

Modelo de crescimento de Gompertz na avicultura: algumas considerações

Gompertz growth model in poultry farming: some considerations

Modelo de crecimiento de Gompertz en la avicultura: algunas consideraciones

Recebido: 02/06/2020 | Revisado: 29/06/2020 | Aceito: 02/07/2020 | Publicado: 18/07/2020

Emanuele Brusamarelo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6318-9774>

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

E-mail: brusamareloe@hotmail.com

Thuani Venâncio da Silva Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4259-1887>

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

E-mail: thuanivenancio@hotmail.com

Daniela Brusamarelo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5272-3495>

Secretaria de Educação do Mato Grosso, Brasil

E-mail: dankerberos@hotmail.com

Christiane Silva Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7829-0771>

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: christianessouza@gmail.com

Henrique Carvalho de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9441-8568>

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

E-mail: hcozootecnia@gmail.com

Gerusa da Silva Salles Corrêa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0480-1724>

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

E-mail: gerusacorrea@hotmail.com

Andre Brito Corrêa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4515-5351>

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

E-mail: andrecorreaufmt@hotmail.com

Cleber Franklin Santos de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2717-0769>

Universidade Federal de Mato Grosso

E-mail: c_f_s_o@hotmail.com

Resumo

A avicultura refere-se a um importante setor do agronegócio no Brasil. Nos últimos anos, inúmeras modificações ocorreram no setor avícola, tais como o uso das tecnologias e da adoção de ferramentas computacionais com grau variado de complexidade. Registros de estudos de crescimento animal por meio de modelos matemáticos foram ainda descritos no século passado (XX). Desse modo, modelos não lineares como Gompertz têm sido utilizados em estudos do crescimento de aves. Nesse contexto, a presente revisão objetiva discutir modelos não lineares de crescimento, especificamente o modelo de Gompertz na avicultura. A metodologia adotada foi o estudo bibliográfico por meio de fontes documentais. Os achados de pesquisas indicaram que, na avicultura, o modelo de Gompertz tem sido o mais utilizado. Ainda, verificou-se que os resultados obtidos pelo emprego de Gompertz na criação de aves forneceram previsões do crescimento das aves. Os estudos por meio do modelo de Gompertz apontaram que as informações obtidas têm o potencial de aplicabilidade prática para tomada de decisões de gestão da produção avícola. Concluiu-se que o modelo de Gompertz permite resumir informações em pontos específicos do crescimento das aves, portanto, com aplicabilidade teórica e prática para intervenções relacionadas aos programas alimentares e também de manejo na criação de aves.

Palavras-chave: Curva de crescimento; Massa assintótica; Modelagem; Modelo matemático.

Abstract

Poultry farming refers to an important agribusiness sector in Brazil. In recent years, numerous changes have occurred in the poultry sector, such as the use of technologies and the adoption of computer tools with varying degrees of complexity. Records of animal growth studies using mathematical models were yet described in the last century (XX). Thus, non-linear models like Gompertz have been used in studies of bird growth. In this context, this review aims to discuss non-linear models of growth, specifically the Gompertz model in poultry farming. The methodology adopted was the bibliographic study through documentary sources. Research findings indicated that in poultry farming the Gompertz model has been the most used. It was also found that the results obtained by the use of Gompertz in poultry farming

provided forecasts of the growth of the birds. The studies using the Gompertz model pointed out that the information obtained has the potential to be applied to poultry production management decisions. It was concluded that the Gompertz model allows us to summarize information in specific points of the growth of the birds, therefore, with theoretical and practical applicability for interventions related to the feeding programs and also of management in the poultry breeding.

Keywords: Asymptotic mass; Mathematical model; Modelling; Growth curve.

Resumen

La avicultura se refiere a un importante sector agroindustrial en el Brasil. En los últimos años se han producido numerosos cambios en el sector avícola, como la utilización de tecnologías y la adopción de instrumentos informáticos con diversos grados de complejidad. En el siglo pasado (XX) también se describieron registros de estudios de crecimiento animal utilizando modelos matemáticos. Así pues, se han utilizado modelos no lineales como el de Gompertz en estudios sobre el crecimiento de las aves. En este contexto, el presente examen tiene por objeto discutir los modelos no lineales de crecimiento, concretamente el modelo de Gompertz en la avicultura. La metodología adoptada fue el estudio bibliográfico a través de fuentes documentales. Los resultados de la investigación indicaron que en la avicultura el modelo Gompertz ha sido el más utilizado. También se comprobó que los resultados obtenidos por el uso de Gompertz en la avicultura proporcionaban previsiones del crecimiento de las aves. En los estudios realizados con el modelo de Gompertz se señaló que la información obtenida puede aplicarse a las decisiones de gestión de la producción avícola. Se concluyó que el modelo de Gompertz permite resumir la información en puntos específicos del crecimiento de las aves, por lo tanto, con aplicabilidad teórica y práctica para intervenciones relacionadas con los programas de alimentación y también de manejo en la crianza de aves.

