

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ZOOTECNIA**

**LUANNA APARECIDA SALES**

**CURVAS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE OVOS EM LOTES  
COMERCIAIS DE CODORNAS JAPONESAS**

**RECIFE  
2026**

**LUANNA APARECIDA SALES**

**CURVA DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE OVOS EM LOTES  
COMERCIAIS DE CODORNAS JAPONESAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal Rural de Pernambuco para obtenção do título de Doutor em Zootecnia

Área de concentração: Zootecnia

Orientador: Prof. Dr. Carlos Bôa Viagem Rabello

Coorientadores: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Lilian Francisco Arantes de Souza

**RECIFE  
2026**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Bibliotecário(a): Auxiliadora Cunha – CRB-4 1134

S163c Sales, Luanna Aparecida.  
Curvas de crescimento e produção de ovos em lotes comerciais de codornas japonesas / Luanna Aparecida Sales. – Recife, 2026.  
104 f.

Orientador(a): Carlos Bôa Viagem Rabello.  
Co-orientador(a): Lilian Francisco Arantes de Souza.  
Co-orientador(a): Marcos José Batista dos Santos.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Recife, BR-PE, 2026.

Inclui referências e anexo(s).

1. Codornas japonesas. 2. Crescimento corporal. 3. Codornas - Ovos - Produção. 4. Modelos não lineares I. Rabello, Carlos Bôa Viagem, orient. II. Souza, Lilian Francisco Arantes de, coorient. III. Santos, Marcos José Batista dos, coorient. IV. Título

CDD 636



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**CURVAS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE OVOS EM LOTES COMERCIAIS  
DE CODORNAS JAPONESAS**

Tese elaborado por  
LUANNA APARECIDA SALES

Aprovada em ...../...../.....

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Carlos Bôa Viagem Rabello (Orientador)  
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Lilian Francisco Arantes de Souza  
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

---

Prof. Dr. Marcos Jose Batista dos Santos  
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

---

Prof. Dr. Danilo Vargas Gonçalves Vieira  
Universidade Federal do Tocantins (UFT)

---

Prof. Dr. Danilo Teixeira Cavalcante  
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE)

*“Tudo é do Pai, toda honra e toda Glória, é d’Ele a vitória, alcançada em minha vida”*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, acima de todas as coisas, que me sustentou nos dias difíceis, me fortaleceu nos momentos de cansaço e me concedeu sabedoria para não desistir. Sem Sua presença constante, nada disso seria possível.

Ao meu pai, Orlando (*in memoriam*), que mesmo não estando fisicamente presente, continua sendo minha base, minha inspiração e minha força. Seu amor permanece vivo em mim e me acompanha em cada conquista.

À minha mãe, Sirley, meu maior exemplo de amor, dedicação e coragem. Obrigada por nunca soltar minha mão, por acreditar em mim quando nem eu mesma acreditava, e por ser meu porto seguro em todos os momentos.

Ao meu noivo, Diego, pelo amor, paciência, apoio incondicional e por caminhar ao meu lado mesmo nos dias mais difíceis. Seu incentivo foi essencial para que eu chegasse até aqui.

À minha irmã, Priscila, pela parceria, amizade e carinho, por sempre me apoiar e me fortalecer nos momentos de desânimo.

À minha avó, Nazaré (*in memoriam*), que deixou um legado de amor, fé e ensinamentos que carrego comigo todos os dias. Sua memória vive em cada passo que dou.

Ao professor Antônio Gilberto Bertechini, que me apresentou o mundo da avicultura com generosidade, entusiasmo e inspiração.

Ao Paulo Renê, que desde o período de estágio me incentivou, compartilhou vivências, ensinamentos e experiências.

À Vaccinar Nutrição Animal, pela oportunidade em poder dar continuidade aos estudos, e em especial à Cláudio Franco e Javer Vieira, que além do conhecimento que partilham, são exemplos de uma gestão humanizada.

Aos amigos Willian Pagliarin e Willian Fujikura pela amizade construída ao longo dos anos.

Ao meu orientador, Professor Carlos Bôa Viagem Rabello e ao Marcos José Batista dos Santos, pela orientação, paciência, conhecimento compartilhado, incentivo e confiança. A professora Lilian Arantes, Danilo Cavalcante e Danilo Vargas, obrigada por contribuírem de forma tão significativa para minha formação acadêmica e profissional.

A granja Ovo Novo, em especial, Josimario Florêncio, pela oportunidade de realizar a

pesquisa e incentivar a continuação dos meus estudos.

## RESUMO

O desenvolvimento desta tese teve como objetivo estudar modelos não lineares para descrever o crescimento corporal e a produção de ovos em codornas japonesas das linhagens A e B, utilizando dados zootécnicos de lotes comerciais no Nordeste brasileiro. Foram realizados dois experimentos, sendo um com codornas na fase de crescimento e o segundo com codornas na fase de postura. No experimento I, avaliaram-se os modelos de Gompertz, Logístico, Richards e Von Bertalanffy para caracterizar a dinâmica do crescimento corporal de 1 a 42 dias de idade. Para isto coletou-se dados diários de 55 mil aves por lote (peso médio, consumo de ração, temperatura e mortalidade). As aves foram alojadas em densidade inicial de 35 cm<sup>2</sup>/ave com iluminação de 24 h reduzida gradualmente até 14 h, e alimentadas em três fases com energia metabolizável variando de 2960 a 2900 kcal/kg e proteína bruta de 26% a 22,5%. Os modelos foram ajustados via mínimos quadrados não lineares utilizando o método iterativo de Marquardt, avaliados por RMSE, AIC e BIC. No experimento II, compararam-se os modelos Gompertz, Compartimental, Logístico Modificado e Gamma para predição de produção de ovos (EO, % ave<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) e massa de ovos (EM, g ave<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) de 43 a 425 dias de idade, com dados diários de 55 mil aves por lote. No galpão de postura, a densidade foi de 105 cm<sup>2</sup>/ave, com regime de iluminação progressivo até 17 h diárias. As dietas de postura (postura I e II) continham energia metabolizável de 2900-2850 kcal/kg, proteína bruta de 21,5-22,5% e cálcio total de 3,3-3,5%. Os modelos foram ajustados por mínimos quadrados não lineares e avaliados pelos mesmos critérios. Para o crescimento, o modelo de Von Bertalanffy exibiu menores AIC (342,79) e BIC (350,08), com parâmetros: peso assintótico (a) = 209,2 g, taxa de maturidade (k) = 0,0452 dia<sup>-1</sup> e b = 0,6838. A análise de paralelismo revelou igualdade em a e b entre linhagens (p > 0,05), mas diferença significativa em k (p = 0,0031), indicando ritmos de crescimento distintos. Em relação à produção de ovos, o modelo Compartimental mostrou melhor ajuste (AIC = 2519,90 para produção; AIC = -392,57 para massa de ovos). O pico de produção ocorreu na 9<sup>a</sup> semana (~80%). A análise de paralelismo evidenciou níveis assintóticos semelhantes (p > 0,05), mas diferenças significativas nas taxas de subida e deslocamento temporal (p < 0,01), indicando ritmos iniciais distintos entre linhagens, com implicações para o manejo produtivo e estratégias de melhoramento genético.

**Palavras-chave:** codornas japonesas; crescimento corporal; produção de ovos; modelos não lineares

## ABSTRACT

The aim of this thesis was to study non-linear models to describe body growth and egg production in Japanese quail of the A and B strains, using zootechnical data from commercial flocks in Northeast Brazil. Two experiments were conducted, one with quail in the growth phase and the second with quail in the laying phase. In experiment I, the Gompertz, Logistic, Richards, and Von Bertalanffy models were evaluated to characterize the dynamics of body growth from 1 to 42 days of age. For this, daily data were collected from 55,000 birds per flock (average weight, feed consumption, temperature, and mortality). The birds were housed at an initial density of 35 cm<sup>2</sup>/bird with 24-hour lighting gradually reduced to 14 hours, and fed in three phases with metabolizable energy ranging from 2960 to 2900 kcal/kg and crude protein from 26% to 22.5%. The models were fitted using nonlinear least squares with the Marquardt iterative method, and evaluated by RMSE, AIC, and BIC. In experiment II, the Gompertz, Compartmental, Modified Logistic, and Gamma models were compared for predicting egg production (EO, % hen<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>) and egg mass (EM, g hen<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>) from 43 to 425 days of age, with daily data from 55,000 birds per batch. In the laying hen house, the density was 105 cm<sup>2</sup>/hen, with a progressive lighting regime up to 17 hours per day. The laying hen diets contained metabolizable energy of 2900-2850 kcal/kg, crude protein of 21.5-22.5%, and total calcium of 3.3-3.5%. The models were fitted using nonlinear least squares and evaluated using the same criteria. The Von Bertalanffy model exhibited lower AIC (342.79) and BIC (350.08), with parameters: asymptotic weight (a) = 209.2 g, maturity rate (k) = 0.0452 day<sup>-1</sup> and b = 0.6838. Parallelism analysis revealed equality in a and b between lines (p > 0.05), but a significant difference in k (p = 0.0031), indicating distinct growth rates. The Compartmental model showed a better fit (AIC = 2519.90 for production; AIC = -392.57 for egg mass). Peak production occurred in the 9th week (~80%). The parallelism analysis revealed similar asymptotic levels (p > 0.05), but significant differences in the rates of rise and temporal displacement (p < 0.01), indicating distinct initial rhythms between lines, with implications for production management and genetic improvement strategies.

**Keywords:** japanese quail; body growth; egg production; nonlinear models

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

**Figura 1.** Diferença entre as duas principais teorias do crescimento de frangos de corte. .... 44

### CAPÍTULO II

**Figura 1.** Evolução da temperatura média do ambiente ( $^{\circ}\text{C}$ ) (a), consumo médio ( $\text{g ave}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ) (b) e mortalidade (%) (c) das codornas japonesas das linhagens A (vermelha) e B (azul) ao longo do desenvolvimento. .... 76

**Figura 2.** Curva de crescimento corporal (g) de duas linhagens de codornas japonesas (A e B) em uma granja comercial situada no nordeste brasileiro avaliadas ao longo dos primeiros 42 dias de vida com ajuste pelos modelos de Gompertz (vermelho), Richards (azul), Logístico (verde) e Von Bertalanffy (amarela), comparada aos dados observados (preto). Pontos representam os valores observados e linhas contínuas os valores estimados pelo modelo. .... 767

**Figura 3.** Comparação quanto ao crescimento corporal (g) observado e predito pelo modelo Von Bertalanffy entre duas linhagens de codornas japonesas, A (vermelho) e B (azul) avaliadas ao longo dos primeiros 42 dias de vida. Pontos representam os valores observados e linhas contínuas os valores estimados. .... 72

### CAPÍTULO III

**Figura 1.** Predição da produção de ovos (EO, %) de duas linhagens de codornas japonesas (A e B) em uma granja comercial situada no nordeste brasileiro avaliadas do 43 $^{\circ}$  dia até que as aves completassem 425 dias de idade, com ajuste pelos modelos de Gompertz (vermelho), Compartimental (azul), Logística Modificada (verde) e Gamma (amarela), comparada aos dados observados (preto). Pontos representam os valores observados e linhas contínuas os valores estimados pelo modelo. .... 92

**Figura 2.** Predição da massa de ovos (EM, g) de duas linhagens de codornas japonesas (A e B) em uma granja comercial situada no nordeste brasileiro avaliadas do 43 $^{\circ}$  dia até que as aves completassem 425 dias de idade, com ajuste pelos modelos de Gompertz (vermelho), Compartimental (azul), Logística Modificada (verde) e Gamma (laranja), comparada aos dados observados (preto). Pontos representam os valores observados e linhas contínuas os valores estimados pelo modelo. .... 93

**Figura 3.** Comparação quanto a produção de ovos (%) observada e predita pelo modelo Compartimental entre duas linhagens de codornas japonesas, A (vermelho) e B (azul), criadas em granja comercial no Nordeste brasileiro, avaliadas do 43 $^{\circ}$  ao 425 $^{\circ}$  dia de idade. Pontos representam os valores observados e linhas contínuas os valores estimados pelo modelo. .... 97

**Figura 4.** Comparação quanto á massa de ovos (g) observada e predita pelo modelo Compartimental entre duas linhagens de codornas japonesas, A (vermelho) e B (azul), criadas em granja comercial no Nordeste brasileiro, avaliadas do 43 $^{\circ}$  ao 425 $^{\circ}$  dia de idade. Pontos representam os valores observados e linhas contínuas os valores estimados pelo modelo. .... 98

