS, D., KOCK, J. De. A note on growth curves for the ostrich (*Struthio camelus*). **Animal Production**. 1992. vol.54. p. 150-152.

FALCONER, D. S., MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. Essex, UK: Longman. 1996. 463p.

FITZHUGH JUNIOR, H.A. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. **Journal of Animal Science**, v.42, p.1036-1051, 1976.

KIMWELE, C. N., GRAVES, J. A. A molecular genetic analysis of the communal nesting of the ostrich (*Struthio camelus*). **Res. Mol. Ecol.** V.12 n.1, p.229-236, 2003.

LAIRD, A.K. Dynamics of relative growth. **Growth**, v.29, p.249-263, 1965.

MARCH, L. Ostrich – a curious bird indeed. **Pet column for the Week**, v.9, 1995.

NELDER, J. A. The fitting of a generalization of the logistic curve. **Biometrics**, v.17, p.89-110, 1961.

PALEARI, M. A., CORSICO, P., BERETTA, G. The ostrich:breeding, reproduction, slaughtering and nutritional value of the meat. **Fleischwirtschaft**, v.75, p.1120-1123, 1995.

POWRIE, W. D. Chemistry of eggs and egg products, In: STADELMAN, W.J. & COTTERILL, O.J. (Eds) EGG SCIENCE AND TECHNOLOGY, 2nd edn, p.65-91 (Westport, CT, AVI), 1977.

RATKOSWSKY, D. A. **Nonlinear regression modeling**. New York. 1983. 297p.

RICHARDS, F. J. A flexible growth function for empirical use. **Journal of Experimental Botany**, v.10, p.290-300, 1959.

ROGERS, M. Ostrich farming. **Farming World**, v.54, p.59-64, 1998.

SHANAWANY, M. M. Ostrich farming is an ancient business. **World Poultry**, v.12, p.427-432, 1996.

SIBLEY, C. G., AHLQUISTE, J. E. **Ratites and Tinamous in Phylogeny and Classification of Birds**, Yale University Press, London, p.272-288.

SILVA, F. F., AQUINO, L. H., OLIVEIRA, A. I. G. Influência de fatores genéticos e ambientais sobre as estimativas dos parâmetros das funções de crescimento em gado nelore. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v.25, n.5, p. 1195-1205, set./out., 2001.

SWART D., RAHN H., DE KOCK J. A. Nest microclimate and incubation water loss of eggs of the African ostrich (*Struthio camelus* var. *domesticus*). **The Journal of Experimental Zoology**, v.1, p.239–246, 1987.

THOLON P.; QUEIROZ, S.A. Modelos matemáticos utilizados para descrever curvas de crescimento em aves aplicados ao melhoramento animal. **Ciência Rural**, v.39, n.7, p.2261-2269, out 2009.

TULLETT S. G., BURTON F. G. (1982) Factors affecting the weight and water status of the chick at hatch. **British Poultry Science**, v.23, p.361–369, 1982.

WILSON H. R. Interrelationship of egg size, chick size, posthatching growth and hatchability. **World's Poultry Science Journal**, v. 47, p. 5-20, 1991.

CAPÍTULO 2 – VARIABILIDADE GENÉTICA E FENOTÍPICA DE PESO CORPORAL DE AVESTRUZES (*Struthio camelus*)

RESUMO – O conhecimento de parâmetros genéticos para características de importância econômica é um pré-requisito para a formação de programas de melhoramento genético eficientes. A escassez de trabalhos e o contínuo e intenso crescimento do rebanho de avestruzes existente no país também justificam a necessidade do estudo da variabilidade genética e fenotípica destas características para esta espécie. Neste trabalho, estimativas de herdabilidade para pesos ao nascer (PN), aos 90 (P90) e 180 (P180) dias de idade foram obtidas utilizando dados de desempenho e de *pedigree* cedidos pelo Programa de Melhoramento Genético do Avestruz (PROGESTRUZ) mantido pela Associação dos Criadores de Avestruz do Brasil (ACAB), sediada em São Paulo, SP. Ao todo, 9906 animais foram cadastrados com a identificação do pai e da mãe, sexo, piquete, data de nascimento e características de desempenho. As estimativas de herdabilidade das características estudadas foram obtidas pelo método da Máxima Verossimilhança Restrita, por um modelo animal considerando, além dos efeitos fixos, os efeitos aleatórios genético aditivo e residual. O método dos quadrados mínimos foi utilizado para a definição dos possíveis efeitos fixos que foram considerados no modelo de análise. Assim, os efeitos fixos de mês de nascimento e fazenda foram considerados para PN e para P90 e para P180 somente o efeito fixo de fazenda. Já os efeitos linear e quadrático da idade de mensuração dos animais foram utilizados como covariável para P90 e P180. As estimativas obtidas de herdabilidade foram $0,42 \pm 0,05$, $0,16 \pm 0,04$ e $0,24 \pm 0,08$ para peso ao nascer, aos 90 e aos 180 dias, respectivamente. As estimativas de herdabilidade mostraram que níveis suficientes de variação genética aditiva estão presentes nas características estudadas e que estas poderão responder à seleção.

Palavras-chave: herdabilidade, ratitas, estrutiocultura

Introdução

A seleção de indivíduos com base no mérito genético é uma das principais ferramentas para aumentar a produtividade. Animais com desempenho superior nas características de interesse econômico são escolhidos para melhorar o desempenho fenotípico de uma população. Esse procedimento implica que as características de interesse estão sob algum grau de controle genético. O conhecimento de parâmetros genéticos para tais características é um pré-requisito para a formação de programas de melhoramento genético cuja finalidade é esse aumento de produtividade.

Nas últimas décadas, avanços notáveis em avaliação genética e progressos permanentes nas características de produção da pecuária como um todo foram obtidos. Porém, pouco se conhece na estruoticultura sobre as bases genéticas da variação observada nas características registradas. Os poucos estudos existentes sobre estimativas de parâmetros genéticos são, em grande parte, oriundos da mesma população (CLOETE et al., 2006).