Palabras clave: Curva de crecimiento; Masa asintótica; Modelización; Modelo matemático.

1. Introdução

Na definição de modelos e seus pressupostos, Sauvant (1997) descreveu que um modelo será sempre a simplificação da realidade. Tal entendimento frequentemente resultará no agrupamento de entidades (variáveis) que se presumem apresentarem propriedades semelhantes em compartimentos ou fluxos. Em outra caracterização complementar de modelos, Titus & Morton (1985) definiram o processo de modelagem como a busca de

simplificações para a explicabilidade de fenômenos de natureza complexa, sendo os modelos, portanto, abstrações do sistema real.

Nesse contexto, o modelo não linear de Gompertz tem sido estudado na avicultura para representar o padrão de crescimento das aves. O conhecimento desse padrão se encontra relevante pois as características próprias e de cada espécie determinam as diferenças no formato do seu crescimento. Classificado como fenômeno biológico, o crescimento pode ser representado pela sequência de medidas repetidas ao longo do desenvolvimento temporal das aves.

Dessa forma, a utilização de modelos não lineares pode fornecer como ferramenta primária, qualidade de previsões e informações para decisões de gestão (Titus & Morton, 1985). Portanto, o modelo de Gompertz pode ser uma ferramenta provedora de informações para possíveis intervenções direcionadas para adequações no sistema produtivo considerando cada cenário individualmente.

Curvas de crescimento animal, obtidas a partir de modelos não lineares, condensam grande volume de informação em resumido conjunto de parâmetros que podem ser interpretados biologicamente (McManus et al., 2003). Para Mischan & Pinho (2014) quanto mais parâmetros o modelo contiver tanto maior serão os ajustes necessários para a explicabilidade do fenômeno biológico em estudo, portanto, isso pode caracterizar uma limitação para o uso de modelos.

Em termos práticos, as principais contribuições do uso de modelos consistem em identificar as principais variáveis associadas ao fenômeno em estudo, avaliar mudanças decorrentes de alterações provocadas no processo estocástico (tratamentos), analisar tendências (o que permite o estabelecimento de projeções passadas e futuras), e fornecer subsídios para proceder a análises econômicas e a tomada de decisão (Guimarães, 2000).

Em decorrência da evolução tecnológica vivenciada nas últimas décadas, os pacotes computacionais para análises estatísticas com grau variado de complexidade se encontram mais acessíveis e dispõem de uma ampla gama de recursos. Como resultado desse processo, os *softwares* estatísticos em uso na área e saberes da Ciência Animal tem propiciado o uso da modelagem matemática voltada para descrever o crescimento das aves. Nesse contexto, a presente revisão objetiva discutir o uso do modelo de Gompertz na criação de aves.

2. Metodologia

O presente estudo apresentou-se como descritivo (Prodanov & Freitas, 2013). A

metodologia adotada foi o estudo bibliográfico acerca da utilização do modelo de Gompertz na avicultura. As informações foram obtidas em fontes documentais (Zambello et al., 2018), nas bases de dados: Capes, Elsevier, Google Scholar, Pubmed, Scielo, Science Direct e Scopus.

Na sequência procedeu-se a organização do estudo sendo estabelecidas as ligações entre os fatos descritos pelos diferentes pesquisadores em relação ao objetivo da pesquisa, e a partir de então apresentados os apontamentos para o uso do modelo de Gompertz na criação de aves.

3. Modelos de crescimento não lineares

Na caracterização de modelos têm-se que um modelo é uma representação gráfica, esquemática ou analítica de uma realidade, que serve para organizar e comunicar claramente os elementos e as relações que o compõem. Ao ampliar essa definição, o modelo matemático será a representação simplificada da realidade, por meio de funções que descrevem seu comportamento ou de equações que representam suas relações (Bocco, 2010). Em generalização, a um modelo matemático quando acrescido do erro (ϵ_{ij}) tem-se um modelo estatístico.

Os objetivos da modelagem matemática são: integrar conceitos e dados em formato compatível com as análises quantitativas e dinâmicas; reduzir dificuldades conceituais em análises de interações entre elementos de sistemas complexos; avaliar conceitos e dados para estimar sua validade quantitativa e dinâmica; pré-avaliar hipóteses alternativas quando os conceitos são inadequados; estimar os valores dos parâmetros que não podem ser medidos diretamente (Oviedo-Rondón, 2007).

Os modelos podem ser classificados matematicamente em lineares e não lineares. O modelo será linear quando todos os parâmetros estão dispostos linearmente, mesmo na presença de termos elevados ao quadrado, ao cubo, etc. Nos modelos não lineares a matriz de informação contém todos ou alguns parâmetros que serão estimados (Tholon & Queiroz, 2009).