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO II

<b>Tabela 1.</b> Expressões matemáticas e parâmetros dos modelos não lineares de crescimento avaliados. ....	634
<b>Tabela 2.</b> Estimativas dos parâmetros a (g), b, k e m referente ao crescimento corporal de duas linhagens de codornas japonesas (A e B) avaliadas ao longo dos primeiros 42 dias de vida de acordo com os modelos de Gompertz, Logístico, Richards e Von Bertalanffy e estimativas de qualidade do ajuste e da capacidade preditiva desses modelos pela raiz do erro quadrático médio (RMSE), e pelos critérios de informação de Akaike (AIC) e Bayesiano (BIC). ....	767
<b>Tabela 3.</b> Resumo dos resultados dos testes de paralelismo crescimento corporal de duas linhagens de codornas japonesas (A e B) avaliadas ao longo dos primeiros 42 dias de vida, com ajuste pelo modelo Von Bertalanffy. ....	71

### CAPÍTULO III

<b>Tabela 1.</b> Expressões matemáticas e parâmetros dos modelos não lineares de crescimento avaliados. ....	98
<b>Tabela 2.</b> Estimativas dos parâmetros a (%), b, c e d referentes à produção de ovos (EO, %) de duas linhagens de codornas japonesas (A e B) em uma granja comercial situada no nordeste brasileiro avaliadas do 43º dia até que as aves completassem 425 dias de idade de acordo com os modelos de Gompertz, Compartimental, Logística Modificada e Gamma e estimativas de qualidade do ajuste e da capacidade preditiva desses modelos pela raiz do erro quadrático médio (RMSE) e pelos critérios de informação de Akaike (AIC) e Bayesiano (BIC). ....	91
<b>Tabela 3.</b> Estimativas dos parâmetros a (g), b, c e d referentes à massa de ovos (EM, g) de duas linhagens de codornas japonesas (A e B) em uma granja comercial situada no nordeste brasileiro avaliadas do 43º dia até que as aves completassem 425 dias de idade de acordo com os modelos de Gompertz, Compartimental, Logística Modificada e Gamma e estimativas de qualidade do ajuste e da capacidade preditiva desses modelos pela raiz do erro quadrático médio (RMSE) e pelos critérios de informação de Akaike (AIC) e Bayesiano (BIC). ....	92
<b>Tabela 4.</b> Resumo dos resultados dos testes de paralelismo quanto a produção de ovos entre duas linhagens de codornas japonesas (A e B) situadas em uma granja comercial no nordeste brasileiro avaliadas do 43º dia até que as aves completassem 425 dias de idade, com ajuste pelo modelo de Compartimental. ....	96
<b>Tabela 5.</b> Resumo dos resultados dos testes de paralelismo quanto a massa de ovos (EM, g) entre duas linhagens de codornas japonesas (A e B) situadas em uma granja comercial no nordeste brasileiro avaliadas do 43º dia até que as aves completassem 425 dias de idade, com ajuste pelo modelo Compartimental. ....	97

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	13
<b>CAPÍTULO I</b> .....	15
<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	15
<b>1 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	16
1.1 COTURNICULTURA DE POSTURA.....	16
1.2 CODORNAS JAPONESAS ( <i>Coturnix coturnix japonica</i> ).....	17
1.3 DESENVOLVIMENTO GENÉTICO .....	18
1.4 TAXA DE CRESCIMENTO DE CODORNAS JAPONESAS.....	20
1.4.1.1 Modelo de Gompertz .....	22
1.4.1.2 Modelo de crescimento logístico ou modelo de Verhulst.....	23
1.4.1.3 Modelo de Von Bertalanffy .....	24
1.4.1.4 Modelo de Richards .....	25
1.5 TEORIA DO CRESCIMENTO AVES .....	26
1.6 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DO CRESCIMENTO ANIMAL .....	27
1.7 TEORIA DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO ANIMAL DE GERRY C. EMMANS.....	28
1.7.1 Princípios e Suposições .....	28
1.7.2 Balanço Energético e Manutenção .....	29
1.8.1 Seleção Genética e Reprodução .....	31
1.8.1.1 Potencial genético de crescimento de codornas: adaptações a partir da teoria aplicada em frangos de corte .....	31
1.9 CRESCIMENTO, DESEMPENHO E PRODUÇÃO DE OVOS: FATORES ASSOCIADOS .....	35
1.9.1 Nutrição e Aspectos Gerais.....	35
1.9.2 Níveis de Proteína e Energia Metabolizável.....	36
1.9.3 Ambiência e Densidade .....	38
1.10.4 Manejo de Debicagem.....	40
1.10.5 Manejo de Programa de Luz.....	41
1.10 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	43
REFERÊNCIAS .....	43
ZANELLA, I.; SAKOMURA, N. K.; SILVERSIDES, F. G.; FIGUEIREDO, A.; PACK, M. Effect of enzyme supplementation of broiler diets based on corn and soybeans. <b>Poultry Science</b> , Champaign, v. 78, n. 4, p. 561-568, abr. 1999.....	55
<b>CAPÍTULO II</b> .....	56
<b>AVALIAÇÃO DE MODELOS NÃO-LINEARES E ANÁLISE DE PARALELISMO NO CRESCIMENTO CORPORAL DE LINHAGENS DE CODORNA JAPONESA</b> .....	56
Avaliação de modelos não-lineares e análise de paralelismo no crescimento corporal de linhagens de codorna japonesa.....	57
Resumo.....	57
Abstract.....	57
Introdução .....	58
Material e Métodos.....	60
Base de dados e Amostragem.....	61
Alojamento e Manejo .....	61

Dietas .....	62
Análise estatística e modelos matemáticos .....	63
Resultados e Discussão .....	64
Conclusão .....	73
CAPÍTULO III.....	80
DESEMPENHO DE MODELOS NÃO-LINEARES NA PREDIÇÃO DA PRODUÇÃO E MASSA DE OVOS EM LINHAGENS DE CODORNA JAPONESA.....	80
Desempenho de modelos não-lineares na predição da produção e massa de ovos em linhagens de codorna japonesa .....	81
Resumo.....	81
Abstract .....	81
<b>Introdução</b> .....	82
Material e Métodos.....	85
<b>Base de dados e Amostragem</b> .....	85
Alojamento e Manejo .....	85
Dieta .....	86
Análise estatística e modelos matemáticos .....	86
Resultados e Discussão .....	88
Conclusão .....	100
Referências Bibliográficas.....	100

## INTRODUÇÃO GERAL

A coturnicultura é uma atividade relevante para a avicultura brasileira (Lima et al., 2015), com grande potencial de crescimento (Grieser et al., 2024). De acordo com os dados disponibilizado pelo IBGE, o Brasil, em 2022, possuía, aproximadamente, 14 milhões de codornas, e a produção de ovos de codorna no Brasil atingiu 229 milhões de dúzias nesse período (IBGE,

2023a). Já em 2023, o Brasil contou com um quantitativo de 15,3 milhões de codornas (IBGE, 2023b). A Região Sudeste foi a que mais contribuiu para a produção de ovos (IBGE, 2023a).

O crescimento da coturnicultura brasileira deve-se aos menores custos de investimentos quanto à implantação e à manutenção da atividade e ao retorno rápido do investimento inicial, a partir do segundo ano (Silva et al., 2018; Grieser et al., 2024). Ademais, as codornas, como as codornas japonesas (*Coturnix coturnix japonica*), apresentam características quantitativas e zootécnicas muito vantajosas, como alta produtividade (média de 300 ovos/ano) (Lima et al., 2015), crescimento rápido, precocidade, longevidade (14 a 18 meses) e maturidade sexual precoce (35 a 42 dias) (Pastori et al., 2012; Pereira et al., 2016; Santos et al., 2020).

Embora o Brasil figure entre os principais produtores avícolas mundiais, o segmento coturnícola ainda apresenta potencial significativo de consolidação e aprimoramento estrutural. Historicamente, o desenvolvimento dessa cadeia produtiva ocorreu de forma menos estruturada, quando comparado a outras espécies avícolas, especialmente no que se refere à implementação sistematizada de programas de melhoramento genético fundamentados em critérios técnico-científicos, tanto para aptidão de postura, quanto para corte, que passaram a ser estabelecidos no país apenas a partir de 2002 (Rocha-Silva et al., 2016).

O conhecimento da dinâmica de crescimento animal pode ser realizado por meio de equações não lineares (Brito et al., 2021). Este modelo consiste no agrupamento de símbolos e ligações matemáticas que descrevem o objeto de estudo, a fim de simularem eventos reais por meio de equações (Santos et al., 2020). O uso de modelos matemáticos para descrição de fenômenos biológicos, como crescimento e produção de ovos, é muito útil, sobretudo, para seleção de animais (Mota et al., 2015).

O uso de modelos não-lineares para estimar as curvas de crescimento e de produção de ovos de codornas é de extrema importância para a produção avícola, já que permitem comparar diferentes curvas, prever a produção total de ovos, com registros parciais, e fornecem análise detalhada do ciclo de produção de ovos (Fialho et al., 2001). Contudo, os estudos acerca do ajuste de curva de produção de ovos em codornas japonesas ainda são muito escassos, uma vez que estes se concentraram sobretudo em galinhas (Alshaheen, 2017). Além disso, para melhor interpretar os modelos e entender os principais fatores que possam influenciar no crescimento e desenvolvimento das aves é fundamental para que ajustes sejam realizados.

Esta tese é composta por três capítulos. O primeiro corresponde ao referencial teórico, no qual se descrevem brevemente as principais características envolvidas na produção coturnícola e a utilização de modelos matemáticos para avaliação de crescimento e produção de ovos. Os capítulos 2 e 3 apresentam e discutem os resultados obtidos com os estudos de modelos durante a fase de crescimento e produção de ovos de codornas japonesas, respectivamente.

O objetivo geral foi avaliar e comparar modelos não-lineares para descrever o crescimento corporal e o desempenho produtivo (produção e massa de ovos) de linhagens comerciais de codornas japonesas, identificando o modelo mais equilibrado e descritivo, a fim de investigar diferenças estruturais entre linhagens por meio da análise de paralelismo. Partiu-se da hipótese de que os modelos diferem quanto à capacidade de ajuste e predição dos dados em condições comerciais e que as linhagens A e B apresentam variações genéticas que se refletem nos parâmetros, no nível e na forma das curvas de crescimento e de produção, podendo resultar em padrões biologicamente e estruturalmente distintos ao longo do ciclo.

**CAPÍTULO I**

---

**REFERENCIAL TEÓRICO**

## 1 REVISÃO DE LITERATURA

### 1.1 COTURNICULTURA DE POSTURA

A coturnicultura é uma atividade em ascensão no agronegócio brasileiro, cujo principal produto é o ovo. Destaca-se entre os quatro maiores produtores, que incluem estados com produção entre 60.000 e 100.000 dúzias, Ceará, Pernambuco, Espírito Santo e Santa Catarina. No total, o mercado brasileiro abrange 15,3 milhões de codornas e gera uma receita anual de R\$ 577,5 milhões (aproximadamente US\$ 115 milhões ou EUR 105 milhões) (IBGE 2023b). Em Pernambuco (27.084 dúzias), o município que mais contribui para a produção é Carpina, seguido por São Bento do Una, Igarassu, Vitória do Santo Antão e Bezerros (IBGE, 2023a).

A coturnicultura apresenta um grande potencial de crescimento (Grieser et al., 2024), o que favorece o aumento dos plantéis e dos índices de produtividade, fruto da difusão de tecnologias, como a ampliação de fornecedores de codornas de um dia e o melhoramento genético (Oliveira, 2007). Além disso, a criação de codornas conta com diversas vantagens, como facilidade de manejo, baixo custo de implantação, rápido crescimento, precocidade, alta taxa de postura e baixo consumo de ração (Ferronato et al., 2020).

Vale acrescentar que os ovos de codorna são alimentos equilibrados e completos, com alto valor biológico (Vieira Filho et al., 2016) e com grandes quantidades de aminoácidos essenciais, lipídeos, vitaminas e minerais. Ademais, o baixo preço no mercado e a presença de atributos funcionais e diferentes formas de utilização do produto permitem o acesso desses produtos a diversas classes sociais (Fernandes et al., 2015). Segundo Grieser et al. (2024), atualmente, na produção de ovos, a comercialização pode ser de forma *in natura* ou industrializada, aumentando a vida de prateleira do produto. No geral, a atividade de industrialização é mais praticada por grandes produtores, devido a altos custos no investimento, porém, agrega valor ao produto, tornando a cadeia de produção de ovos mais lucrativa.

A cadeia produtiva da coturnicultura ainda é bastante desestruturada e se baseia, principalmente, em pequenas parcerias entre produtores que formalizam contratos formais ou informais entre si. Nesse contexto, a integração entre produtores e indústria representa uma das alternativas para estruturação dessa cadeia produtiva, uma vez que favorece a produção em escala, a tecnificação da produção e, conseqüentemente, a redução dos custos de transações (Grieser et al.,

2024). Esta estratégia pode fomentar o segmento coturnícola, pois promove aumento de plantéis, ingresso de novos criadores e maior oferta de produtos no varejo.

Embora a comercialização de ovos de codorna apresente maior consolidação quando comparada ao mercado de carne dessa espécie, o produto ainda é frequentemente percebido como de nicho, ou de consumo não habitual (Grieser et al., 2024). Esta caracterização mercadológica repercute em padrões de demanda relativamente modestos, refletindo em níveis de consumo inferiores, quando comparados a outras fontes proteicas amplamente estabelecidas (Bertechini, 2010; Silva et al., 2020).