Para peso ao nascer, Bunter et al. (2001), Bunter et al. (2004), Cloete et al. (2004), Cloete et al. (2005) e Brand et al. (2008), encontraram médias de 849 ± 86 , $855,6$, 858 ± 85 , 862 ± 85 e 858 ± 78 gramas respectivamente. Bunter et al. (2004) relataram médias de 22,2 kg e 56,7 kg para peso aos 90 e 180 dias, respectivamente e 255, 310 e 352 g/dia de ganho de peso médio diário, respectivamente.

Os mesmos autores estimaram herdabilidade para peso ao nascer, peso aos 90 dias, peso aos 180 dias, aos 300 dias e ao abate iguais a $0,16 \pm 0,05$, $0,02 \pm 0,06$, $0,21 \pm 0,09$, $0,27 \pm 0,12$ e $0,28 \pm 0,10$, respectivamente. Para peso ao nascer, Bunter et al. (2001) estimaram herdabilidades iguais a $0,51 \pm 0,17$, Cloete et al. (2004) de $0,74 \pm 0,03$ e Brand et al. (2008) de $0,56 \pm 0,11$, respectivamente. Para peso ao abate (12 meses) Engelbrecht et al. (2005) encontraram herdabilidade de $0,46 \pm 0,09$.

Neste trabalho, o objetivo foi estimar parâmetros genéticos e fenotípicos para pesos ao nascer, aos 90 e aos 180 dias usando dados de rebanhos comerciais de avestruzes.

Material e Métodos

Foram utilizados pesos corporais de 5228 animais mensurados ao nascimento, aos 90 e aos 180 dias de idade, aproximadamente, filhos de 208 reprodutores e 212 reprodutoras, nascidos entre agosto de 2005 e abril de 2006, em duas fazendas do Estado de São Paulo, oriundos de três raças (African Black, Red Neck e Blue Neck) e dos cruzamentos entre estas. Os dados foram cedidos pelo Programa de Melhoramento Genético do Avestruz (PROGESTRUZ), mantido pela Associação dos Criadores de Avestruz do Brasil (ACAB), sediada em São Paulo, SP. Ao todo, o arquivo de dados original *pedigree* continha registros de 9906 animais filhos de 303 reprodutores e 308 reprodutoras distribuídos nas duas fazendas em 311 piquetes.

Após a eclosão, os animais permaneceram em estufa berçário por 90 dias com temperatura controlada a pelo menos 25 °C. Até o quinto dia de idade, durante absorção do saco vitelínico, receberam alimento probiótico para auxílio da formação da flora intestinal sendo três mililitros durante os três primeiros dias e cinco mililitros nos dois dias seguintes. Do sexto dia em diante, receberam água e alimentação *ad libitum*, esta composta por pasto e complementada com ração específica para avestruzes acrescida de polpa cítrica.

Aos 90 dias de idade os animais foram transferidos para piquetes maiores onde permaneceram até os 180 dias de idade quando foram transferidos novamente para piquetes ainda maiores permanecendo ali indefinidamente. Os casais foram formados naturalmente dentro dos piquetes após várias montas com a mesma parceira ou manualmente, separando os animais de maior porte em piquetes. Progênie destes casais tiveram seu desempenho produtivo controlado em várias idades.

Características estudadas

Para estimação de parâmetros genéticos e fenotípicos foram estudados os pesos corporais ao nascer e aproximadamente aos 90 e aos 180 dias de idade, oriundos de

progênes de casais que tiveram seu *pedigree* controlado. Os pesos aos 90 e 180 dias referem-se às idades de transição nos regimes de manejo. Após a eclosão, as aves são transferidas ao berçário onde são manejadas em grupos até os 90 dias de idade. Nesta idade, as aves são pesadas e transferidas a piquetes até completarem 180 dias de idade quando são pesadas novamente e transferidas para piquetes maiores, com a função de formação dos pares, chamados de colônias.

Foram obtidas estatísticas descritivas para ganho médio diário do nascimento aos 90 (GMDPN90) e aos 180 dias (GMDPN180) e entre 90 e 180 dias (GMDP90180).

Análise de efeitos fixos

O método dos quadrados mínimos foi utilizado para a definição dos possíveis efeitos fixos que foram considerados no modelo de análise. Para as análises de caracterização dos dados e preparação dos arquivos foram utilizados os procedimentos MEANS, FREQ e GLM do programa computacional SAS (SAS 9.1, SAS Institute, Cary, NC, USA).

As variáveis disponíveis no conjunto de dados analisados para a construção do modelo foram: ano de nascimento, mês de nascimento, fazenda, piquete, grupo genético e sexo. Os resultados das análises dos fixos estão descritos no Anexo 1. No mês de abril de 2006, havia somente duas observações registradas. Para efeito de análise, estas foram removidas totalizando oito meses de nascimento.

A partir da análise de variância verificou-se que os efeitos de grupo genético e sexo não foram significativos ($P > 0,05$) para pesos ao nascimento, aos 90 e aos 180 dias. Houve confundimento entre os efeitos de fazenda e piquete de piquete e reprodutor e entre ano e mês de nascimento. Somente os efeitos fixos de fazenda e mês de nascimento, que afetaram significativamente ($P < 0,05$) as características estudadas, foram incluídos no modelo. O mês de nascimento foi um efeito significativo sobre todas as características ($P < 0,05$), com exceção de P180. Para peso aos 90 e 180

dias, os efeitos linear e quadrático das idades de mensuração foram utilizados como covariáveis.

Análises genéticas

As análises para estimação dos parâmetros genéticos foram estimadas pelo método de máxima verossimilhança restrita, em modelo animal, considerando o efeitos aleatórios genético aditivo e residual, utilizando o programa computacional MTDFREML (Multiple Trait Derivative-Free Restricted Maximum Likelihood), descrito por BOLDMAN et al. (1995), segundo o modelo geral:

$$y = X\beta + Za + e$$

Em que: y é o vetor de registros dos pesos, β é o vetor de efeitos fixos, a é o vetor de efeitos aleatórios de valor genético, X é a matriz de incidência associando os elementos de β a y , Z é a matriz de incidência associando os elementos de a a y e e é o vetor de efeitos residuais. Foram assumidas as seguintes pressuposições: $Var(a) = A\sigma_a^2$ em que A é a matriz de parentesco e σ_a^2 é a variação atribuída aos efeitos genético aditivos e $Var(e) = I\sigma_e^2$, em que I é uma matriz identidade e σ_e^2 é a variação atribuída aos efeitos residuais.