Os diversos modelos matemáticos, de configuração linear ou não linear, podem ser aplicados para descreverem respostas, detalhando o crescimento e o desempenho animal bem como valores para os níveis de aminoácidos das dietas (Siqueira et al., 2009), em qualquer fase de vida dos animais. Entretanto, os modelos de regressão não lineares nos parâmetros são

mais eficientes, por isso são empregados para descreverem o padrão de crescimento de diferentes espécies de animais (Ratkowsky, 1993).

Na seleção de modelos, consideram-se como premissas primárias o estabelecimento do propósito do modelo; a determinação da melhor combinação de equações empíricas e teóricas para representação das funções fisiológicas; a disponibilidade de banco de dados, informações encontradas a campo; e os benefícios e riscos associados ao uso do modelo na produção animal (Tedeschi et al., 2005).

A empregabilidade de modelos de crescimento animal possibilita reunir e resumir informações em pontos estratégicos do desenvolvimento ponderal, e assim, descrever a evolução do peso em função da idade do animal. Tais modelos possibilitam, ainda, a comparação de taxas de crescimento de diferentes indivíduos em estados fisiológicos equivalentes (Tholon & Queiroz, 2009).

Para Freitas (2005), os modelos não lineares são bastante flexíveis para se utilizar com dados de peso-idade, pelo fato de considerarem as características inerentes aos dados de pesagens, como: i) pesagens irregulares no tempo, isto é, o intervalo de duas medidas consecutivas quaisquer não é constante; ii) possuem estrutura incompleta; iii) avaliações adjacentes são mais estreitamente correlacionadas que as demais; iv) resposta dos indivíduos em função do tempo tem variância crescente.

Em adição, os modelos não lineares condensam grande volume de informações de todo o período de vida do animal utilizando menor número de parâmetros, que são interpretáveis biologicamente. Além desta propriedade descritiva, a curva de crescimento pode ser usada para prever estatísticas importantes, como o peso à maturidade, as taxas de crescimento, as respostas à seleção e os graus de maturidade (Rosa et al., 1978).

De acordo com Mischan & Pinho (2014) quando vários modelos são ajustados ao mesmo banco de dados faz-se de valia determinar qual possui o melhor ajuste. Mesmo quando apenas um modelo será ajustado, critérios como: i. média do valor de y, assim quanto mais próximo do valor observado, melhor é o ajuste na fase inicial de crescimento; ii. médias dos parâmetros devem estar de acordo com o seu significado; e iii. quanto menores forem as estimativas de erros padrão e mais estreitos forem os limites dos intervalos de confiança, mais precisas serão as estimativas dos parâmetros.

3.1 Modelo de Gompertz

No decorrer do século XX e início deste século XXI, o modelo de Gompertz vem sendo empregado para a modelagem matemática do crescimento dos animais. As denominações tais como equação, função ou curva de crescimento são definições e caracterizações utilizadas para se referir ao modelo matemático originalmente descrito por Benjamin Gompertz em 1825.

O modelo de Gompertz tem descrito o crescimento, tanto de fenômenos biológicos quanto econômicos (Winsor, 1932). De maneira geral, o modelo tem evidenciado o crescimento de plantas e tumores (Savageau, 1980), de frangos de corte (Freitas et al., 1984), de poedeiras (Braccini Neto et al., 1996; Neme et al., 2006; Oliveira et al., 2018), de bovinos (Tedeschi et al., 2000), de ovinos (Sarmiento et al., 2006), de tilápia do Nilo (Santos et al., 2007).

De acordo com Tjørve & Tjørve (2017) algumas parametrizações são mais utilizadas devido à facilidade de interpretação de seus parâmetros. A escolha do modelo depende da finalidade de uso e do grau de dificuldade para a realização das análises. Para os autores, a configuração mais simplificada do modelo de Gompertz levará em consideração três parâmetros para predizer informações biológicas do crescimento animal.

Guimarães (2000) exemplificou o modelo de Gompertz:

$$\omega = A(\exp(-\exp(\beta_0 + \beta_1 t)))$$

em que: ω representa a magnitude da variável dependente; A corresponde ao valor assintótico; t é a magnitude da variável independente (normalmente o tempo); β_0 e β_1 são respectivamente, os parâmetros determinantes da magnitude inicial $t = 0$ e taxa de expansão. Essa função é classificada como de curvatura rígida, uma vez que apresenta ponto de inflexão constante e coincidente com o inverso da base dos logaritmos neperianos $I = 1/exp = 0,37$, implicando apresentar função de distribuição assimétrica à direita.

Segundo Knížetová et al. (1991), os parâmetros massa assintótica, taxa de crescimento e o t (tempo) que representa à idade (dias, semanas) no ponto de inflexão (PI) são todos considerados parâmetros biológicos interpretáveis do modelo de Gompertz. De acordo com Corrêa & Aguirre (2004), os valores auxiliares, dito assim das estimativas dos parâmetros originadas a partir do modelo empregado na análise, se constituem em ferramenta analítica.