A produção de ovos de codornas apresenta aspectos estruturais que ainda podem ser aprimorados, especialmente no que se refere à disponibilidade de aves neonatas para reposição de plantéis que encerram o ciclo produtivo (Araujo et al., 2015) e ao fortalecimento de programas nacionais de melhoramento e desenvolvimento de linhagens (Teixeira et al., 2012). Observa-se também a necessidade de maior padronização técnica nos critérios de seleção de matrizes e de monitoramento contínuo da variabilidade genética dos plantéis, considerando possíveis efeitos acumulativos da endogamia ao longo das gerações (Leandro et al., 2019).

Atualmente, a produção de ovos de codornas destina-se, principalmente, ao mercado interno. Vale adicionar que, em 2023, o Brasil iniciou a exportação de material genético, com a comercialização de ovos férteis de codornas e de codornas de um dia para o Egito (Brasil, 2023). Estes resultados demonstram o progresso dos programas de melhoramento genético de codornas de postura, que permitiram a superação da dependência de material genético externo.

## 1.2 CODORNAS JAPONESAS (*Coturnix coturnix japonica*)

As codornas pertencem à classe das aves, à ordem dos Galináceos, à família das Phasianidae, à subfamília dos Perdicionidae e ao gênero *Coturnix*, com diversas espécies (Nascimento et al., 2021). A espécie de codorna *Coturnix coturnix japonica*, comumente conhecida como codorna doméstica ou japonesa, é a mais difundida mundialmente, incluindo no Brasil (Grieser et al., 2015; Santos et al., 2020; Grieser et al., 2024).

No Brasil, as codornas japonesas foram introduzidas em 1959 por imigrantes japoneses e italianos, inicialmente com a finalidade de caça. Posteriormente, foram direcionadas, sobretudo, para a produção de ovos (Vasconcelos et al., 2014; Nascimento et al., 2021). A linhagem é fruto

dos cruzamentos de codornas europeias com espécies de codornas selvagens, realizados pelos japoneses no século XX (Nascimento et al., 2021).

As codornas *Coturnix coturnix japonica* são altamente especializadas para a produção de ovos, com peso, na fase adulta, de 140 a 160g (Santos et al., 2020). Além disso, apresentam diversas características quantitativas e zootécnicas relevantes, como precocidade sexual, por volta de 40 a 45 dias de vida (Saraswati et al., 2013), podendo a maturidade sexual antecipar aos 36 dias de idade (Cheng et al. 2010; Mizutani, 2003); longevidade de produção, em torno de 12 a 14 meses, com percentual de postura de 80%; baixo consumo de ração de cerca de 25 a 28g; alta produção de ovos de aproximadamente 300 ovos/ave/ano, e resistência a doenças (Nascimento et al., 2021). O pico de produção de ovos dessas aves ocorre aos cinco meses de idade (Saraswati et al., 2013).

Vale ressaltar que as codornas japonesas atingem o ápice da taxa de crescimento aos 27 dias (Silva; Costa, 2009) e apresentam elevada densidade de criação (90 a 106 aves/m<sup>2</sup>) (Albino; Barreto, 2003). Os ovos de codornas japonesas são pequenos, com cerca de 30 mm de comprimento e peso médio de 10 a 15 g, e apresentam período de incubação de aproximadamente 16,5 dias (Ainsworth et al., 2010). Em resumo, as codornas japonesas apresentam intervalo de geração muito curto (Dauda et al., 2014), favorecendo tanto o sucesso dos programas de melhoramento genético, já que encurta o período de seleção, quanto a produção de proteína de alta qualidade para consumo humano, especialmente, proveniente de ovos.

### 1.3 DESENVOLVIMENTO GENÉTICO

Os primeiros registros dos programas de seleção genética voltados ao melhoramento de codornas japonesas com objetivo de aumentar a produção de ovos datam de 1907 a meados de 1941 realizados no Japão (Lobato et al, 2025). O processo de domesticação, ou seja, para fins de produção de carne e ovos, provocou mudanças consideráveis na morfologia, comportamento e produtividade, conseqüentemente com mudanças no peso dos ovos e no peso corporal das aves, diferindo a codorna de postura de seus ancestrais selvagens (Lukanov, 2019).

Quanto às características de produção, a capacidade de postura influenciada pela domesticação e a seleção praticada para esta característica resultaram em aumento da produção de ovos (Lukanov; Pavlova, 2020). Com o processo de seleção das características desejáveis, alterações consideráveis e favoráveis foram realizadas para que houvesse desenvolvimento do

setor, onde o peso dos ovos em codornas selvagens era de, aproximadamente, 6,9 gramas e, para a codorna de postura, atingiu-se o peso entre 10,9 e 12 gramas, podendo atingir até 15 gramas. Já o peso corporal da codorna selvagem variava entre 85 e 110 gramas, enquanto a codorna de postura apresentava peso entre 120 e 160 gramas, podendo atingir até 190 gramas na fase adulta, quando em condições ideais de manejo, nutrição e ambiência (Wilson et al. 1971; MizutanI, 2003; Chang et al. 2009; Muniz et al. 2018).

O Brasil possui material genético e linhagens especializadas na produção de ovos de codorna. Atualmente, três empresas são responsáveis por material genético no Brasil. Segundo Stivanin (2023), as empresas detentoras das linhagens possuem denominação de matrizeiros, mantendo programas de melhoramento genético, nos quais todos os segmentos de produção estão localizados dentro da empresa. Em um único local, são mantidos desde o núcleo de seleção até o plantel multiplicador.

O plantel do núcleo é composto por linhas puras, que são a base genética do sistema de reprodução e melhoramento genético. Neste núcleo, são registradas informações fenotípicas de interesse, no caso de aves comerciais, especificamente galinhas poedeiras ou codornas, incluindo: peso corporal, ganho de peso, desempenho de postura, resistência a doenças, entre outras (Oldenbroek; Liesbeth, 2014).

De modo geral, em codornas de postura, as características que podem ser utilizadas como critérios de seleção são a idade ao primeiro ovo, uma vez que pode haver uma correlação positiva entre esta idade e o sucesso da produção; o número de ovos produzidos em um ciclo de postura; a longevidade da produção (estima-se uma idade no qual a produção é viável para o produtor); peso médio dos ovos; qualidade da casca, e peso corporal da ave (Martins, 2015). Ao avaliar o peso corporal de codornas de postura, no período de uma a seis semanas de idade, foram estimadas herdabilidade entre 0,13 (0,047) e 0,19 (0,052) (SAATCI et al. 2006). Já no período da segunda e quarta semana de idade, foram realizadas estimativas de herdabilidade de 0,36 e 0,44 para peso corporal (Özsoy; Aktan, 2011).

Para que haja desenvolvimento de linhagens de codornas com características desejáveis específicas, como produção de ovos, a seleção e o cruzamento representam etapas fundamentais e complementares. Segundo Falconer e Mackay (1996), de modo geral, o processo de seleção consiste na escolha de indivíduos com características desejáveis, com objetivo de aumentar a frequência de genes favoráveis na população ao longo das gerações, por meio de características

fenotípicas ou genotípicas. Já o cruzamento refere-se à reprodução controlada entre indivíduos diferentes, com o objetivo de combinar seus genes para gerar descendentes com atributos superiores ou desejáveis, cujo objetivo é explorar a heterose e recuperar os efeitos da endogamia.

#### 1.4 TAXA DE CRESCIMENTO DE CODORNAS JAPONESAS

O crescimento corporal é determinado pela deposição de proteína, gordura e minerais. A deposição e as proporções destes componentes individualmente, em cada órgão corporal, determinam a idade fisiológica das aves e o estágio de maturidade (Rickefs, 1985). Como as aves, inclusive as codornas, possuem porte menor, isto é, menor massa corporal, a taxa de metabólica desses animais é muito alta, o que proporcionalmente aumenta o consumo de ração por unidade de massa corporal (Gasparotto et al., 2011). Logo, as aves apresentam crescimento mais rápido em relação aos outros animais.

A composição corporal exerce papel determinante na maturidade fisiológica e sexual das aves de postura, haja vista que o início de postura é determinado por fatores inter-relacionados, como idade, peso corporal, gordura corporal, tecido magro e genética (Neme et al., 2006). Portanto, as taxas de crescimento das aves são influenciadas por fatores genéticos e ambientais.

A eficiência do crescimento animal pode ser avaliada, por meio de estimativas de pesos obtidos de ajuste de modelos não-lineares, em intervalos de idade, em que os pesos não foram coletados (Silva et al., 2004). Nesse contexto, as curvas de crescimento corporal das aves fornecem informações em relação ao desempenho produtivo, uma vez que o crescimento corporal está diretamente correlacionado com a deposição de tecidos (Neme et al., 2006).

##### 1.4.1 Descrição Não-Linear do Crescimento e Produção de Ovos de Codornas

Segundo Aggarwal et al. (2019), modelos matemáticos são conjuntos de ferramentas que permitem apresentar matematicamente processos do mundo real, ao fazer estimativas por intermédio de pesquisa, verificação e interpretação. Dessa forma, os modelos requerem informações consistentes, ou seja, dados precisos para alimentá-los, a fim de garantir que os resultados obtidos sejam o mais próximo possível da realidade (Máximo, 2023).

Embora haja diversos modelos matemáticos, como linear, não-linear, estático, dinâmico, determinístico, empírico e mecanicista (Rondón; Murakami; Sakaguti, 2002), o modelo não-linear é o mais indicado para descrever a curva de crescimento e de produção de ovos de codornas (Nahashon et al., 2005; Oviedo-Rondón, 2014), uma vez que este apresenta parâmetros com interpretação biológica que auxiliam na compreensão (Savegnago et al. 2011). Dessa forma, o crescimento corporal e a produção de ovos, ao longo do tempo, podem ser descritos por equações não lineares (Marcato et al., 2010), permitindo a previsão do desenvolvimento das linhagens (Tholon; Queiroz, 2009) e, conseqüentemente, auxiliando na pré-seleção de animais, uma vez que podem prever o crescimento para qualquer idade (Raji; Alade; Duwa, 2014).

Existem diversos modelos de regressão não-linear, como Brody, Gompertz, Logistic (Souza et al., 2017) e Von Betalanffy (Fradinho et al., 2016). A modelagem de curvas de crescimento e de produção de ovos descreve e prevê o crescimento e a maturidade das aves, por meio de inferências, construídas sobre a interpretação dos parâmetros incluídos nos modelos (Lobo et al., 2006; Mota et al., 2015). Estes efeitos são possíveis, pois são considerados parâmetros fisiológicos, como o peso corporal e a espécie. O primeiro está diretamente relacionado ao início da idade produtiva das aves (Brody; Siegel; Cherry, 1984), assim como ao peso dos primeiros ovos (Braz et al., 2011). Inclusive, pequenas variações no peso corporal das aves podem resultar em um aporte físico inadequado para o desenvolvimento do sistema reprodutivo, no início do período de criação (Lima et al., 2011), bem como para a persistência de postura durante toda a vida da ave (Vieira Filho et al., 2016). O segundo determina a velocidade de crescimento, uma vez que animais de pequeno porte apresentam crescimento mais rápido (Mota et al., 2015).

Nesse contexto, as curvas de crescimento permitem a comparação de crescimento entre aves de linhagens e sexo distintos, o que torna possível avaliar os efeitos da seleção genética, do sexo ou dos fatores ambientais sobre o desenvolvimento das codornas (Grieser et al., 2015). Além disso, esses modelos podem prever a melhor idade de abate e de início de postura e os índices de eficiência de produção, fornecendo dados para desenvolvimento de *software*, a fim de aumentar o entendimento em relação ao desenvolvimento das aves, ao melhor manejo, à ambiência das instalações e à nutrição (Marcato et al., 2010).

Logo, a predição de fenômenos biológicos por meio de modelos matemáticos é o meio mais barato, pois simplificam as complexidades teóricas e a relação entre processos envolvidos dentro de um mesmo fenômeno. Ademais, esses modelos preveem resultados de fatores que não poderiam

ser mensurados diretamente, contribuindo para a lucratividade e a sustentabilidade dos sistemas de produção (Andreta et al., 2017).

#### *1.4.1.1 Modelo de Gompertz*

O modelo de Gompertz é uma equação diferencial que descreve o crescimento exponencial limitado de uma população ou sistema (Máximo, 2023). Como esse modelo apresenta parâmetros com significados biológicos, é o mais amplamente utilizado para as aves (Sakomura et al., 2005; Silva et al., 2014).

$$Y = a (\exp (-b \exp(-kt) )) \quad (1)$$

Em que:

“Y” é a medição correspondente (de peso) no tempo t (dias);

“a” é o peso adulto (kg ou g);

“b” é uma constante de integração, relacionada aos pesos iniciais do animal até a idade adulta do animal, não possui interpretação bem definida;

“k” é um parâmetro da velocidade (kg/dia por kg), e

"exp" = 2,71828 (base do logaritmo neperiano).