Inicialmente o efeito genético materno foi considerado para PN mas a inclusão deste efeito no modelo gerou estimativas de herdabilidade iguais a um e com erro elevado, provavelmente devido à estrutura do arquivo de *pedigree*, e portanto foi desconsiderado das análises.

Resultados e Discussão

As estatísticas descritivas das características estudadas estão relacionadas na Tabela 1. O peso ao nascimento apresentou menor coeficiente de variação quando comparado com os demais pesos.

Tabela 1: Número de observações (N), média observada, desvio-padrão (DP), coeficiente de variação (CV), valor mínimo (Mín) e máximo (Máx) observado para ao nascer (PN), aos 90 (P90), aos 180 (P180) dias de idade e para os ganhos médio diário entre PN e P90 (GMDPN90), entre PN e P180 (GMDPN180) e entre P90 e P180 (GMDP90180);

| Variável | N | Média | DP | CV | Min | Máx |
|-----------------|------|-------|--------|-------|--------|--------|
| PN(kg) | 2858 | 0,86 | 0,10 | 11,30 | 0,50 | 1,19 |
| P90(kg) | 1570 | 20,95 | 5,24 | 25,01 | 2,99 | 34,19 |
| P180(kg) | 567 | 41,71 | 15,80 | 37,69 | 10,47 | 75,99 |
| GMDPN90(g/dia) | 1581 | 223 | 58,01 | 0,26 | 22,5 | 367,93 |
| GMDPN180(g/dia) | 567 | 228 | 87,51 | 0,38 | 53,59 | 417,38 |
| GMD90180(g/dia) | 567 | 249 | 132,75 | 0,53 | -59,02 | 557,30 |

As médias de pesos corporais encontrados no presente trabalho foram compatíveis com as observadas por BUNTER et al. (2001), BUNTER et al. (2004), CLOETE et al. (2004), CLOETE et al, (2005) e BRAND et al. (2008). Porém P180 apresentou média menor do que aquela descrita por BUNTER et al. (2004). Os ganhos de peso médios diários indicaram que os maiores ganhos acontecem por volta dos seis meses de idade como observado na literatura para a população sul-africana (BUNTER, 2004).

Valores negativos indicaram redução de peso corporal resultante do manejo dos animais.

Efeitos fixos

As análises dos efeitos fixos mostraram que sexo não apresentou efeito significativo embora avestruzes apresentem dimorfismo sexual. Isto pode ocorrer porque a população brasileira ainda não possui estrutura de manejo que permita observar diferenças significativas de peso entre os sexos. Este fator também pode explicar a ausência de efeito significativo entre os grupos genéticos. O confundimento entre reprodutor e piquete ocorreu porque os reprodutores não trocaram de piquete. O confundimento entre fazenda e piquete ocorreu porque a informação da fazenda estava contida no registro de piquete. Isso levou a se considerar somente o efeito de fazenda. Para o ano de nascimento e mês de nascimento, o confundimento entre estes efeitos pode ter ocorrido devido ao fato de que os registros foram coletados num intervalo menor que um ano e neste intervalo, nenhum mês foi repetido.

Estimação de herdabilidades

As estimativas de herdabilidade para pesos ao nascer, aos 90 e aos 180 dias foram $0,42 \pm 0,048$, $0,16 \pm 0,040$ e $0,24 \pm 0,083$, respectivamente, e indicaram que quantidades suficientes de variação genética aditiva estiveram presentes na variação fenotípica para os pesos ao nascer, aos 90 e aos 180 dias e que estas características poderão responder à seleção.

Todas as estimativas de herdabilidade foram consistentes com os resultados encontrados em trabalhos anteriores (BUNTER et al., 2001; BUNTER et al., 2004; CLOETE et al., 2004; ENGELBRECHT et al., 2005, BRAND et al., 2008) com exceção de peso aos 90 dias em que Bunter et al. (2004) encontraram uma estimativa inferior. Segundo estes autores, a ausência de variação genética aditiva para esta estimativa pode ter três causas: a variação no potencial genético para ganho de peso ser altamente inexpressivo aos 90 dias de idade; os efeitos ambientais e/ou os erros de medição serem altos o suficiente para mascararem o resultado ou pequeno número de registros de animais para esta idade. No presente trabalho estas situações não ocorreram.

A partir dos resultados obtidos neste estudo, constatamos que as estimativas de parâmetros genéticos são relevantes à população em que foram obtidos. A variação nas estimativas obtidas na revisão de literatura reflete a diversidade de material genético encontrado nas diferentes localidades. Diferenças nas frequências alélicas resultam em mudança na variância genética aditiva e, conseqüentemente, na herdabilidade. A semelhança entre as estimativas de herdabilidade encontradas neste trabalho com as da revisão de literatura sugere que a população estudada ainda é muito semelhante à que deu origem ao plantel brasileiro. Isto pode ocorrer por ser uma população cujos animais foram recentemente importados e, portanto, ainda ausente de seleção.

A alta estimativa de herdabilidade para PN, comparada com as demais, pode ser explicada pela ausência do componente genético materno no modelo da análise.

Conclusões

As características estudadas poderão responder à seleção para aumentar o peso corporal de avestruzes. Se for conduzida seleção com este objetivo, sugere-se utilizar o P180 como critério de seleção.

Referências

ASSOCIAÇÃO DOS CRIADORES DE AVESTRUZES DO BRASIL. **Estrutocultura**.

Disponível em <http://www.acab.org.br/>. Acesso em: 15 mar 2008.

BOLDMAN, K. G., KRIESE. L. A., VAN VLECK, L. D., KACHMAN, S. D. **A manual for use of MTDFREML**. Clay Center, Nebraska, 1995, 121p.