O crescimento das aves pode ainda ser descrito graficamente por meio de curvas originadas a partir de outros modelos matemáticos, tais como o monomolecular (Brody, 1945), o Logístico e o modelo de von Bertalanffy (Braccini Neto et al., 1996). Assim, Oviedo-Rondón (2014) descreveu que o modelo de Gompertz não é o único, no entanto, é o mais estudado principalmente para a descrição de curvas de crescimento de aves, ainda Tjørve & Tjørve (2017) afirmaram que de todos os modelos não lineares de crescimento estudados, Gompertz foi o mais utilizado na modelagem do crescimento animal.

Os achados já descritos apontaram para viabilidade no uso do modelo matemático de Gompertz na produção de aves. Freitas et al. (1984) estudaram modelos de crescimento e concluíram que o modelo de Gompertz e o Logístico proporcionaram os resultados mais adequados quanto ao ajuste de crescimento de frangos de corte machos e fêmeas do nascimento aos 68 dias de idade das aves.

Como resultado do estudo de modelos de crescimento para aves, Oliveira et al. (2018) verificaram que as equações de Gompertz e de Logistic atingiram convergência para os dados de massa corporal de poedeiras leves alojadas em diferentes densidades populacionais. No entanto, Gompertz apresentou os melhores ajustes para as médias dos parâmetros, portanto, foi o modelo unânime.

Neme et al. (2006) utilizaram o modelo de Gompertz para determinar curvas de crescimento de aves de postura de linhagens semipesadas e leves. Os autores afirmaram que a equação se ajustou aos dados e descreveu curvas de crescimento das linhagens de poedeiras e que os estudos dos potenciais de crescimento corporal foram fundamentais para a definição das exigências nutricionais das aves.

No decorrer deste século, diversos autores que estudaram modelos não lineares (Brown et al., 1976; Freitas et al., 1984; Oviedo-Rondón, 2014) descreveram que o uso do modelo de Gompertz tem sido comum em estudos de crescimento animal. De acordo com Casas et al., (2010), a curva de Gompertz permite gerar assimetria ao redor do PI, e atinge este ponto antes de 50% do peso adulto, apresentando crescimento rápido e precoce, e valores mais lentos à medida que se aproxima da assíntota, com período de crescimento linear em torno do ponto de inflexão.

Fialho (1999) definiu ponto de inflexão como o momento em que a taxa de crescimento é máxima. De acordo com Freitas et al. (1984), o ponto de inflexão ocorre quando a alteração no crescimento é máxima, ou seja, quando os acréscimos da taxa de crescimento diária em função da idade passam de crescentes para decrescentes.

Conceitualmente, para Oviedo-Rondón (2014), o modelo de Gompertz descreve o crescimento dos animais de maneira mais apropriada e de fácil interpretação. Conforme Marcato et al. (2009), a equação de Gompertz pode ainda ser aplicada onde se almeje ajustar e descrever curvas de crescimento e de deposição de nutrientes nas penas, músculo, ossos e pele de aves.

3.2 Curva de crescimento de aves

As curvas de crescimento de galinhas poedeiras, frangos, perus, gansos e patos foram representadas por Brody (1945). Samuel Brody descreveu que as curvas de crescimento para estas espécies apresentam como padrão, curvas com o formato de *sigma* estendido, letra de origem grega, por isso, o termo curvas sigmóides. De acordo com Brody, a configuração final da curva sigmoide será determinada pelas características do crescimento animal.

Para Knížetová et al. (1995), a variação nas curvas de crescimento de aves de interesse econômico se relaciona com as alterações biológicas decorrentes do processo evolutivo, desde o seu nascimento, até o desenvolvimento final ou ontogênico. Os autores verificaram que apesar dos modelos de crescimento empregados representarem as curvas de crescimento de frangos, de perus, de patos e de gansos, e destas apresentarem formato sigmoide, no entanto, foram observadas variações atribuídas às diferenças de crescimento entre as espécies.

De acordo com Fitzhugh (1976), o termo curva de crescimento usualmente denota a representação gráfica de curvas sigmóides descrevendo o tempo de vida do animal em uma sequência de medidas de tamanho. No entanto, adotando terminologias mais abrangentes, seriam a representação de curvas de tamanho-idade, tais como: massa-idade, órgão-idade, com a ressalva para a devida distinção entre as medidas de tamanho.

O crescimento animal em termos matemáticos se traduz em um fenômeno não linear, portanto, em alguns dias o crescimento será acelerado e em outros apresentará menores incrementos (Oviedo-Rondón, 2014). Para exemplificar o crescimento das aves, tem-se que uma quantidade cresce linearmente quando seu aumento for constante em um período constante de tempo. Em contrapartida, uma quantidade apresenta crescimento exponencial quando cresce numa porcentagem constante do total, em um período constante de tempo (Meadows et al., 1978).