No modelo de Gompertz, a taxa de crescimento inicial aumenta linearmente até atingir o máximo e, posteriormente, decresce de forma assintótica (Casas; Rodríguez; Téllez, 2010). A representação dessa curva é sigmoideal, com ponto de inflexão, que representa a taxa máxima de crescimento, com base na idade, e outro assintótico (Lawrence; Flower, 2002). Na etapa inicial da curva, observa-se um período em que a taxa de crescimento é próxima de 0, conhecida como fase de latência (Devlieghere et al., 2008).

O modelo de Gompertz descreve o crescimento dos animais de maneira mais apropriada e de fácil interpretação (Oviedo-Rondón, 2014). Neme et al. (2006) e Raji, Alade e Duwa (2014) observaram que o modelo de Gompertz descreveu adequadamente as curvas de crescimento, respectivamente, de aves de postura de linhagens semipesadas e leves e de codornas japonesas machos e fêmeas. E ainda concluíram que a compreensão dos padrões de crescimento dessas

linhagens são fundamentais para o melhoramento e para a determinação das exigências nutricionais.

Igualmente, Rossi et al. (2017) observaram que o modelo de Gompertz, em relação aos modelos Logístico, de Brody e Von Bertalanffy, se ajustou adequadamente às curvas de crescimento corporal de codornas de corte (*Coturnix coturnix coturnix*) e de postura (*Coturnix coturnix japonica*). Os autores destacaram que a parametrização desse modelo apresenta interpretação especial e, com isso, permite a expressão da idade em que a taxa de crescimento animal é máxima, o que o torna mais flexível e vantajoso.

Firat et al. (2016) observaram que os modelos de Gompertz e Richards melhor descreveram o crescimento de codornas poedeiras japonesas em relação ao modelo Logístico. No entanto, a função de Gompertz é considerada a melhor opção para descrever o crescimento e a produção de ovos das aves, com base no peso e na idade (Marcato et al., 2010; Grieser et al., 2015; Mota et al., 2015; Finco et al., 2016; Rocha-Silva et al., 2016).

#### 1.4.1.2 Modelo de crescimento logístico ou modelo de Verhulst

Em 1798, foi publicada a primeira tentativa de utilização de métodos matemáticos na modelagem de crescimento do contingente populacional. O economista inglês Thomas Robert Malthus propôs que, sob determinadas condições, a população humana aumentaria exponencialmente (Thornley; France, 2007).

De acordo com Ceconello (2006) e Teixeira et al. (2012), o modelo de Verhulst foi proposto pelo matemático belga Pierre-François Verhulst em 1838, sendo o primeiro a determinar um limite para o crescimento populacional. Em 1920, Pearl e Reeds aplicaram o modelo a populações de *drosophila* e dados experimentais referentes a populações humanas. O modelo incorpora limitações ambientais ao modelo malthusiano. Várias parametrizações têm sido propostas para este modelo. As equações 2 e 3 referem-se à forma logística generalizada (Nelder, 1961)

$$Y = a (1 + b \exp (-kt))^{-1} \quad (2)$$

$$Y = a (1 + \exp (-kt))^{-m} \quad (3)$$

Em que:

“Y” é a medição correspondente (de peso) no tempo t (dias);

“a” é o peso adulto (kg ou g);

“b” é uma constante de integração, relacionada aos pesos iniciais do animal até a idade adulta do animal, valor fixado = 1.

“k” é um parâmetro da velocidade (kg/dia por kg);

"exp" = 2,71828 (base do logaritmo neperiano), e

“m” é o parâmetro de inflexão.

Este modelo baseia-se na ideia de que o desenvolvimento corporal se fundamenta em três suposições: 1) é proporcional ao peso; 2) é proporcional ao substrato (quantidade de alimento), e 3) é um processo irreversível (Thornley; France, 2007).

Na equação 2, este modelo considera a velocidade de crescimento proporcional ao crescimento efetuado e ao crescimento que fica por efetuar.

Considerando que as condições assumidas na elaboração do modelo são ideais, ele pode ser utilizado como uma boa aproximação para períodos curtos, embora sua aplicação seja limitada em intervalos de tempo mais longos.

#### 1.4.1.3 Modelo de Von Bertalanffy

Em 1957, Ludwig Von Bertalanffy publicou seu trabalho onde estabelece quantitativamente as relações entre o tamanho corporal de um organismo e sua taxa metabólica. O modelo leva em consideração o balanço metabólico no cálculo da taxa de crescimento dos organismos.

A equação proposta é:

$$Y = a (1 - b \exp(-kt)) \quad (4)$$

Em que:

“Y” é a medição correspondente (de peso) no tempo t (dias);

“a” é o peso adulto (kg ou g);

“b” é uma constante de integração, relacionada aos pesos iniciais do animal até a idade adulta do animal, não possui interpretação bem definida;

“k” é um parâmetro da velocidade (kg/dia por kg), e  
 “exp” = 2,71828 (base do logaritmo neperiano).

Vale ressaltar que nesse modelo, o autor descreveu em sua equação o crescimento dos peixes, no qual o ganho de peso se apresenta como resultado do processo anabólico e a perda de peso como produto do catabolismo, conforme a lei de alometria, ou seja, o ganho de peso é proporcional à área de superfície do organismo, assim, a taxa desse processo pode ser expressa em função do peso corporal (Von Bertalanffy, 1957).

#### 1.4.1.4 Modelo de Richards

O modelo de Richards, desenvolvido por Francis John Richards e publicado em 1959, define um ajuste com base em um novo parâmetro relacionado à assimetria da curva. A equação do modelo de Richards é capaz de fornecer as curvas de crescimento encontradas nos modelos de Gompertz, Von Bertalanffy e de Verhulst.

A equação diferencial do modelo de Richards é dada por:

$$Y = a (1 - b \exp(-kt))^m \quad (5)$$

Em que:

“Y” é a medição correspondente (de peso) no tempo t (dias);

“a” é o peso adulto (kg ou g);

“b” é uma constante de integração, relacionada aos pesos iniciais do animal até a idade adulta do animal, não possui interpretação bem definida;

“k” é um parâmetro da velocidade (kg/dia por kg);

“exp” = 2,71828 (base do logaritmo neperiano), e

“m” é o parâmetro do ponto de inflexão.

Segundo Demuner (2016), a função possui quatro parâmetros, porém, com ponto de inflexão variável, sendo considerado por vários pesquisadores como o modelo de crescimento mais completo. A relevância desse modelo reside no ponto de inflexão, que depende do parâmetro m e deve ser estimado para cada análise, permitindo uma interpretação biológica mais precisa.

## 1.5 TEORIA DO CRESCIMENTO AVES

A teoria do crescimento animal é uma área interdisciplinar que busca compreender os processos biológicos, fisiológicos e matemáticos que regulam o aumento de massa corporal e o desenvolvimento dos animais ao longo do tempo. Este conhecimento é fundamental para a zootecnia, pois fornece as bases para otimizar práticas de manejo, nutrição e melhoramento genético, visando a eficiência produtiva e o bem-estar animal.

O crescimento animal é um processo biológico complexo, caracterizado pelo aumento irreversível da massa corporal ao longo do tempo, resultante da multiplicação e hipertrofia celular. Este fenômeno é influenciado por uma interação multifatorial entre genética, nutrição, ambiente e manejo (Eler, 2016). No contexto da avicultura, compreender os padrões de crescimento das aves é fundamental para otimizar a produção, melhorar a eficiência alimentar e atender às exigências do mercado consumidor.

Historicamente, o estudo do crescimento animal evoluiu com o desenvolvimento de modelos matemáticos que descrevem as curvas de crescimento. Entre os modelos mais utilizados na avicultura, destacam-se os modelos não-lineares de Gompertz, Logístico e Von Bertalanffy, que permitem estimar parâmetros como peso assintótico, taxa de crescimento e ponto de inflexão da curva (Neme et al., 2006).

O modelo de Gompertz, em particular, tem sido amplamente utilizado na descrição do crescimento de frangos de corte e poedeiras, devido a sua capacidade de representar adequadamente o padrão sigmoide de crescimento dessas aves. Estudos recentes confirmam que esse modelo oferece o melhor ajuste para dados de crescimento na avicultura, permitindo identificar fases críticas do desenvolvimento e auxiliando na formulação de estratégias nutricionais e de manejo específicas para cada etapa do crescimento (Espino, 2024; Brusamelo; Pereira, 2020).

Além dos aspectos genéticos e nutricionais, fatores ambientais como temperatura, densidade populacional e qualidade do ar desempenham papel crucial no desempenho zootécnico das aves. Condições ambientais inadequadas podem comprometer o crescimento, aumentar a mortalidade e reduzir a eficiência produtiva (Tinoco, 2001). Além disso, a má qualidade do ar, caracterizada por altos níveis de amônia e poeira, pode causar irritações nas vias respiratórias e predispor as aves a doenças, impactando diretamente no seu desempenho (Naas, 2002).

No cenário atual da avicultura, a integração de conhecimentos sobre genética, nutrição, ambiente e modelos de crescimento é essencial para o desenvolvimento de sistemas de produção sustentáveis e eficientes. A aplicação desses conceitos permite não apenas melhorar o desempenho das aves, mas também atender às demandas por produtos de qualidade, produzidos de forma ética e ambientalmente responsável.

## 1.6 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DO CRESCIMENTO ANIMAL

O crescimento e o desenvolvimento são processos distintos, mas inter-relacionados, que descrevem as mudanças físicas e funcionais que ocorrem no organismo animal desde a concepção até a fase adulta (Berg; Butterfield, 1976). Compreender suas diferenças é essencial para o manejo reprodutivo, nutricional e genético dos animais de produção.

Crescimento refere-se ao aumento quantitativo no tamanho corporal, geralmente medido por parâmetros como peso vivo, altura ou comprimento. Este processo envolve a multiplicação e hipertrofia celular, levando à expansão de tecidos como músculo e osso. É um fenômeno mensurável e, muitas vezes, previsível, especialmente em sistemas de produção animal intensiva (Hutu, Oldenbroek; Waaij, 2020).

Segundo Neme (2006), o desenvolvimento diz respeito a mudanças qualitativas na estrutura e função dos tecidos e órgãos, incluindo a diferenciação celular, a maturação funcional dos sistemas fisiológicos (como o digestivo, ósseo e reprodutivo) e o refinamento das funções biológicas. O desenvolvimento não necessariamente implica aumento de massa, mas, sim, a aquisição de complexidade e especialização. Portanto, em termos zootécnicos, o crescimento pode ocorrer mesmo sem desenvolvimento pleno (como no ganho de peso por deposição de gordura), e o desenvolvimento pode ocorrer em situações em que o crescimento está limitado (como na diferenciação de tecidos em restrição alimentar leve). Ambos os processos são controlados por fatores genéticos, hormonais, nutricionais e ambientais, e sua compreensão é essencial para definir estratégias de alimentação, seleção genética e ambiência ao longo das diferentes fases da vida animal (Hutu, Oldenbroek; Waaij, 2020).

Do ponto de vista genético, o potencial de crescimento está diretamente associado à constituição genotípica, sendo influenciado por marcadores moleculares, polimorfismos e interações epigenéticas (Lawrence; Fowler, 2002). No campo nutricional, a ingestão adequada de

proteínas, energia e minerais é fundamental para que os animais expressem esse potencial genético. Um exemplo claro pode ser observado nas aves, como apontado por Rostagno et al. (2014):

A nutrição deve ser ajustada às diferentes fases de desenvolvimento das aves, uma vez que as exigências de nutrientes variam com a idade, sexo, linhagem e condições ambientais. Desequilíbrios nutricionais podem afetar negativamente o desempenho, a saúde e a eficiência alimentar das aves (2014, p.3)

Além disso, os fatores ambientais, como temperatura, ventilação, densidade populacional e luminosidade, impactam diretamente a fisiologia dos animais. O estresse térmico, por exemplo, pode reduzir o consumo de ração e afetar negativamente o metabolismo energético (Zanella et al., 1999). A dimensão endócrina desempenha papel decisivo: hormônios, como a somatotropina, insulina e tiroxina, regulam a síntese proteica, lipólise e crescimento ósseo, sendo determinantes nos períodos de maior deposição de tecidos (Lawrence & Fowler, 2002). Em resumo, os fatores internos associados ao crescimento, como o potencial genético, a regulação hormonal e a disponibilidade de nutrientes, interagem de forma dinâmica com as condições ambientais para determinar o ritmo e a qualidade do ganho de peso e desenvolvimento dos animais (Lawrence; Fowler, 2002; Zanella et al., 1999).

A modelagem matemática tem sido amplamente utilizada para descrever padrões de crescimento animal. Entre os modelos mais empregados, destaca-se o de Gompertz, que ajusta de forma precisa o crescimento sigmoide característico de aves e suínos, permitindo previsões com base em dados empíricos (Takman et al., 2004). A aplicação desses modelos possibilita o planejamento de dietas, programas de abate e estratégias de manejo com maior acurácia e sustentabilidade.