BRAND, Z., CLOETE S. W. P., MALECKI I. A., BROWN C. R. Genetic relationships between water loss and shell deaths in ostrich eggs, assessed as traits of the female. **Australian Journal of Experimental Agriculture**. 2008. Vol 48. p 1326–1331.

BUNTER, K.L., CLOETE, S.W.P. & VAN SCHALKWYK, S.J. (1999) Significant genetic parameters for egg, chick and juvenile weight traits in ostriches. In: ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF ANIMAL BREEDING AND GENETICS, 13., 1999. **Proceedings...** p.476–479.

BUNTER, K. L., GRASER, H. **Genetic Evaluation for Australian Ostriches**. RIRDC. 2000. 111p.

BUNTER, K. L., CLOETE, W. P. Genetics parameters for egg-, chick- and live-weight traits recorded in farmed ostriches (*Struthio camelus*). **Livestock Production Science**, jun 2004. vol. 91. p. 9-22.

CARRER, C. C., ELMÔR, R. A. e ROSA, F. D. **Manual do Programa de Melhoramento Genético do Avestruz Brasileiro**. ACAB/PROGESTRUZ. 2005. 20p.

CHAMBERS, J. R., Genetics of growth and meat production in chickens. In: CRAWFORD, R.D. (Ed.) **Poultry Breeding and Genetics**. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1990. p. 599-643.

COOPER, R. G. Critical factors in ostrich(*Struthio camelus australis*) production: a focus on southern Africa. **World's Poultry Science Journal**, set 2000. vol. 56. p.247-265.

CLOETE, S. W. P., BUNTER, K. L., BRAND, Z., LAMBRECHTS, H. (Co)variances for reproduction, egg weight and chick weight in ostriches. **South African Journal of Animal Science**. 2004. vol. 34 (suplement 2).

CLOETE, S. W. P., BUNTER, K. L., LAMBRECHTS, H., BRAND, Z., SWART, D., GREYLING, J.P.C. Variance components for live weight, body measurements and reproductive traits of pair-mated ostrich females. **British Poultry Science**. 2006. vol. 47, p.147–158.

FAIRFULL, R.W., GOWE, R.S. Genetics of egg production in chickens. In: CRAWFORD, R.D. (Ed.) **Poultry breeding and genetics**. Amsterdam: Elsevier Science, 1990. p.705-59.

FALCONER, D. S., MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. Essex, UK: Longman. 1996. 463p.

PIRCHNER, F. **Population genetics in animal breeding**. London: Plenum, 1983. 414p.

RAMOS, A. A. **Estudo do desempenho produtivo e reprodutivo das diferentes linhagens de avestruz introduzidos no Brasil.** cNPQ. 2007. p.16.

VAN VLECK, L. P., POLLAK, E. J., OLTENACU, E. A. B. **Genetics for the animal science.** New York: W. H. Freeman and Company, 1987. 391p.

VAN SCHALKWYK, S. J., CLOETE, S. W. P., DE COCK, J. A., Repeatability and phenotypic correlations for body weight and reproduction in commercial ostrich breeding pairs. **British Poultry Science**, 1996. vol. 37. p. 953-962.

CAPÍTULO 3 – AJUSTES DE CURVAS DE CRESCIMENTO EM AVESTRUZES

(*Struthio camelus*)

RESUMO – Curvas de crescimento são ferramentas para prever o potencial fenotípico de um animal. Estas permitem a previsão do desempenho de características de importância econômica como peso corporal. Neste trabalho, o objetivo foi ajustar curvas de crescimento em avestruzes. Para isso, foram utilizados 5228 pesos medidos do nascimento aos 383 dias de idade. Os dados foram submetidos ao ajuste pelos modelos Brody, Richards, von Bertalanffy, Logístico e Gompertz. O método utilizado para o ajuste foi o iterativo Gauss-Newton, por meio da técnica dos modelos não-lineares utilizando o procedimento NLIN do programa computacional SAS. Os parâmetros estimados foram A (valor assintótico), B (maturidade do animal), k (taxa de maturação), m (ponto de inflexão) e d (idade em que a taxa de crescimento diário atinge seu valor máximo). A interpretação biológica dos parâmetros, o coeficiente de determinação, o quadrado médio dos resíduos, o intervalo de confiança a 95% das estimativas, a forma da curva e o desvio médio absoluto foram utilizados como critérios para a escolha dos modelos que forneceram o melhor ajuste. Apenas os modelos Brody e Richards não convergiram. Para o modelo Von Bertalanffy, as estimativas foram $A=358,1$; $B=0,83$ e $k=0,003$. Para o logístico, $A=198,3$; $k=0,007$ e $m=5,90$. Para o Gompertz, $A=155,2$; $k=0,008$ e $d=186,2$. Destes, Gompertz apresentou o melhor ajuste. Houve associações inversamente proporcionais entre A e k e entre k e d e diretamente proporcionais entre A e d .

Palavras-chave: estrutiocultura, modelo não-linear, peso corporal, ratita

Introdução

O ajuste de curvas de crescimento tem como objetivo não só descrever e prever o crescimento, mas também fazer inferências com base nas interpretações dos parâmetros (RATKOSWSKY, 1983). Informações que relacionam os parâmetros da curva e as características de produtividade podem ser encontradas na literatura (FREITAS, 2005; THOLON & QUEIROZ, 2009). Modelos não-lineares como Brody (BRODY, 1945), Von Bertalanffy (BERTALANFFY, 1957), Richards (RICHARDS, 1959), Logístico (NELDER, 1961) e Gompertz (LAIRD, 1965) são os mais utilizados em estudos de crescimento. Para avestruzes verificou-se que há poucos trabalhos que relacionam os pesos (y) e as idades (t) dos animais por meio de modelos não-lineares. Dentre os encontrados, DU PREES et al. (1992) e CILLIERS et al. (1995) utilizaram somente o modelo Gompertz para avaliar o crescimento de machos e fêmeas. Para os demais modelos nada foi encontrado.

Assim, para o presente estudo, o objetivo foi ajustar as cinco curvas não lineares mais utilizadas na produção animal aos dados de crescimento de avestruzes e avaliar quais descrevem melhor o desenvolvimento corporal destes animais.