Em decorrência da variação, o crescimento dos animais em função do tempo se caracteriza como sendo um fenômeno de natureza complexa (Freitas et al., 1984). O desenvolvimento ponderal dos animais pode ser entendido como um processo contínuo, em

que a taxa de crescimento em função da idade será crescente do nascimento até atingir o ponto de máximo, e a partir deste ponto, decresce até valores próximos a zero, quando o tamanho máximo do indivíduo será atingido (Paz et al., 2004).

De maneira geral, o crescimento, por definição inclui também a deposição de gordura. Todavia, os incrementos em massa com deposição muscular são considerados essenciais e de interesse primário em sistemas produtores de carne. Nesse contexto, a maturidade pode ser considerada o ponto em que a massa muscular atinge o máximo crescimento (Owens et al., 1993).

A descrição do padrão de crescimento usando modelos matemáticos permite análises comparativas de indivíduos e de populações. As equações matemáticas de crescimento são úteis porque resumem as informações obtidas a partir de uma sequência de pontos (massa e idade) em relativamente poucas generalizações facilitando a comparação objetiva e eficiente do crescimento das espécies, raças, linhas ou combinações híbridas (Knížetová et al., 1991).

Conforme descrito por Santana et al. (2016) basicamente toda sigmoide terá o formato de S ou S invertido, e para Fitzhugh (1976), as curvas de crescimento refletem as inter-relações inerentes entre o desenvolvimento e o amadurecimento de todas as partes do corpo e o ambiente em que isso acontece.

Além disso, o crescimento em sistemas biológicos se deve principalmente ao aumento no tamanho e número de células e ao acúmulo de substâncias extracelulares. A soma desses processos extremamente dinâmicos resulta em acréscimos no tamanho e massa do organismo com a idade (Aguilar et al., 1983). Nesse contexto, o progresso observado nas dimensões e no tamanho dos animais e seus órgãos se constituem no resultado da evolução física, química e biológica inerentes ao crescimento alométrico.

Para ilustrar isso, a composição do corpo passa por alternâncias durante o crescimento, assim, o incremento em massa também se altera. As flutuações na composição corporal se relacionam tanto em termos químicos quanto físicos. Então, as taxas de ganhos dos diferentes componentes não serão diretamente proporcionais à taxa de crescimento em diferentes pesos. Portanto, para descrever a composição corporal é preciso sinalizar as mudanças desta como incrementos no crescimento (Emmans, 1995).

Os trabalhos que relacionaram a massa corporal do animal em função do tempo apresentaram resultados na identificação de três estágios de crescimento. Na primeira fase tem-se o crescimento exponencial ou hiperplásico; a fase intermediária ou de transição consiste no crescimento hiperplásico e hipertrófico; e na terceira fase tem-se o crescimento

inibido ou desacelerado (amortecido), e envolve o aumento no tamanho da célula (hipertrofia) e de deposição de materiais extracelulares (Aguilar et al., 1983).

Outro aspecto relevante na criação de aves se refere ao crescimento de penas e que também pode ser objeto de estudo da modelagem matemática. De acordo com Richards (1971), as aves apresentam espessa camada de penas com função altamente isolante, sendo a temperatura corporal influenciada pela cobertura de penas, em maior ou menor grau, dependendo do escore de empenamento de cada espécie. Conforme Dyce et al. (2010), as penas são estruturas da epiderme altamente especializadas, e que embora sejam leves com relação ao tamanho apresentam construção e estruturas reforçadas.

No que concerne a cobertura de penas, a quantidade e tamanho variam de acordo com peso corporal entre as espécies. Nas aves adultas, exceto bico, pernas e pés e penas de diferentes formatos recobrem a superfície do corpo. A média de massa de penas corresponde a 6% do peso corporal na maioria das aves sendo que as penas apresentam cerca de 90% de proteínas, e destas, majoritariamente a beta-queratina (Stettenheim, 2000).

Os fatores tais como a densidade de alojamento, a nutrição considerando a fase de criação, as condições gerais de instalações e de ambiente, o sistema de criação, a idade, o sexo e a finalidade produtiva podem interferir no perfil de empenamento das aves. Para Richards (1971), a manutenção da temperatura corporal depende da quantidade de penas recobrando a superfície do corpo. Por outro lado, a perda de calor para o ambiente, direcionado para o conforto das aves depende de menor quantidade de penas.

Segundo Garcia et al. (2002), a predição do crescimento em penas se traduz de natureza complexa, em parte, devido às dificuldades para se computar as perdas e escamações, e também pelo fato que o processo de empenamento envolve mecanismos fisiológicos diversos e complexos, influenciados por fatores nutricionais, hormonais, genéticos, ambientais e a interação entre estes.

Nesse sentido, Cotta (2002) relatou que a renovação das penas ou muda ocorre sucessivas vezes e pode ser total dentro de um período relativamente curto de tempo. Esse mesmo autor, expressou que durante o crescimento da ave ocorrem duas mudas sucessivas antes do empenamento definitivo, chamado de empenamento de base. De acordo com Cangar et al. (2008), as regiões mais quentes da ave são a face e a pata em virtude da ausência de penas com função de isolar o calor, conseqüentemente, o fluxo de calor é maior; e as áreas mais frias são a asa e o peito em razão do maior empenamento.