## 1.7 TEORIA DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO ANIMAL DE GERRY C. EMMANS

### 1.7.1 Princípios e Suposições

Gerry C. Emmans foi um dos principais expoentes na modelagem biológica do crescimento animal, especialmente para as aves (Ferguson & Gous, 1997; Ferguson *et al.*, 1997). Sua contribuição mais notável reside na formulação de uma teoria mecanicista que descreve o crescimento e a ingestão alimentar de aves, fundamentada em princípios fisiológicos e genéticos.

Esta abordagem busca prever o desempenho dos animais com base em seu potencial genético e nas condições ambientais e nutricionais às quais estão submetidos (Emmans, 1981).

Segundo Berhe & Gous (2005), a teoria de Emmans parte do pressuposto de que aves, quando alimentadas conforme sua vontade, tentam crescer em direção ao seu potencial genético máximo. Para isso, elas ajustam sua ingestão alimentar de acordo com as necessidades nutricionais impostas por esse potencial de crescimento. Entretanto, fatores como a composição da dieta, a densidade energética dos alimentos e as condições ambientais podem limitar essa ingestão, impedindo que o animal atinja seu crescimento ideal (Emmans, 1986).

Um dos pilares dessa teoria é a ideia de que a ingestão alimentar não deve ser considerada uma variável independente nos modelos de crescimento, mas, sim, uma variável dependente que resulta das interações entre o potencial genético do animal, a composição da dieta e o ambiente. Desse modo, modelos preditivos devem ser capazes de estimar a ingestão alimentar com base nesses fatores, permitindo uma previsão mais precisa do crescimento e da composição corporal das aves (Emmans, 1989).

De acordo com Boorman & Burgess (1986), a teoria enfatiza a importância de considerar a hierarquia na utilização de nutrientes pelo organismo. Em primeiro lugar, os nutrientes são direcionados para a manutenção das funções vitais; em seguida, para o crescimento e, por fim, para a reprodução. A priorização influencia diretamente a eficiência alimentar e o desempenho produtivo das aves (Emmans, 1994).

A aplicação prática da teoria de Emmans permite a formulação de dietas mais precisas, ajustadas às necessidades específicas de diferentes genótipos e condições ambientais. Ao considerar a ingestão alimentar como uma variável dependente e ao integrar fatores genéticos, nutricionais e ambientais, a abordagem oferece uma ferramenta robusta para otimizar o desempenho zootécnico e a eficiência alimentar na avicultura (Emmans; Fisher, 1986).

Em resumo, a teoria de Emmans proporciona uma compreensão aprofundada dos mecanismos que regulam o crescimento e a ingestão alimentar em aves, destacando a importância de modelos preditivos que integrem múltiplos fatores para uma gestão eficiente da produção avícola (Emmans, 1988).

### 1.7.2 Balanço Energético e Manutenção

O balanço energético em aves fundamenta-se na equação:

$$\text{Ingestão de ME} = \text{ME}_m + \text{ME}_e + Q_d$$

Em que ME é a energia metabolizável ingerida,  $\text{ME}_m$  (energia de manutenção) e  $\text{ME}_e$  (excedente para crescimento) são parcelas obrigatórias, e  $Q_d$  representa o calor de digestão (Noblet; Van Milgen, 2004; Musigwa et al., 2021). A formulação permite quantificar o destino da energia ingerida: primeiro atende-se às funções vitais e só então o excedente supre o ganho de tecido corporal (Emmans, 1989).

A energia metabolizável (ME) corresponde à fração da energia bruta do alimento disponível após perdas fecais e urinárias, servindo tanto à manutenção, quanto ao crescimento (Arc, 2014). Em frangos de corte, a ME é determinada por balanços “ração-excreta”, que comparam a energia consumida e a energia excretada, expressa em kcal/kg de matéria seca (Musigwa et al., 2021). Após esse cálculo, particiona-se a ME entre  $\text{ME}_m$  e  $\text{ME}_e$ : primeiro suprimos  $\text{ME}_m$ ; em seguida, alocamos o excedente conforme as eficiências de deposição proteica e lipídica (Emmans, 1989).

O conceito de energia líquida (NE) refina a ME ao deduzir o calor incrementado pela dieta e outras perdas digestivas, oferecendo uma estimativa mais realista da energia útil em condições variáveis de ambiência (Emmans, 1994). Sistemas de formulação de rações baseados em NE (francês ou americano) aplicam coeficientes distintos para  $Q_d$  e têm se mostrado especialmente precisos em climas tropicais, pois ajusta a densidade energética ao calor de digestão elevado nesses ambientes (Noblet; Van Milgen, 2004; Musigwa et al., 2021).

O gasto energético de manutenção ( $\text{ME}_m$ ) é a energia mínima requerida para preservar o peso em repouso, englobando ventilação, circulação, renovação celular e termorregulação. Emmans (1989) propôs a expressão alométrica:

$$\text{ME}_m = k \cdot P^{0,75}$$

Em que P é o peso corporal (kg) elevado a 0,75 e k é um coeficiente experimental. Estudos em linhagens modernas indicam k entre 95 e 105 kcal/kg<sup>0,75</sup>, enquanto pesquisas clássicas

reportavam 108–112 kcal/kg<sup>0,75</sup> (Pirgozliev; Rose, 1999; Musigwa et al., 2021). Essa variação reflete diferenças genéticas, manejo e condições ambientais ao longo das últimas décadas.

Para mensurar ME<sub>m</sub>, utiliza-se calorimetria indireta, aves em câmaras respirométricas têm consumo de O<sub>2</sub> e produção de CO<sub>2</sub> registrados para estimar o metabolismo basal em zona térmica neutra (EMMANS, 1994), e ensaios “ração-excreta” mantêm aves em peso constante para atribuir qualquer diferença de energia à manutenção (Noblet; Van Milgen, 2004). É imprescindível reconhecer que esses métodos podem subestimar ou superestimar ME<sub>m</sub> em condições comerciais, onde aves convivem em grupos e em sistemas de cama, apresentando variações fisiológicas e comportamentais (Musigwa et al., 2021).

Fatores ambientais e biológicos modificam o gasto de manutenção. A temperatura fora da zona termoneutra eleva o ME<sub>m</sub>, abaixo dela, aumenta o custo de termogênese; acima, cresce o esforço de dissipação de calor (Saye; Nicks, 2019). A composição corporal também atua: aves com maior percentual de gordura exigem menos energia por unidade de peso metabólico, pois o tecido adiposo tem menor *turnover* que o muscular (Pirgozliev; Rose, 1999). Além disso, linhagens de rápido crescimento exibem coeficientes k mais altos devido ao intenso *turnover* celular e à maior atividade metabólica (Emmans, 1989; Musigwa et al., 2021).

Por fim, na prática de formulação de rações, prioriza-se primeiro o atendimento a ME<sub>m</sub> e, em seguida, o aporte adicional de ME<sub>e</sub> para atingir os objetivos de ganho de peso. Em clima tropical, o aumento de  $Q_d$  requer dietas de maior densidade energética, frequentemente obtidas por fontes lipídicas concentradas, garantindo a manutenção do desempenho sem elevar excessivamente o volume de ração (Emmans, 1994; Noblet; Van Milgen, 2004; Musigwa et al., 2021).

## 1.8.1 Seleção Genética e Reprodução

### *1.8.1.1 Potencial genético de crescimento de codornas: adaptações a partir da teoria aplicada em frangos de corte*

O entendimento do potencial genético de crescimento das aves tem se consolidado como um tema central entre pesquisadores e nutricionistas, especialmente no contexto da formulação de programas alimentares mais precisos e sustentáveis. Para codornas, assim como para frangos de corte, a predição acurada do crescimento em condições específicas permite o fornecimento

adequado de nutrientes conforme suas exigências fisiológicas, otimizando o desempenho produtivo e contribuindo para a sustentabilidade da produção. A descrição do crescimento corporal é fundamental para identificar variações entre diferentes linhagens genéticas, diferenças relacionadas ao dimorfismo sexual e avaliar o aproveitamento dos nutrientes (Taylor, 1980; Emmans, 1989). Além disso, ela permite compreender os fatores que influenciam o desenvolvimento das aves em condições práticas de criação, com destaque especial para os aspectos nutricionais, que exercem influência direta sobre o crescimento (Taylor, 1980; Emmans, 1989).

Uma das principais limitações para prever o crescimento, inclusive em codornas, é a definição das condições ideais nas quais os animais devem ser avaliados (Emmans; Fisher, 1986). Outro desafio importante consiste na escolha das ferramentas matemáticas utilizadas para modelar o crescimento.

A aplicação de modelos exige não apenas domínio dos princípios estatísticos e matemáticos, mas também uma compreensão profunda das alterações fisiológicas e metabólicas que ocorrem no organismo em desenvolvimento, e de como esses processos são modulados por fatores externos (France; Kebreab, 2008).

Dessa forma, os algoritmos utilizados na modelagem devem ser capazes de traduzir os fenômenos biológicos em equações com lógica interpretativa, baseadas na variação dos parâmetros biológicos do crescimento (Macari et al., 2024). Ainda de acordo com os autores, de modo geral, o crescimento das codornas, à semelhança dos frangos de corte, pode ser entendido como resultado da interação entre três componentes principais:

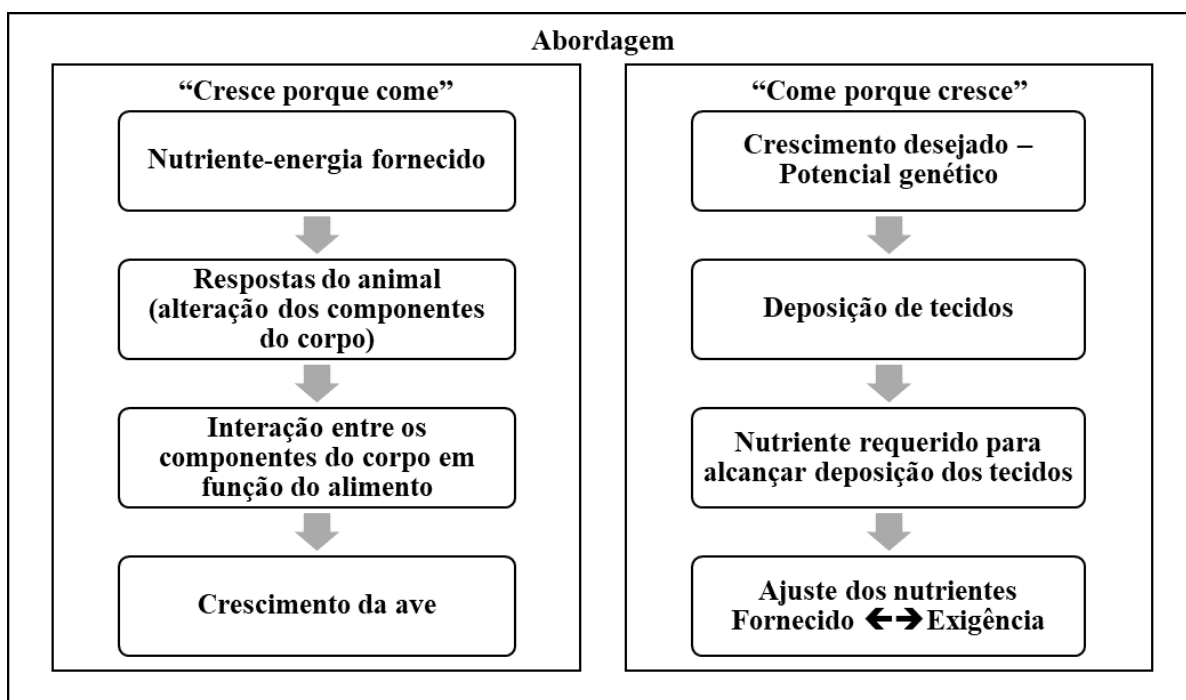
- i. O animal, considerando seus aspectos intrínsecos, como idade fisiológica e cronológica, além das características genéticas e fenotípicas que definem o sistema em estudo;
- ii. O alimento, cuja composição nutricional e densidade energética são essenciais para o suprimento das exigências nutricionais envolvidas na deposição de tecidos e no aumento de biomassa;
- iii. O ambiente, que inclui tanto os fatores físicos (temperatura, umidade relativa, ventilação), quanto os sociais (densidade de alojamento, interações hierárquicas), que influenciam o comportamento, o metabolismo e, conseqüentemente, o crescimento das aves.

É importante ressaltar que o crescimento é uma característica própria do animal, sendo necessário, para descrevê-lo, realizar mensurações em escala dimensional (como peso corporal em gramas ou comprimento em centímetros), que indicam as alterações na biomassa ao longo do

tempo. Contudo, o uso isolado de dados de peso pode ser insuficiente para representar de forma completa a dinâmica do crescimento, uma vez que essa dinâmica está relacionada à composição física e química dos tecidos corporais (Vieira et al., 2021).