Material e Métodos

Foram utilizados dados peso-idade de 5228 animais mensurados do nascimento até 383 dias de idade, filhos de 208 reprodutores e 212 reprodutoras, nascidos entre agosto de 2005 e abril de 2006, em duas fazendas do Estado de São Paulo, oriundos de três raças (African Black, Red Neck e Blue Neck) e dos cruzamentos entre elas. Os dados foram cedidos pelo Programa de Melhoramento Genético do Avestruz (PROGESTRUZ), mantido pela Associação dos Criadores de Avestruz do Brasil (ACAB), sediada em São Paulo, SP.

Após a eclosão, os animais permaneceram em estufa berçário por 90 dias com temperatura controlada a pelo menos 25 °C. Até o quinto dia de idade, durante

absorção do saco vitelínico, receberam alimento probiótico para auxílio da formação da flora intestinal sendo três mililitros durante os três primeiros dias e cinco mililitros nos dois dias seguintes. Do sexto dia em diante, receberam água e alimentação *ad libitum*, esta composta por pasto e complementada com ração específica para avestruzes acrescida de polpa cítrica.

Aos 90 dias de idade os animais foram transferidos para piquetes maiores onde permaneceram até os 180 dias de idade quando foram transferidos novamente para piquetes ainda maiores permanecendo ali indefinidamente. Os casais foram formados naturalmente dentro dos piquetes após várias montas com a mesma parceira ou manualmente separando os animais de maior porte.

Ajustes de modelos não-lineares

Foram usados cinco modelos não-lineares para estimar o crescimento dos animais em função da idade. O método utilizado para o ajuste foi o iterativo Gauss-Newton, descrito por Hartley (1961), por meio da técnica dos modelos não-lineares utilizando o procedimento NLIN (SAS 9.1, SAS Institute, Cary, NC, USA). Os modelos usados para descrever o crescimento animal foram:

Modelo Brody (BRODY, 1945):

$$Y_t = A(1 - Be^{-kt}) + \varepsilon$$

Modelo Von Bertalanffy (BERTALANFFY, 1957):

$$Y_t = A(1 - Be^{-kt})^3 + \varepsilon$$

Modelo Richards (RICHARDS, 1959):

$$Y_t = A(1 - Be^{-kt})^m + \varepsilon$$

Modelo Logístico (NELDER, 1961):

$$Y_t = A(1 + e^{-kt})^{-m} + \varepsilon$$

Modelo Gompertz (LAIRD, 1965):

$$Y_t = Ae^{-e^{-k(t-d)}} + \varepsilon$$

Em que:

Y_t = peso corporal predito na idade t (dias);

A = Peso corporal a maturidade;

B = Maturidade do animal ao nascimento;

k = Taxa de maturação;

m = Termo relacionado à forma da curva;

d = Idade em dias em que a taxa de crescimento diário atinge seu valor máximo;

ε = Erro do modelo.

Para escolher o modelo mais adequado para o ajuste dos pesos corporais das aves em função da idade, foram considerados a interpretação biológica dos parâmetros, a qualidade do ajuste (coeficiente de determinação e quadrado médio dos resíduos), qualidade das estimativas (intervalo de confiança a 95%, número de iterações), as dificuldades computacionais (se houve ou não convergência) e o desvio médio absoluto de cada curva estimadas por cada modelo. O desvio médio absoluto (DMA) é uma medida de erro de previsão e estimado pela seguinte fórmula:

$$DMA = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}|}{n}$$

em que

$|Y_t - \hat{Y}|$ é o erro de previsão em valor absoluto sendo Y_t o peso observado na idade t e \hat{Y} o peso estimado para a mesma idade, e n é o número de observações

O desvio médio absoluto não leva em conta se o erro foi subestimado ou sobrestimado. O uso do valor absoluto do erro para o cálculo desta medida serve para impedir que valores positivos se anulem com valores negativos gerando assim uma medida igual a zero e sem interpretação. Valores próximos de zero indicam melhores ajustes do modelo.

Resultados e Discussão

Dos modelos estudados, Brody e Richards não atingiram a convergência. Para os que convergiram, a Figura 1, 2 e 3 representa respectivamente a curva predita pelo modelo von Bertalanffy, Logístico e Gompertz e a dispersão dos pesos observados. Os resultados das estimativas estão mostrados na Tabela 2. Cilliers et al. (1995) e Du Preez et al. (1992) encontraram para o modelo Gompertz, estimativas para peso assintótico, em quilogramas, de 120,76 e 100,25; para taxa de maturação de $8,8 \cdot 10^{-3}$ e $9,4 \cdot 10^{-3}$ e para idade de máximo ganho de peso diário de 190,02 e 169,00, respectivamente. Nestes estudos, os dados foram colhidos entre a eclosão até mais de 700 dias.

O parâmetro “A” está associado ao peso assintótico do animal. Para os modelos Logístico e Gompertz as estimativas para este parâmetro foram plausíveis quando comparadas com os valores da literatura e dos dados observados. Pelo modelo Von Bertalanffy estimou-se uma média maior do que a observada na população estudada bem como as encontradas por Cilliers et al. (1995) e Du Preez (1992).

O parâmetro “k” está associado à taxa de maturação indicando a velocidade de crescimento para alcançar o peso assintótico. Animais com elevados valores de “k”

apresentam maturidade precoce. Neste estudo, os modelos Logístico e Gompertz apresentaram valores semelhantes aos encontrados na literatura. Para o modelo Von Bertalanffy, foi ajustado um parâmetro “k” abaixo do observado na literatura.

Para idade em que o crescimento diário atinge o valor máximo, representado por “d” e presente somente em Gompertz, o valor encontrado neste estudo foi semelhante ao encontrado na literatura (CILLIERS et al., 1995 e DU PREEZ et al., 1992).

O modelo Von Bertalanffy apresenta o parâmetro “B”, referente à maturidade do animal ao nascimento. O Logístico por sua vez possui o parâmetro “m” associado à forma da curva e sem interpretação biológica. As estimativas foram 0,83 e 5,9 respectivamente.