Os resultados alcançados e descritos para o padrão de crescimento de aves comerciais com o uso do modelo de Gompertz apontaram para a viabilidade e a aplicabilidade prática e

teórica de previsões pautadas na capacidade e na configuração estrutural do modelo em condensar e resumir informações em pontos específicos do crescimento das aves relacionando a massa corporal e a idade.

Diante do exposto, a modelagem matemática computacional, advento das novas tecnologias, tem permitido estudos com modelos não lineares como Gompertz na avicultura com grau variado de complexidade. Titus & Morton (1985) relataram que a limitação de ferramentas computacionais à época constituía entrave para o desenvolvimento, aplicabilidade e verificação de ajuste de modelos aplicados com o intuito de fornecer informações primárias e essenciais para a realidade modelada.

Em decorrência da evolução dos pacotes estatísticos, portanto, tem sido possível adotar modelos não lineares mistos para análise de dados longitudinais com potencial para modelar o crescimento animal. De forma que o advento computacional das últimas décadas tem propiciado empregar na criação de aves modelos matemáticos como o de Gompertz para prever estimativas como a massa assintótica ou massa adulta das aves parâmetro de relevância e que pode ser utilizado para monitorar a uniformidade de lotes na fase de criação e de produção das aves.

Dessa forma, o programa computacional estatístico SAS (*Statistical Analysis System*) tem sido utilizado em análises e procedimentos estatísticos na modelagem do crescimento animal. O desenvolvedor do *software* SAS disponibilizou na versão 9.2 do *software* (licenças gratuitas na modalidade *University Edition*) um conjunto de ferramentas para análises de modelos não lineares mistos (procedimento NLMIXED) em que são considerados os efeitos fixos e aleatórios nas análises o que pode favorecer na qualidade de ajuste do modelo testado.

Assim, o entendimento necessário, sobre qual modelo adotar, está em sua própria definição. O modelo se ajusta aos dados e na ausência do atendimento desta condição, um novo modelo considerado mais adequado para determinadas variáveis modeláveis poderá ser testado. Portanto, para modelar cada realidade pode existir um ou mais modelos, com grau maior ou menor de qualidade de ajuste.

4. Considerações Finais

Os animais apresentam particularidades fisiológicas pautadas em um complexo sistema orgânico que podem promover alterações internas e externas no decorrer do tempo. Dessa forma, os modelos não lineares, dentre eles Gompertz, podem ser testados para a modelagem do crescimento animal.

Em contextos específicos da avicultura, autores convergem para o entendimento de que a modelagem do crescimento das aves por meio do modelo de Gompertz é o mais utilizado, aquele que representa o padrão de crescimento das aves e que por meio de seus parâmetros são obtidas as médias das estimativas dos parâmetros de massa assintótica ou adulta da ave, de taxa de crescimento e também de idade (dias, semanas) para o máximo crescimento que fornecem previsões e informações do crescimento das aves.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior – CAPES (Brasil) pela concessão de bolsa de doutorado. Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal de Mato Grosso/Cuiabá pela oportunidade de formação continuada.

Referências

- Aguilar, C., Friedli, C., & Cañas, R. (1983). The growth curve of animals. *Agricultural Systems*, 10(3), 133-147.
- Bocco, M. (2010). *Funciones elementales para construir modelos matemáticos* (1st ed.). Instituto Nacional de Educación Tecnológica.
- Braccini Neto, J., Dionello, N. J. L., Júnior, P. S., Bongalardo, D. C., & Xavier, E. G. (1996). Análise de curvas de crescimento de aves de postura. *Revista Da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 25(6), 1062-1073.
- Brody, S. (1945). *Bioenergetics and growth*. Reinhold Publishing Corporation.
- Brown, J. E., Fitzhugh, H. A. J., & Cartwright, T. C. (1976). A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. *Journal of Animal Scienc*, 42(4), 810-818.
- Cangar, Ö., Aerts, J. M., Buyse, J., & Berckmans, D. (2008). Quantification of the spatial distribution of surface temperatures of broilers. *Poultry Science*, 87(12), 2493-2499. doi:

10.3382/ps.2007-00326.

Casas, G. A., Rodríguez, D., & Téllez, G. A. (2010). Propiedades matemáticas del modelo de Gompertz y su aplicación al crecimiento de los cerdos. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 23(3), 349-358.

Corrêa, M. V., & Aguirre, L. A. (2004). Identificação não-linear caixa-cinza: uma revisão e novos resultados. *Sba: Controle & Automação Sociedade Brasileira de Automatica*, 15(2), 109-126. doi: 10.1590/S0103-17592004000200001.

Cotta, T. (2002). *Galinha: produção de ovos*. Aprenda Fácil.