Uma das abordagens mais abrangentes nesse campo foi proposta por Emmans e colaboradores (Emmans, 1981; 1986; 1987; 1988; 1989; 1990; Emmans; Oldham, 1988), que estabeleceram uma base teórica e matemática voltada à predição do consumo alimentar e do crescimento de aves mantidas sob condições ideais. Esta teoria se destaca por integrar fundamentos biológicos com modelos mecanicistas, cujos parâmetros possuem interpretações fisiológicas e aplicáveis à realidade dos sistemas de produção animal (Macari et al., 2024). Ainda que amplamente desenvolvida a partir de dados de frangos de corte, oferece subsídios importantes para compreender o crescimento de codornas, especialmente em situações de alimentação *ad libitum*, nas quais as aves expressam seu máximo potencial genético.

De acordo com Macari et al. (2024), na teoria proposta por Emmans, esta abordagem pode ser expressa pela afirmação: "a ave come porque cresce" — isto é, o consumo alimentar está condicionado ao potencial genético de crescimento do indivíduo, que demanda energia e nutrientes específicos para sua expressão máxima, desde que sob condições ambientais ideais. Assim, a predição do crescimento das aves está diretamente relacionada às teorias nutricionais, pois o consumo voluntário ocorre em função das exigências impostas pelo potencial de crescimento, como é possível observar na Figura 1.



**Figura 1.** Diferença entre as duas principais teorias do crescimento de frangos de corte.  
Fonte: Teoria segundo Emmans (direita), adaptado de Macari et al. (2024).

A construção de modelos de crescimento começa com a formulação de uma teoria que descreva o sistema biológico e seus componentes, fundamentada em princípios, conceitos e hipóteses testáveis. Esta teoria está em constante evolução e sofre ajustes conforme os testes avançam, tendo sempre como objetivo servir de base para prever resultados e propor estratégias que aprimorem a nutrição das aves (Oviedo-Rondón et al., 2014). Dentro desse contexto, o entendimento do potencial de crescimento pode ser revisitado e adaptado, segundo as necessidades específicas dos nutricionistas e as características do sistema produtivo avícola.

Diversas abordagens têm buscado esclarecer aspectos importantes do crescimento animal, Macari et al. (2024) destacam que:

- i. As alterações nos componentes corporais — como os tecidos proteico, adiposo e mineral — são diretamente influenciadas pela composição da dieta, em termos de nutrientes e energia, sendo que a conversão desses nutrientes em tecidos ocorre a velocidades distintas para cada componente;
- ii. As necessidades nutricionais dos animais podem ser estabelecidas mediante a composição corporal, levando em conta essas taxas de conversão;

iii. A energia requerida para a síntese dos tecidos a partir dos nutrientes é um fator determinante e deve ser considerada na formulação das dietas.

O potencial de crescimento está intrinsecamente relacionado à nutrição. Quando um nível produtivo desejado é definido, os recursos nutricionais disponíveis precisam ser adequados para que o animal possa alcançar esse potencial máximo. Desse modo, é fundamental delimitar o potencial máximo de crescimento e considerar os incrementos produtivos que tenham impacto econômico relevante (France; Kebreab, 2008; Oviedo-Rondón et al., 2014; Viera et al., 2021; Macari et al., 2024).

Embora grande parte da base teórica e prática tenha sido desenvolvida a partir de estudos com frangos de corte, devido à sua representatividade econômica e ao volume de dados disponíveis, estes conceitos também se aplicam às codornas. Apesar de algumas diferenças fisiológicas e de manejo, codornas europeias e japonesas compartilham mecanismos fundamentais de crescimento semelhantes aos dos frangos, o que permite a adaptação dos modelos e estratégias nutricionais, que é essencial para o ajuste fino das recomendações nutricionais e para otimizar o desempenho em diferentes fases, como criação, recria e postura (Silva; Costa, 2009; Silva et al., 2019).

A fundamentação desta abordagem está embasada na teoria do potencial de crescimento elaborada por Emmans e colaboradores (Emmans, 1981; 1987; 1988; 1989; Emmans; Fisher, 1986; Emmans; Oldham, 1988), cujos conceitos permanecem referência para a compreensão dos processos fisiológicos e nutricionais que regulam o crescimento em aves, abrangendo tanto frangos quanto codornas.

## 1.9 CRESCIMENTO, DESEMPENHO E PRODUÇÃO DE OVOS: FATORES ASSOCIADOS

### 1.9.1 Nutrição e Aspectos Gerais

É fundamental fornecer às codornas japonesas uma ração cuidadosamente formulada e com valor nutricional ajustado às necessidades da fase, desde o recebimento das aves com um dia de vida e até o período de postura. Na fase que antecede a postura, eventuais equívocos na alimentação podem comprometer toda a produção, uma vez que esse período é crucial para o desenvolvimento do sistema reprodutivo das aves (Silva et al., 2004). É necessário que sejam feitas adaptações tanto dos ingredientes, quanto às exigências específicas de cada etapa do ciclo produtivo, assegurando

um adequado desenvolvimento e funcionamento do sistema reprodutivo das codornas. De acordo com Santos et al. (2020), essas aves são altamente especializadas e selecionadas para uma rápida resposta quanto à produção de ovos, o que resulta em uma demanda significativa por nutrientes essenciais.

Levando em consideração que, na criação de aves comerciais, a alimentação representa cerca de 65-70% do custo de produção (Araujo, 2005), o gasto com alimentação se torna ainda mais representativo na criação de codornas, uma vez que a proteína e a energia contribuem com quase a totalidade desse custo. A otimização de desempenho das aves depende não apenas da nutrição isoladamente, mas está associada a uma variedade de fatores internos (genética, sexo, estágio fisiológico, sanidade e bem-estar) e externos ao corpo da ave (temperatura, densidade, debicagem e vacinações) (Silva et al., 2004).

Ainda dentro da nutrição, vários fatores ligados à dieta podem afetar diretamente o consumo de ração nas aves, principalmente codornas que são animais mais seletivos, como: a forma física da ração (peletizada, farelada), o nível de inclusão de alguns alimentos, temperatura ambiente, linhagem, além dos níveis nutricionais.

### 1.9.2 Níveis de Proteína e Energia Metabolizável

Estudos relacionados à dieta de codornas japonesas têm sido bastante frequentes desde o início das primeiras pesquisas, com o objetivo de determinar o nível de proteína bruta que melhor atende às exigências de uma fase específica. As codornas, no geral, são aves que necessitam de mais proteína (aminoácidos), menos cálcio na ração e digerem melhor os aminoácidos dos alimentos em comparação a energia de alimentos fibrosos (Silva et al., 2012). Quando são fornecidos níveis de proteína abaixo da sua exigência, podem reduzir o crescimento e a produção de ovos, visto que parte dela é desviada para funções vitais, comprometendo o desenvolvimento e a produção corporal. Por outro lado, o excesso de proteína pode limitar o desempenho, visto que o catabolismo de aminoácidos requer energia adicional para excretar nitrogênio na forma de ácido úrico (Lima et al. 2014).

Na literatura, ainda encontramos alguns trabalhos que divergem quanto às indicações do ideal a ser trabalhado nas formulações. Em estudos realizados por Pinto et al. (2002), 22,4% de proteína bruta (PB) garantem o desempenho ideal para codornas poedeiras na fase de recria.

Segundo e Rostagno et al. (2024), na Tabela Brasileira de Aves e Suínos, na fase de cria (período de 1 a 14 dias), é recomendado 25,7 % de proteína bruta total e 2850 kcal/kg. Na fase de recria (15 a 35 dias), a recomendação é 25,2% de proteína bruta total e 2850 kcal/kg. Na fase de postura, já há uma redução expressiva no valor recomendado para proteína bruta, 18,3 %, mantendo a energia metabolizável em 2850 kcal/kg.

O nível de energia utilizado em dietas é outro ponto que requer atenção, uma vez que níveis acima ou abaixo dos requisitos para o desenvolvimento adequado de codornas impactam o custo total da ração e influenciam a produção e o consumo (Zhang et al. 2023). A energia que as aves utilizam para desempenhar suas funções vitais é resultado da oxidação de constituintes dos alimentos no processo digestível e da produção de calor pelo metabolismo energético (Fernandes; Toro-Velasquez, 2014).

Como na maioria das espécies, a energia é o principal componente nutricional que determina o desempenho das aves, além de onerar também os custos com alimentação. Da energia consumida, apenas 20% são destinadas à produção. Logo, se o aporte for insuficiente, ocorrerá queda de produção (Neto, 2003). Por outro lado, estudos mostram que o aumento da concentração de energia além do exigido pelas aves pode ocasionar deposição excessiva de gordura na carcaça, pois o organismo armazena o excedente energético na forma de tecido adiposo, além de reduzir o consumo de ração, inibir a utilização de alguns nutrientes e provocar superovulação e aumentar a produção de ovos de duas gemas (Emmans; Fisher, 1986; Silva et al., 2003; Neto, 2003; Nascimento et al., 2004).

Em estudos realizados por Bertechini (2006), destaca-se que a energia é biologicamente fracionada em Energia Bruta (EB), Energia Digestível (ED), Energia Metabolizável (EM) e Energia Líquida (EL). Nas aves de produção, a principal fração da energia utilizada decorre da diferença entre a quantidade de energia bruta ingerida e a quantidade de energia perdida por meio de excreções e gases, sendo denominada Energia Metabolizável Aparente (EMA). A EMA pode ser expressa em EMAn, mediante a correção para o balanço de nitrogênio.

A relação entre a necessidade energética e o consumo de alimento é fundamental na formulação de dietas práticas, visando o máximo desempenho das aves, pois o consumo de nutrientes é regulado pela energia predeterminada. Em estudos realizados por Mukarami (1993), foram testados em codornas japonesas na fase inicial de postura quatro níveis de energia (2.500, 2.700, 2.900 e 3.100 kcal de EM/kg de ração) e observou-se que o aumento do nível energético

reduziu o consumo de ração, a porcentagem de postura e o peso dos ovos. Diante desses resultados, o autor recomendou 2.700 kcal de EM/kg de dieta como nível satisfatório. No entanto, Cordeiro et al. (2003) recomendaram para codornas japonesas dieta com aproximadamente 2.850 kcal de EM/kg para melhor conversão alimentar e 2.600 kcal de EM/kg para maior produção e maior peso de ovo.

Em outro estudo realizado por Barreto et al. (2007), concluiu-se que dietas para codornas japonesas em fase inicial de postura (até 112 dias de idade) devem conter 2.650 kcal de EM/kg, que corresponde a um consumo diário de 61,5 kcal de EM/ave, para que se obtenham satisfatórios valores de peso de ovo e conversão alimentar por massa de ovos, além de maior produção de ovos em valor absoluto.

### 1.9.3 Ambiência e Densidade

É crescente a preocupação do bem-estar animal, principalmente quando falamos de aves que geralmente são mais sensíveis às oscilações ambientais, sejam elas relacionadas à temperatura, sejam a qualquer outro fator do meio que cause desconforto. O impacto é visto diretamente no campo (Jones, 1996). Hoje, grande parte das produções comerciais opta por sistemas de criação intensivos, cujo objetivo é o máximo de rendimento, porém, em muitos casos, as aves são submetidas a fatores estressantes devido ao aumento de densidade e a falhas relacionadas aos programas nutricionais, ventilação inadequada, água de má qualidade, ou quantidade insuficiente e alterações edafoclimáticas (Macari; Furlan, 1999).

Em seus estudos, Guimarães et al. (2014) destacam que as codornas são animais classificados como homeotérmicos, ou seja, possuem a capacidade de manter a temperatura corporal relativamente constante, através de estratégias fisiológicas e comportamentais para manter seu bem-estar. Entretanto, quando submetidas a situações que promovem desconforto térmico, as aves apresentam uma perda de energia, resultando diretamente na diminuição da produtividade em função de oscilações da temperatura. Nesse caso, as aves optam instintivamente por minimizar a perda energética, diminuindo qualquer tipo de atividade física, inclusive o consumo de ração.

Após o nascimento, as aves não têm o sistema termorregulatório desenvolvido, logo, na primeira semana de vida, as codornas exigem temperaturas relativamente altas, com variações relatadas de 35° a 40 °C (Murakami; Arika, 1998; Oliveira, 2002, 2004; Vilella, 1998). Torna-se

crucial, pois, para o bom desempenho do lote que, na recepção das codornas com um dia de vida, o ambiente de alojamento seja previamente aquecido, a fim de evitar a mortalidade das aves e garantir o conforto térmico necessário para consumirem ração, beber água e garantir um bom desempenho. A temperatura deve ser reduzida à medida que as aves vão desenvolvendo, devendo ser observado também o comportamento da ave.

De acordo com Umigi et al. (2012), as codornas podem ser criadas sob condições de calor, desde que sejam respeitadas as temperaturas ambientes ideais, conhecidas como Zona de Conforto Térmico (ZCT). Para codornas na fase de postura, o ideal está entre 18 e 22°C e a umidade relativa do ar entre 65 e 70% (Oliveira, 2007). A ZCT é uma variável ambiental que se relaciona ao ambiente térmico ideal, considerando que a amplitude deve ser bem restrita e, se atendidas de forma sistemática, o animal alcança seu potencial máximo e a temperatura corporal é mantida com mínima utilização de mecanismos termorreguladores (Baêta; Souza, 2010).