Os coeficientes de determinação obtidos foram altos para os modelos em que houve convergência, ficando em torno de 90%. Quanto ao coeficiente de determinação, todos os modelos apresentaram desempenho semelhantes. Os quadrados médios dos resíduos foram baixos sendo que Gompertz apresentou menor valor.

Os limites inferiores e superiores dos intervalos de confiança a 95% de cada estimativa de parâmetro estão apresentados na Tabela 3. Todos os intervalos de confiança calculados possuem estreita amplitude de estimação e Gompertz foi o que apresentou a amplitude mais estreita dentre os modelos ajustados.

Os modelos Brody e Richards não convergiram mesmo depois de testados vários valores iniciais. Os modelos Von Bertalanffy, Gompertz e Logístico precisaram, respectivamente, de 7, 5 e 10 iterações para convergir.

A análise dos resíduos de cada modelo em que houve convergência, mostrou que estes não atendiam à normalidade e eram heterocedásticos. Segundo Rawlings et al (1998), estas pressuposições não são essenciais para a estimação dos parâmetros, principal objetivo deste estudo. Houve somente a remoção de *outliers* antes das análises.

A correlação simples de Pearson entre peso assintótico e taxa de ganho diário foi de -0,99, -0,92 e -0,94 para Von Bertalanffy, Gompertz e Logístico, respectivamente. Há forte correlação e inversamente proporcional entre estes parâmetros indicando que

quando maior o peso a maturidade de um animal, menor é a taxa de ganho diário. Este resultado também foi obtido por Knizetova et al. (1991) em seu estudo com patos.

Entre peso assintótico e a constante de integração, o valor observado no modelo Von Bertalanffy foi de -0,39 indicando moderada correlação e inversamente proporcional. Entre peso assintótico e a idade em dias em que a taxa de crescimento diário atinge seu valor máximo, o valor observado no modelo de Gompertz foi 0,97, indicando que quanto maior for o peso assintótico maior será a idade que a velocidade de ganho de massa corporal atingirá seu máximo. No modelo Logístico, a correlação entre peso assintótico e o parâmetro "m", foi de -0,33, indicando moderada correlação.

Os valores observados para a correlação entre a constante de integração e a taxa de maturação, existente somente no modelo Von Bertalanffy, foi de 0,51. No modelo Gompertz, a correlação entre a idade em dias em que a taxa de crescimento diário atinge seu valor máximo e a taxa de maturação foi de -0,95. Maior taxa de ganho de peso diário implicará em menor idade em que essa taxa atingirá seu valor máximo. Já para o modelo Logístico, a correlação entre o parâmetro "m" e a taxa de maturação foi de 0,59.

A literatura referente à curvas de crescimento em avestruzes é escassa. Nos dois trabalhos encontrados foi utilizado somente o modelo Gompertz para descrever o crescimento, o que deixa os demais modelos deste estudo sem referências semelhantes para comparação. Nestes mesmos trabalhos, os dados utilizados foram colhidos entre zero e 700 dias de idade enquanto que neste foram colhidos entre zero e 383 dias de idade. Essa diferença poderia gerar divergências entre as estimativas deste trabalho com as da literatura, porém isto não ocorreu.

Com relação à interpretação biológica dos parâmetros, os modelos Logístico e Gompertz apresentaram estimativas plausíveis. Já no modelo Von Bertalanffy o valor assintótico ajustado foi extrapolado, ou seja, o valor estimado foi muito maior do que foi observado em relação ao peso adulto. O modelo Gompertz foi o que apresentou a estimativa de peso assintótico mais coerente com os valores reais observados nesta população e com as estimativas encontradas na literatura (CILLIERS et al., 1995 e DU PREEZ et al., 1992). A taxa de crescimento diária não foi diferente entre Gompertz e

Logístico. Com relação à idade em dias em que a taxa de crescimento diário atinge seu valor máximo, no modelo Gompertz foi estimado valor compatível com a literatura. O parâmetro “m” do modelo Logístico, por não apresentar interpretação biológica e por não haver valores na literatura, não foi incluído na discussão. Gompertz apresentou maior coeficiente de determinação dentre os três modelos que convergiram.

A análise dos desvios médios absolutos mostrou que Gompertz foi o modelo que apresentou o menor valor, seguido dos modelos von Bertalanffy e Logístico nesta ordem. Para este critério, Gompertz foi o modelo que melhor se ajustou aos dados observados.

Tabela 2. Estimativas de peso assintótico (A), maturidade do animal ao nascimento (B), taxa de maturação (k), termo relacionado à forma da curva (m) e idade em que a taxa de crescimento diário atinge seu valor máximo (d), valores do quadrado médio dos resíduos (QMR) e coeficiente de determinação (R²).

| Função | A | B | k | m | d | QMR | DMA | R ² |
|-----------------------------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|----------------|
| V. Bertalanffy ¹ | 358,1 | 0,83 | 0,003 | --- | --- | 168,2 | 9,42 | 89,7 |
| Logístico ² | 198,3 | --- | 0,007 | 5,90 | --- | 171,2 | 10,20 | 89,5 |
| Gompertz ³ | 155,2 | --- | 0,008 | --- | 186,2 | 78,7 | 8,79 | 93,0 |

¹Von Bertalanffy, (1957); ²Nelder, (1961); ³Laird, (1965)

Tabela 3: Estimativas dos limites inferior e superior dos intervalos de confiança a 95% de peso assintótico (A), maturidade do animal ao nascimento (B), taxa de maturação (k), termo relacionado à forma da curva (m) e idade em que a taxa de crescimento diário atinge seu valor máximo (d).

| Função | Parâmetros | | | | | | | | | |
|--------------------------|------------|-------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|-------|-------|
| | A | | B | | k | | m | | d | |
| Bertalanffy ¹ | 320,5 | 395,7 | 0,8235 | 0,8365 | 0,00294 | 0,00346 | --- | --- | --- | --- |
| Logístico ² | 189,9 | 206,7 | --- | --- | 0,00754 | 0,00813 | 5,8092 | 5,9985 | --- | --- |
| Gompertz ³ | 150,3 | 160,0 | --- | --- | 0,00741 | 0,00791 | --- | --- | 181,4 | 191,0 |