Dyce, K. M., Sack, W. O., & Wensing, C. J. G. (2010). *Tratado de anatomia veterinária* (K M Dyce, W. O. Sack, & C. J. G. Wensing (eds.); (4th ed.). Elsevier.

Emmans, G. C. (1995). Problems in modelling the growth of poultry. *World's Poultry Science Journal*, 51, 77-89.

Fialho, F. B. (1999). Interpretação da curva de crescimento de Gompertz. *Concórdia: Embrapa – CNPSA*, 237, 1-4. doi: 10.2193/2006-341.

Fitzhugh, H. A. (1976). Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. *Journal of Animal Science*, 42(4), 1036-1051.

Frank, R., Nunes, R. V., Schone, R. A., Parra, A. P., & Castilha, L. D. (2016). Desempenho e parâmetros intestinais de frangos Label Rouge recebendo silagem de grãos úmidos de milho. *Revista Ciencia Agronomica*, 47(4), 761-769. doi: 10.5935/1806-6690.20160091.

Freitas, A. R. de. (2005). Curvas de crescimento na produção animal. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34(3), 786-795. doi: 10.1590/S1516-35982005000300010.

Freitas, A. R. DE, Albino, L. F. T., Filho, T. M., & Rosso, L. A. de. (1984). Modelos de curvas de crescimento em frangos de corte. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 19(9), 1057-1064.

Garcia, R., Mendes, A., Garcia, E., Nääs, I., Moreira, J., Almeida, I., & Takita, T. (2002). Efeito da Densidade de Criação e do Sexo Sobre o Empenamento, Incidência de Lesões na Carcaça e Qualidade da Carne de Peito de Frangos de Corte. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 4(1), 00-00. doi: 10.1590/S1516-635X2002000100004.

Gompertz, B. (1825). On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. *Royal Society*, 115, 513-583. doi: 10.1038/161375b0.

Guimarães, D. P. (2000). Um modelo de passo invariante baseado na função de Gompertz para prognose do crescimento. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35(1), 75-81. doi: 10.1590/S0100-204X2000000100010.

Knížetová, H., Hyánek, J., Hyánková, L., & Bělíček, P. (1995). Comparative study of growth curves in poultry. *Genetics, Selection, Evolution*, 27(4), 365-375. doi: 10.1016/0999-193X(96)80487-3.

Knížetová, H., Hyánek, J., Kníže, B., & Roubíček, J. (1991). Analysis of growth curves of fowl. I. Chickens. *British Poultry Science*, 32(5), 1027-1038. doi: 10.1080/00071669108417427.

Marcato, S. M., Sakomura, N. K., Fernandez, J. B. K., Nascimento, D. C. N., Furlan, R. L., & Piva, G. H. (2009). Crescimento e deposição de nutrientes nas penas, músculo, ossos e pele de frangos de corte de duas linhagens comerciais. *Ciência e Agrotecnologia*, 33(4), 1159-1168.

McManus, C., Evangelista, C., Fernandes, L. A. C., De Miranda, R. M., Moreno-Bernal, F. E., & Dos Santos, N. R. (2003). Curvas de crescimento de ovinos bergamácia criados no Distrito Federal. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 32(5), 1207-1212. doi: 10.1590/S1516-35982003000500022.

Mischan, M. M., & Pinho, S. Z. de. (2014). *Modelos não lineares: Funções assintóticas de crescimento* (1st ed.). Cultura Acadêmica.

Neme, R., Sakomura, N. K., Fukayama, E. H., Freitas, E. R., Fialho, F. B., Resende, K. T. de,

& Fernandes, J. B. K. (2006). Curvas de crescimento e de deposição dos componentes corporais em aves de postura de diferentes linhagens. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35(3), 1091-1100.

Oliveira, C. F. S. de, Tavares, J. M. N., Corrêa, G. D. S. S., Vieira, B. S., Barbosa, S. A. P. V., Corrêa, A. B., & Lima, C. A. R. de. (2018). Mathematical models to describe the growth curves of white-egg layers. *Semina: Ciências Agrárias*, 39(3), 1327-1334. doi: 10.5433/1679-0359.2018v39n3p1327.

Oviedo-Rondón, E. O. (2007). Modelagem por compartimentos para integrar e comunicar conhecimento em nutrição. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36, 305-313. doi: 10.1590/S1516-35982007001000028.

Oviedo-Rondón, E. O. (2014). Como usar y desarrollar un modelo matemático para nutrición avícola. *Asociación Colombiana de Médicos Veterinarios y Zootecnistas Especialistas En Avicultura*, 47, 4-12.

Owens, F. N., Dubeski, P., & Hanson, C. F. (1993). Factors that alter the growth and development of ruminants. *Journal of Animal Science*, 71(11), 3138-3150. doi:1993.71113138x.

Paz, C. C. P., Packer, I. U., Freitas, A. R. de, Tambasco-Talhari, D., Regitano, L. C. de A., Alencar, M. M. de, & Cruz, G. M. da. (2004). Ajuste de modelos não-lineares em estudos de associação entre polimorfismos genéticos e crescimento em bovinos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33(6), 1416-1425. doi:10.1590/S1516-35982004000600008.