É muito comum observarmos situações de temperatura e umidade do ar elevadas, principalmente em aviários abertos, porém, sem a presença de equipamentos suficientes para promover a renovação do ar no ambiente. Nestas condições, as aves têm dificuldade de dissipar o excedente de calor corporal para o ambiente. Conseqüentemente, nesse caso, ocorrerá um aumento na temperatura interna, resultando em queda na produção, uma vez que uma parte da energia ingerida através dos alimentos será convertida em produção de ovos e o restante será utilizado nos mecanismos para manter a homeotermia, ou perdido para o ambiente na forma de calor, através dos processos físicos de condução, convecção e radiação (Baêta; Souza, 2010), além da evaporação respiratória.

É notório em ambientes de produção quando aves, especialmente codornas, são submetidas a condições de estresse por altas temperaturas. Ali, observa-se uma resposta fisiológica que envolve o desenvolvimento da vasodilatação periférica (Seibel et al., 2010; Prioli et al., 2010; Gravena et al., 2011; Garcia et al., 2012). Esta resposta resulta na ampliação da perda de calor não evaporativa. Para aumentar a dissipação térmica, a ave adota comportamentos específicos, como ampliar a área superficial exposta ao ambiente, mantendo as asas afastadas do corpo, arrepiando as penas e intensificando a circulação sanguínea periférica (Macari et al., 2004).

Quando comparadas ao frango de corte, segundo MaCleod & Dabhuta (1997), as codornas possuem a capacidade de tolerar temperaturas mais elevadas em períodos relativos. Este fato é justificado devido à sua maior superfície corporal em relação à massa, fazendo com que,

consequentemente, aumente a dissipação de calor gerado no metabolismo proteico. Estratégias nutricionais foram avaliadas por Araújo et al. (2007), que observaram que, com a utilização de 1000 ppb de cromo orgânico na dieta de codornas mantidas em estresse por calor na fase de postura, a conversão alimentar por massa de ovos e por dúzia de ovos não foi influenciada ( $p > 0,05$ ) pela alta temperatura ambiente ( $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) com umidade relativa do ar de 70%.

A temperatura se torna mais agravante quando falamos de densidade, outro ponto que deve ser avaliado cuidadosamente. Segundo o conceito, densidade refere-se a área por ave e/ou densidade de aves por área. Todos estes aspectos têm influência sobre o desempenho das codornas, especialmente a superpopulação que provoca aumento na mortalidade e na incidência de ovos sujos, cascas moles e descoloridas (Bairros et al., 2024).

Oliveira (2002) recomenda, na fase de cria, no piso, a densidade de 60 a 120 aves/  $\text{m}^2$  conforme o tempo de permanência no piso; na recria, em gaiolas, 100 aves/  $\text{m}^2$  e, na fase de postura, de 90 a 106 aves/  $\text{m}^2$ . De acordo com o *Manual da Linhagem* Fujikura (2024), para codornas criadas no piso, de um a dez dias de vida, recomenda-se 55- 62  $\text{cm}^2$ /ave; de 11 a 18 dias, 71 -83  $\text{cm}^2$ /ave; 19- 28 dias de vida, 90-100 $\text{cm}^2$  /ave, e 29-38 dias de vida, 116-119  $\text{cm}^2$ . Para codornas criadas na gaiola, de um a dez dias de vida, recomenda-se 59  $\text{cm}^2$ /ave; de 11 a 18 dias, 71  $\text{cm}^2$ /ave; 19- 28 dias de vida, 89  $\text{cm}^2$ /ave, e 29-38 dias de vida, 102  $\text{cm}^2$ . Na fase adulta, independente do sistema de criação, recomenda-se 119  $\text{cm}^2$ /ave.

Lopes et al. (2006) afirmaram que codornas japonesas na fase de postura podem ser alojadas em gaiolas com densidade de 94,9  $\text{cm}^2$  /ave, recebendo rações com 2.750 kcal EM/kg, sem prejuízos à produção.

#### 1.10.4 Manejo de Debicagem

As codornas, assim como as poedeiras comerciais, podem manifestar comportamentos agressivos entre companheiras de gaiola, tais como bicagens, que muitas vezes levam ao arranque de penas e ao canibalismo, (Nicol et al., 2013; Hartcher et al., 2015), frequentemente associado ao comportamento típico adotado por aves em sistema de criação intensivo (Mcadie; Keeling, 2002; Van Krimpen, 2012; Rodenburg et al., 2013), ou associado ao comportamento natural vinculado ao estabelecimento de dominância dentro de hierarquias (Riedstra; Groothuis, 2002; Mazzuco, 2008; Nicol, 2013; Hatcher, 2015).

A debicagem é um procedimento que consiste no corte e cauterização do bico por um aparelho com lâmina cortante e aquecida, denominado debicador, cujo objetivo é reduzir ou inibir o canibalismo, ferimentos associados ao arranque de penas e bicagem de ovos, podendo favorecer o consumo uniforme, melhorando a conversão alimentar e reduzindo o desperdício e seleção de ingredientes da ração.

Considerando o bem-estar, a debicagem é considerada um método invasivo e gera desconforto nas aves, uma vez que o bico é um órgão funcional complexo, com vasta distribuição de nervos e receptores sensoriais, usado na exploração do ambiente, ingestão de alimentos e interação social. Quando não realizada da maneira correta, na fase de produção das aves, pode ocasionar calos, que também interferem no consumo de ração (Breward; Gentle, 1985; Fahey et al., 2007).

Em estudos realizados por Pizzolante et al. (2006), trabalhando com duas idades de debicagem em codorna japonesas e remoção de 1/3 do bico, verificou-se que não houve influência da idade no desempenho das aves, podendo ser realizada com 14 ou 21 dias. Outro trabalho realizado por Laganá et al. (2011) observo que as codornas debicadas por cauterização (lâmina de 650°C) apresentaram menor ganho de peso e consumo de ração em comparação aos tratamentos com corte de 1/3 do bico, entretanto, os métodos de debicagem não interferiram na produção e qualidade dos ovos.

Embora as questões relacionadas ao bem-estar animal e às controvérsias acerca da debicagem sejam relevantes, é evidente que, no contexto do sistema produtivo atual, o procedimento ainda é considerado indispensável por muitos profissionais. O principal desafio consiste em identificar situações potencialmente prejudiciais ao bem-estar animal e fornecer estratégias de manejo ou adaptação de técnicas que possam ser aplicadas para adaptar os animais e/ou otimizar as práticas utilizadas, com objetivo de propiciar conforto às aves submetidas.

#### 1.10.5 Manejo de Programa de Luz

De forma sucinta, a fase de crescimento das codornas é compreendida em cria e recria, e ambas possuem práticas específicas de manejo cujos erros e acertos refletirão na fase de produção de ovos. A fase de cria compreende do primeiro ao 14º dia das codornas e a recria do 15º aos 35º

dias, quando as codornas são transferidas para as gaiolas de postura. Muitos produtores consideram que a fase de recria termina quando surge o primeiro ovo (Mendes et al., 2010).

O programa de luz é essencial para as aves, uma vez que o fotoperíodo, ou seja, a alteração na duração e intensidade luminosa, está diretamente ligado à reprodução e muda das aves. A percepção da iluminação pelos animais de produção é composta basicamente pelo tempo de exposição, intensidade e tipo de luz (Stephenson et al., 2012).

As codornas são consideradas aves estimuladas reprodutivamente com o aumento do período de luz, ou seja, por dias longos. Em fases que predominam o período de escuro, há liberação da melatonina, e a redução dos níveis desse hormônio sinaliza para o hipotálamo, se o eixo reprodutivo estiver maduro, que as aves estão prontas para se tornarem maduras sexualmente (Appleby; Mench; Hughes, 2004).

De acordo com Freitas (2010), o mecanismo relacionado à luz e à fisiologia das aves descreve que os fotorreceptores hipotalâmicos percebem a luz e transformam o sinal eletromagnético em uma mensagem hormonal, e o seu efeito nos neurônios hipotalâmicos faz com que seja secretado o hormônio liberador de gonadotrofina (GnRH). Ainda segundo o mesmo autor, este hormônio, por sua vez, age na hipófise, produzindo as gonadotrofinas (LH - hormônio luteinizante e FSH - hormônio folículo estimulante). Os hormônios LH e FSH irão atuar sobre os folículos menores da hierarquia do ovário, promovendo seu crescimento e maturação. Dessa forma, a utilização da luz artificial nas criações de aves comerciais serve tanto para retardar, quanto para iniciar a atividade das gônadas (Gewehr et al., 2013).

Os programas de iluminação são ferramentas fundamentais para o sucesso da produção industrial de ovos. O fotoperíodo na fase inicial de criação estimula o consumo de ração e determina o período de repouso das aves. Na fase fotossensível, ou seja, período em que elas são mais sensíveis aos estímulos da luz, principalmente para desencadear a atividade reprodutiva, o fotoperíodo pode determinar o peso final das aves no início da postura.

De acordo com o *Manual da Linhagem* Fujikura (2024), recomenda-se, no período de 1 a 21 dias, o fornecimento de 24 horas de luz; de 22 a 24 dias, 22 horas de luz; 25 a 27 dias, 20 horas de luz; 28 a 30 dias, 18 horas de luz; 31 a 33 dias, 16 horas de luz; 34 a 36 dias, 14 horas de luz, e 37 a 39 dias, 13 horas de luz. Na fase de produção e ao atingirem 150g de peso corporal, deve-se aumentar uma hora/semana até que atinja 17 horas diárias.

Embora haja conhecimentos e muitos trabalhos que abordem os efeitos de programas de iluminação em poedeiras comerciais, há poucos estudos disponíveis que investiguem os impactos da luz no desenvolvimento de codornas durante as fases de cria e recria, bem como seus efeitos na fase reprodutiva dessas aves.

## 1.10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A coturnicultura de postura é um segmento em ascensão do agronegócio brasileiro, todavia, esta cadeia produtiva possui diversos gargalos, cuja principal limitação é a falta de investimentos em programas de melhoramento genético e ajustes de manejo a nível de campo que melhorem o resultado do plantel.

A associação de práticas de manejo, considerando as características da espécie e demais fatores que podem afetar o desempenho das aves, ambiência, genética, nutrição, sanidade, se torna essencial para uma atividade de sucesso. Nesse contexto, como ferramenta indispensável para interpretação de parâmetros, o uso dos modelos não-lineares é primordial para seleção de codornas mais precoces e produtivas.

Diferentes modelos matemáticos têm sido utilizados para descrever as curvas de crescimento e de produção de ovos em codornas japonesas (*Coturnix coturnix japonica*), permitindo caracterizar o ciclo produtivo, estimar parâmetros biológicos e realizar previsões da produção total. A comparação entre funções possibilita identificar o modelo que melhor representa o desempenho das aves nas condições avaliadas.

## REFERÊNCIAS

AINSWORTH, S. J.; STANLEY, R. L.; EVANS, D. J. R. Developmental stages of the Japanese quail. **Journal of Anatomy**, v. 216, n. 1, p. 3-15, 2010.

ALBINO, L. F. T.; BARRETO, S.L.T. **Codornas**: Criação de codornas para produção de ovos e carne. Viçosa: Aprenda Fácil, 2003.

ALSHAHEEN, S. A. Analysis Egg Production and Egg Weight Curves by Two Mathematical Models in Japanese Quail (*Coturnix. c. japonica*). **Iraqi Journal Poultry Science**, v. 11, n. 1, p. 58-68, 2017.

ANDRETA, I.; HAUSCHILD, L.; KIPPER, M.; PIRES, P. G.; POMAR, C. Environmental impacts of precision feeding programs applied in pig production. **Animal**, v. 4, p. 1-9, 2017.

APPLEBY, M. C.; MENCH, J. A.; HUGHES, B. O. Light. In: \_\_\_\_\_. **Poultry behaviour and welfare**. Cambridge: CABI, 2004, p. 227-238.

ARAÚJO, D. M. **Avaliação do farelo de trigo e enzimas exógenas na alimentação de frangas e poedeiras**. 2005. 66 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2005.

ARAÚJO, M. S.; BARRETO, S. L. T.; DONZELE, J. L.; OLIVEIRA, R. F. M.; UMIGI, R. T.; OLIVEIRA, W. P.; BALBINO, E. M.; ASSIS, A. P.; MAIA, G. V. C. Níveis de cromo orgânico na dieta de codornas japonesas mantidas em estresse por calor na fase de postura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 584-588, 2007.

ARAÚJO, I. C. S.; MESQUITA, M. A.; ANDRADE, M. A.; CASTEJON, F. V.; CAFÉ, M. B.; ARNHOLD, E.; LEANDRO, N. S. M. Efeito do período e temperatura de armazenamento de ovos férteis sobre o rendimento de incubação e características de qualidade de codornas neonatas. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 67, n. 6, p. 1693-1702, 2015.