¹Von Bertalanffy, (1957); ²Nelder, (1961); ³Laird, (1965)

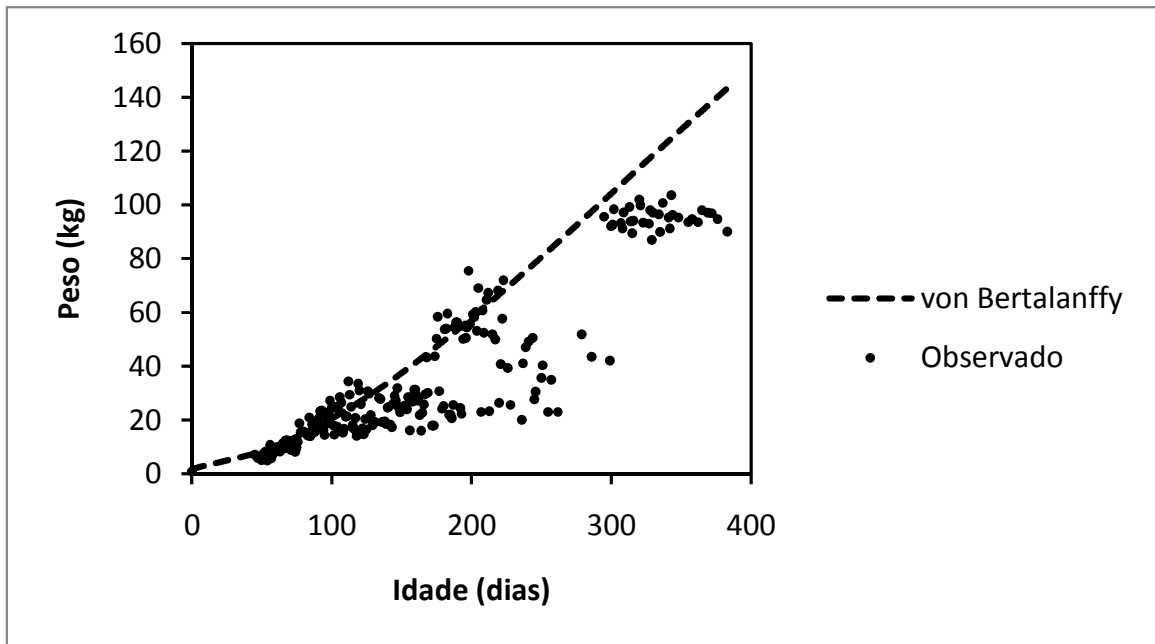


Figura 1. Curvas de peso corporal de avestruzes em função da idade, predita pelo modelo von Bertalanffy e de dispersão dos dados observados.

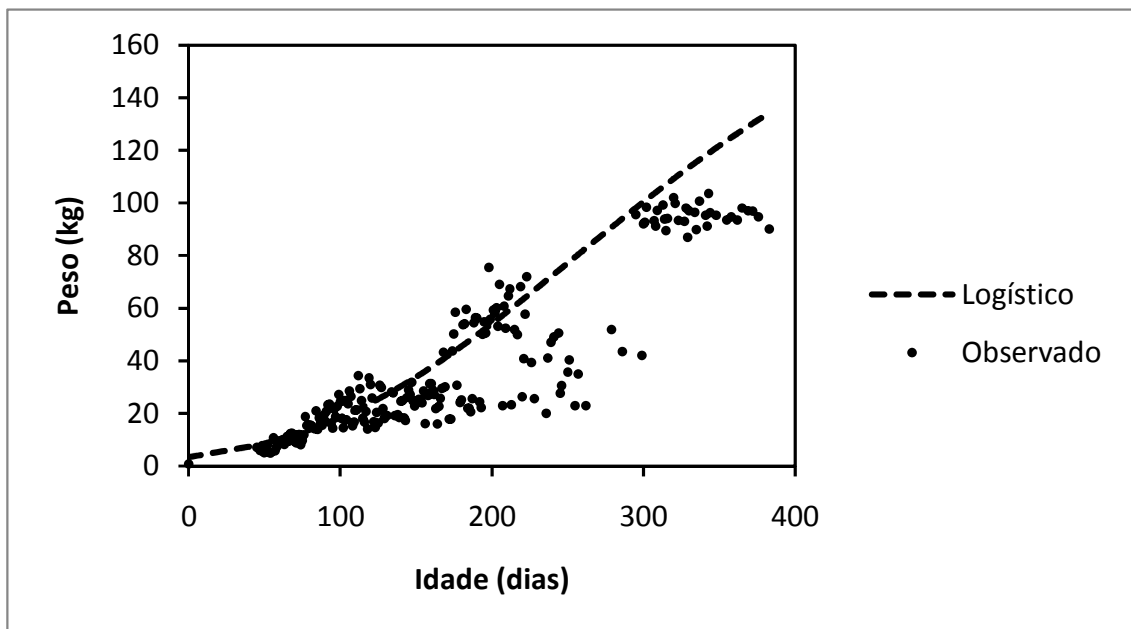


Figura 2. Curvas de peso corporal de avestruzes em função da idade, predita pelo modelo Logístico e de dispersão dos dados observados.