Prodanov, C.C., & Freitas, E.C. (2013). *Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico*. (2.ed., 276p.) Novo Hamburgo-RS: Feevale.

Ratkowsky, D. A. (1993). Principles of nonlinear regression modeling. *Journal of Industrial Microbiology*, 12(3-5), 195-199. doi: 10.1007/BF01584190.

Richards, S. A. (1971). The significance of changes in the temperature of the skin and body core of the chicken in the regulation of heat loss. *Journal of Physiology*, 216, 1-10.

- Rosa, A. N., Silva, M. de A., & Ludwig, A. (1978). Parâmetros genéticos e fenotípicos de pesos corporais ajustados pela curva de crescimento de animais da raça Nelore. *Revista Da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 7(2), 329-345.
- Santana, T. J. S., Scalon, J. D., Bittencourt, T. C. C., & Santana, A. S. A. de. (2016). Modelo von bertalanffy com resposta em platô para descrever curvas de crescimento de bovinos de corte. *Revista Brasileira de Biometria*, 34(4), 646-655.
- Santos, V. B. dos, Freitas, R. T. F. de, Silva, F. F. e, & Freato, T. A. (2007). Avaliação de curvas de crescimento morfométrico de linhagens de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*). *Ciência e Agrotecnologia*, 31(5), 1486-1492. doi: 10.1590/S1413-70542007000500032.
- Sarmento, J. L. R., Regazzi, A. J., Sousa, W. H. de, Torres, R. de A., Breda, F. C., & Menezes, G. R. de O. (2006). Estudo da curva de crescimento de ovinos Santa Inês. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35(2), 435-442. doi: 10.1590/S1516-35982006000200014.
- Sauvant, D. (1997). Rumen mathematical modelling. In *The rumen microbial ecosystem* (2nd ed., pp. 685-705). Blackie Academic & Professional.
- Savageau, M. A. (1980). Growth equations: a general equation and a survey of special cases. *Mathematical Biosciences*, 48(3-4), 267-278. doi: 10.1016/0025-5564(80)90061-9.
- Siqueira, J. C. de, Sakomura, N. K., Nascimento, D. C. N., & Fernandes, J. B. K. (2009). Modelos matemáticos para estimar as exigências de lisina digestível para aves de corte ISA Label. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(9), 1732-1737. doi: 10.1590/S1516-35982009000900013.
- Stettenheim, P. R. (2000). The integumentary morphology of modern birds — An overview. *American Zoologist*, 40, 461-477.
- Tedeschi, L. O., Fox, D. G., Sainz, R. D., Barioni, L. G., Medeiros, S. R. de, & Boin, C. (2005). Mathematical models in ruminant nutrition. *Scientia Agricola*, 62(1), 76-91. doi: 10.1590/S0103-90162005000100015.

Tedeschi, L. O., Boin, C., Nardon, R. F., & Leme, P. R. (2000). Estudo da Curva de Crescimento de Animais da Raça Guzerá e seus Cruzamentos Alimentados a Pasto , com e sem Suplementação . 1 . Análise e Seleção das Funções Não-Lineares. *Revista Brasileira De Zootecnia*, 29(2), 630-637. doi: 10.1590/S1516-35982002000700012.

Tholon, P., & Queiroz, S. A. De. (2009). Modelos matemáticos utilizados para descrever curvas de crescimento em aves aplicados ao melhoramento genético animal. *Ciência Rural*, 39(7), 2261-2269. doi: 10.1590/S0103-84782009000700050.

Titus, S. J., & Morton, R. T. (1985). Forest stand growth models: what for? *The Forestry Chronicle*, 61(1), 19-22. doi: 10.5558/tfc61019-1.

Tjørve, K. M. C., & Tjørve, E. (2017). The use of Gompertz models in growth analyses, and new Gompertz-model approach: An addition to the Unified-Richards family. *PLOS ONE*, 12(6), 1-17. doi: 10.1371/journal.pone.0178691.

Winsor, C. P. (1932). The Gompertz curve as a growth curve. *National Academy of Sciences*, 18(1), 1-8.

Zambello, A. V., Soares, A. G., Tauil, C. E., Donzelli, C. A., Fontana, F., & Chotolli, W. P. (2018). *Metodologia da pesquisa e do trabalho científico*. (1.ed., 94p.). Organizador: Thiago Mazucato. Penápolis-SP: FUNEPE.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Emanuele Brusamarelo – 20%
Thuani Venâncio da Silva Pereira – 15%
Daniela Brusamarelo – 15%
Christiane Silva Souza – 10%
Henrique Carvalho de Oliveira – 10%
Gerusa da Silva Salles Corrêa – 10%
Andre Brito Corrêa – 10%
Cleber Franklin Santos de Oliveira – 10%