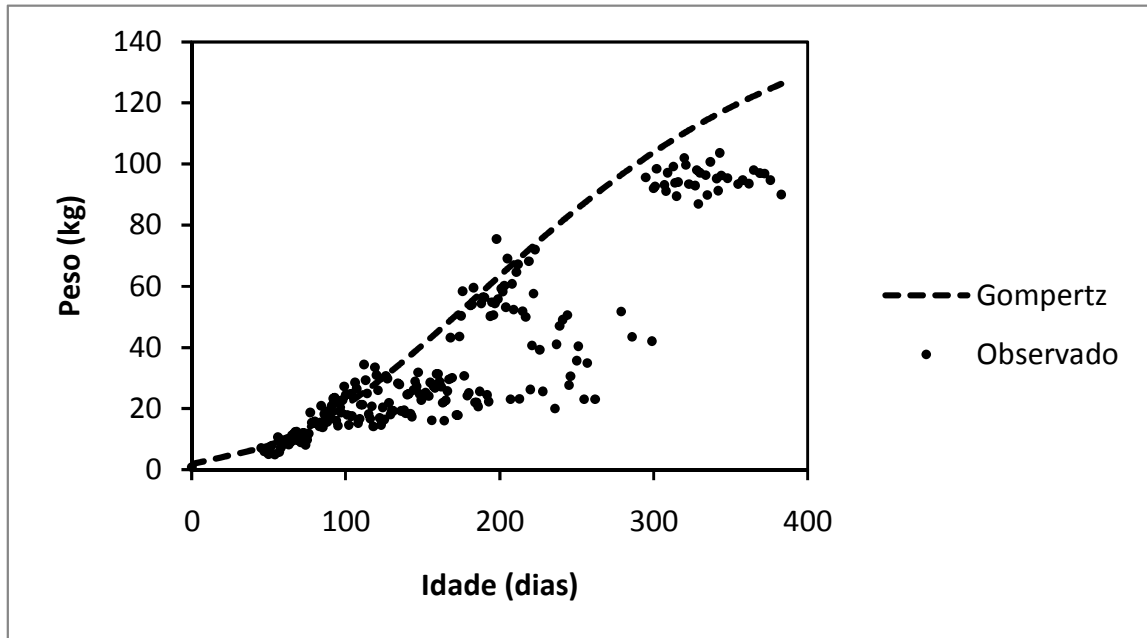


Figura 3. Curvas de peso corporal de avestruzes em função da idade, predita pelo modelo Gompertz e de dispersão dos dados observados.

Conclusões

Dentre os modelos estudados, o que melhor descreveu o crescimento do avestruz foi o Gompertz, cujos parâmetros foram semelhantes aos encontrados por outros autores com rebanhos de outros países e com os dados observados.

Diferenças entre a curva observada e aquelas que foram preditas por modelos não-lineares refletem que maior atenção deve ser dada ao manejo alimentar destas aves.

Referências

ASSOCIAÇÃO DOS CRIADORES DE AVESTRUZES DO BRASIL. **Estruticultura**. Disponível em <http://www.acab.org.br/>. Acesso em: 15 mar 2008.

BERTALANFFY, L. VON. Quantitative laws in metabolism and growth. **The Quarterly Review of Biology**, V.32, P.217-230, 1957.

BRODY, S. **Bioenergetics and growth**. NEW YORK: REINHOLD PUBL., 1945. 1023P.

CILLIERS, S. C., PREEZ, J. J. Du, MARITZ, J. S., HAYES, J. P. Growth curves of ostriches (*Struthio camelus*) from Oudtshoorn in South Africa. **Animal Science**, 1995. vol. 61. p. 161-164.

FREITAS A.R. Curvas de crescimento na produção animal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.3, p.786-795, 2005.

HARTLEY, H.O. The modified Gauss-Newton method for the fitting of nonlinear regression functions by least squares. **Thechnometrics**, v.3, p.269-280, 1961.

JOHNSTON, S. A., GOUS, R. M., A mechanistic, stochastic, population model for egg production. **British Poultry Science**, Roslin, V.48, p.224-232, 2007.

KAWKA, M., HORBAŃCZUK, J. O., SACHARCZUK, M., ZIĘBA, G., ŁUKASZEWICZ, M., JASZCZAK, K., PARADA, R. Genetic Characteristics of the Ostrich Population Using Molecular Methods. **Poultry Science**, Champaign, V.86, p.277-281, 2007.

KNIZETOVA, H. et al. Analysis of growth curves of the fowl. II. ducks. **British Poultry Science**, v.32, p.1039-1053, 1991.

LAIRD, A.K. Dynamics of relative growth. **Growth**, v.29, p.249-263, 1965.

NELDER, J.A. The fitting of a generalization of the logistic curve. **Biometrics**, v.17, p.89-110, 1961.

PREEZ, J. J. Du, JARVIS, M. J. F., CAPATOS, D., KOCK, J. De. A note on growth curves for the ostrich (*Struthio camelus*). **Animal Production**. 1992. vol.54. p. 150 152.

RATKOSWKY, D.A. **Nonlinear regression modeling**. New York: Marcel Dekker, 1983. 297p.

RAWLINGS, J. O., PANTULA, S. G., DICKEY, D. A. **Applied Regression Analysis: A Research Tool, Second Edition**. New York, EUA: Springer-Verlag. 1998. 659p.

RICHARDS, F.J. A flexible growth function for empirical use. **Journal of Experimental Botany**, v.10, p.290-300, 1959.

THOLON P.; QUEIROZ, S.A. Modelos matemáticos utilizados para descrever curvas de crescimento em aves aplicados ao melhoramento animal. **Ciência Rural**, v.39, n.7, p.2261-2269, out 2009.

Anexo 1: Resumo das análises de variância considerando os efeitos fixos de fazenda (FAZ), mês de nascimento (MN), linear de idade de mensuração (IDADE) e quadrático de idade de mensuração (IDADE²) sobre pesos ao nascer (PN), aos 90 (P90) e aos 180 dias de idade (P180).

| Fontes de Variação | Características | | | | | |
|-----------------------|-----------------|--------|-------|---------|-------|--------|
| | PN | | P90 | | P180 | |
| | GL | F | GL | F | GL | F |
| FAZ | 1 | 13,79* | 1 | 310,15* | 1 | 42,46* |
| MN | 8 | 8,51* | 6 | 10,44* | 6 | 0,88* |
| IDADE | - | - | 1 | 25,64* | 1 | 5,33* |
| IDADE ² | - | - | 1 | 20,52* | 1 | 4,74* |
| CV | 10,47 | | 17,73 | | 17,00 | |
| R ² | 0,28 | | 0,56 | | 0,85 | |

*: significativo a $P < 0,05$ ns: não-significativo; F: valor da estatística F; GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação, R²: coeficiente de determinação.