AGGARWAL, CHANDNI. Teaching the Gompertz model in a calculus course: A historical and mathematical perspective. **International Journal of Mathematical Education in Science and Technology**, volume 50, número 2, 256-271, 2019.

BAIROS, E. C.; SOUZA, G. C.; ROCHA, B. J.; LEITE, B. K. V.; GARCIA, E. R. de M. Qualidade de ovos de codornas comercializados em diferentes estabelecimentos comerciais durante o inverno e o verão. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR**, [S. l.], v. 27, n. 1, p. 23–37, 2024. DOI: 10.25110/arqvet.v27i1.2024-11353. Disponível em: <https://unipar.openjournalsolutions.com.br/index.php/veterinaria/article/view/11353>. Acesso em: 31 maio 2025.

BARRETO, S. L de T., QUIRINO, B. J, S de., BRITO, C, O., UMIGI, R. T. Níveis de energia metabolizável para codornas japonesas na fase inicial de postura. **R. Bras. Zootec.** 36 (1). Fev 2007 Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000100010>. Acesso 30 maio 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura e da Pecuária. **Nota conjunta Mapa/MRE Abertura de mercado no Egito para material genético de codorna**. Brasília: Ministério da Agricultura e da Pecuária, 27 de dezembro de 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/abertura-de-mercado-no-egito-para-material-genetico-de-codorna#:~:text=As%20negocia%C3%A7%C3%B5es%20ganharam%20impulso%20ap%C3%B3s,%e%20o%2019%C2%BA%20no%20mundo>. Acesso em: 28 jan. 2026.

BRAZ, N. M.; FREITAS, E. R.; BEZERRA, R. M.; CRUZ, C. E. B.; FARIAS, N. N. P.; SILVA, N. M.; XAVIER, R. P. S. Fiber in growth ration and its effects on performance of laying hens

during the growing and laying phases. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 12, p. 2744-2753, 2011.

BREWARD, J.; GENTLE, M. J. Neuroma formation and abnormal afferent nerve discharges after partial beak manipulation (beak trimming) in poultry. **Experientia**, v. 41, p. 1132-1134, 1985.

BERHE, ET; GOUS, RM. Efeito do teor de proteína na dieta sobre as relações alométricas entre porções da carcaça e proteína corporal em frangos de corte Cobb e Ross. **24ª Conferência da Seção Sul-Africana da WPSA**, Pretória. 2005.

BERTECHINI, A. G. Situação Atual e Perspectivas Para a Coturnicultura no Brasil. **IV Simpósio Internacional e III Congresso Brasileiro de Coturnicultura**. Lavras, Minas Gerais, 2010.

BOORMAN, K. N.; BURGESS, A. D. Respostas aos aminoácidos. In: FISHER, C.; BOORMAN, K. N. (ed.). **Requisitos nutricionais de aves e pesquisa nutricional**. Oxford: Butterworths, 1986, p. 99–123.

BRODY, T. B.; SIEGEL, P. B.; CHERRY, J. A. Age, body weight and body composition requirements for the onset of sexual maturity of dwarf and normal chickens. **British Poultry Science**, v. 25, n. 2, p. 245-252, 1984.

CARVALHO, T. Quanto mais energia na ração, menos consumo? **Agroceres Multimix**. 2016. Disponível em: <http://www.agroceresmultimix.com.br/blog/mais-energia-menos-consumo/>. Acesso em: 30 de setembro de 2025.

CASAS, G. A.; DANIEL RODRÍGUEZ, D.; TÉLLEZ, G. A. Propiedades matemáticas del modelo de Gompertz y su aplicación al crecimiento de los cerdos. **Revista Colombiana de Ciencias Pecuaria.**, v. 23, n. 3, p. 349-358, 2010.

CECCONELLO, M. dos S. et al. **Modelagem alternativa para dinâmica populacional: sistemas dinâmicos fuzzy**. 2006. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica, Campinas, 2006.

CHANG, G. B; LIU, X. P; CHANG, H; CHEN, G. H; ZHAO, W. M; JI, D. J; CHEN, R; QIN; Y. R; SHI; X. K; HU, G. S. Behavior differentiation between wild Japanese quail, domestic quail, and their first filial generation. **Poultry Science**, v. 88, n. 6, p. 1137–42, 2009.

CORDEIRO, M.D.; SOARES, R.T.R.N.; AVILA, R.P. et al. Níveis de energia metabolizável para codornas japonesas (*Coturnix coturnix japonica*) na fase inicial de postura. REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 40., 2003, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2003.

DAUDA, G.; MOMOH, O. M.; DIM, N. I.; OGAH, D. M. Growth, production and reproductive performance of japanese quails (*Coturnix coturnix japonica*) in humid environment. **Egypt. Poult. Sci.**, v.34, n.2, p.381-395, 2014.

DEVLIERGHIERE, F.; FRANCOIS, K.; VERMEULEN, A.; DEBEVERE, J. Predictive microbiology. In: COSTA, R.; KRISTBERGSSON, K. (ed.). **Predictive modeling and risk assessment**. New York: Springer, 2008. p. 29–60.

FAHEY, A. G.; MARCHANT-FORDE, R. M.; CHENG, H. W. Relationship between body weight and beak characteristics in one-day-old white Leghorn chicks: its implications for beak trimming. **Poultry Science**, v. 86, p. 1312–1315, 2007.

FERRONATO, C.; BITTENCOURT, T. M.; LIMA, H. J. D’A.; VALENTIM, J. K.; MARTINS, A. C. da S.; SILVA, N. E. M. Farelo de algodão na dieta de codornas japonesas. **Boletim de Indústria Animal**, v. 77, p. 1-8, 2020.

FERNANDES, D. P. B.; MORI, C.; NAZARENO, A. C.; PIZZOLANTE, C. C.; MORAES, J. E. Qualidade interna de diferentes tipos de ovos comercializados durante o inverno e o verão. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 67, n. 4, p. 1159-1165, 2015.

FIALHO, F. B.; LEDUR, M. C.; AVILA, V. S. Mathematical Model to Compare Egg Production. **Braz. J. Poult. Sci.**, v. 3, n. 3, 2001.

FINCO, E. M.; MARCATO, S. M.; FURLAN, A. C.; ROSSI, R. M.; GRIESER, D. O.; ZANCANELA, V.; OLIVEIRA, T. M. M. de; STANQUEVIS, C. E. Adjustment of four growth models through Bayesian inference on weight and body nutrient depositions in laying quail. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 45, n. 12, p. 737-744, 2016.

FIRAT, M. Z.; KARAMAN, E.; BAŞAR, E. K.; NARINC, D. Bayesian analysis for the comparison of nonlinear regression model parameters: an application to the growth of Japanese quail. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 18, n. 1, p. 19-26, 2016.

FRADINHO, M. J.; BESSA, R. J. B.; FERREIRA-DIAS, G.; CALDEIRA, R. M. Growth and development of the Lusitano horse managed on grazing systems. **Livestock Science**, v. 186, p. 22-28, 2016.

FREITAS, H. J. Efeito de diferentes programas de iluminação para poedeiras semipesadas criadas em galpões abertos. **Revista biotemas**, v. 23, n. 2, p. 157-162, 2010.

FUJIKURA QUAIL GENETICS. **Manual de manejo comercial**. 2 ed. São Paulo, 2024.

GARCIA, A. F. Q. M.; MURAKAMI, A. E.; MASSUDA, E. M.; URGNANI, F. J.; POTENÇA, A.; DUARTE, C. R. DO A.; EYNG, C. Milheto na alimentação de codornas japonesas. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, p. 150-159, 2012.

GASPAROTTO, O. C.; SIEBERT, M. N.; HENNEMANN, M. C.; ROCHA, C. M.; GRANUCCI, C. N.; SILVA, B. L. da; SILVA, F. C. M. da. **Fisiologia animal comparada**. Florianópolis: BIOLOGIA/EAD/UFSC, 2011. p.238.

GRAVENA, R. A.; MARQUES, R. H.; PICARELLI, J.; SILVA, J. D. T.; ROCCON, J.; HADA, F. H.; QUEIROZ, S. A.; MORAES, V. M. B. Suplementação da dieta de codornas com minerais nas formas orgânicas sobre o desempenho e qualidade dos ovos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 63, p. 1453-1460, 2011.

GEWEHR, C.E.; OLIVEIRA, V. Programas de iluminação para poedeiras semi-pesadas. **Revista biotemas**, v. 25, n. 1, p. 151, 2012.

GRIESER, D. de O.; OLIVEIRA, G. G.; MARCATO, S. M.; ZANCANELA, V.; MELO, S. S. de; QUEVEDO, P. de S. Coturnicultura brasileira: atividade promissora para produtores rurais. **ACSA**, Patos - PB, v. 20, n. 2, p. 35-39, 2024.

GRIESER, D. de O.; MARCATO, S. M.; FURLAN, A. C.; ZANCANELA, V.; DEL VESCO, A. P.; BATISTA, E.; PASQUETTI, T. J.; EUZÉBIO, T. C. Estudo do crescimento e composição corporal de linhagens de codornas de corte e postura. **ACTA TECNOLÓGICA**, v. 10, n. 2, p. 23-37, 2015.

GUIMARÃES, M. C. da C.; FURTADO, D. A., NASCIMENTO, J. W. B., TOTA da C. A., SILVA, C. M., LOPES, K.B de P. Efeito da estação do ano sobre o desempenho produtivo de codornas no semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 231–237, 2014.

HARTCHER, K. M. et al. Plumage damage in free-range laying hens: Behavioural characteristics in the rearing period and the effects of environmental enrichment and beak-trimming. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 164, p. 64-72, 2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção de ovos de codornas. **Explica**. IBGE. 2023a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/ovos-de-codorna/br>. Acesso em 21 jan. 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agropecuária**. **Explica**. IBGE. 2023b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/>. Acesso em 21 jan. 2025.

JORDÃO FILHO, J.; SILVA, J.H.V.; COSTA, F.G.P; KAZUE SAKOMURA, N.; SILVA, C.T.; CHAGAS, N.A. Prediction equations to estimate the demand of energy and crude protein for maintenance, gain and egg production for laying Japanese quails. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 11, p. 2423-2430, 2011b.

LAGANÁ, C. et al. Influência de métodos de debicagem e do tipo de bebedouro no desempenho e na qualidade dos ovos de codornas japonesas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, n. 6, p. 1217-1221, 2011.

LAWRENCE, T. L. J.; FOWLER, V. R. Prenatal and postnatal growth. In: LAWRENCE, T. L. J.; FOWLER, V. R. **Growth of farm animals**. 2. ed. Wallingford: CAB International, 2002. p. 347.

LEANDRO, N. S. M.; CAFÉ, M. B.; STRINGHINI, J. H.; GOMES, N. A.; MENDONÇA, R. A. N.; ARAÚJO, I. C. S. Aspectos reprodutivos e desempenho de diferentes linhagens de matrizes de codornas japonesas. **Cienc. anim. bras.**, v. 20, p. 1-10, 2019.

LEESON, S.; SUMMMERS, J.D. **Commercial poultry nutrition** 2. ed. Guelph: University Books, 1997.

LEESON, S.; SUMMERS, J. D. Feeding systems for poultry. In: LEESON, S.; SUMMERS, J. D. **Feeding systems and feed evaluation models**. Wallingford: CAB International, 2000. p. 211–237.

LIMA, H. J. D’A.; BARRETO, S. L. de T.; PAULA, E. de; DUTRA, D. R.; COSTA, S. L. da; ABJAUDE, W. da S. Níveis de sódio na ração de codornas japonesas em postura. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.**, Salvador, v. 16, n. 1, p. 73-81, 2015.

LIMA, H. J. D. A.; TOLEDO, B. S. L.; MELO, D. S.; DE SOUZA, R. N. Different body weights at the end of the growing phase on Japanese quail performance. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, v. 7, n. 13, p. 404-409, 2011.

LOBATO, H. C.; VIEIRA, M. C.; ARAÚJO, V. F.; REZENDE, R. M.; FERREIRA, F.; LARA, L. J. C.; ARAÚJO, I. C. S. Japanese quail production in Brazil: historic, challenges and opportunities. **World’s Poultry Science Journal**, p. 1–20, 2025.

LÔBO, R. N. B.; VILLELA, L. C. V.; LOBO, A. M. B. O.; PASSOS, J. R. de S.; OLIVEIRA, A. A. de. Parâmetros genéticos de características estimadas da curva de crescimento de ovinos da raça Santa Inês. **R. Bras. Zootec.**, v. 35, n. 3, p. 1012-1019, 2006.

LOPES, I. R. V. et al. Efeito da densidade de alojamento e do nível de energia metabolizável da ração sobre o desempenho zootécnico e características dos ovos de codornas japonesas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 37, n. 3, p. 369-375, 2006.

LOUIS-SYLVESTRE, J.; LE MAGNEN, J. A fall in blood glucose level precedes meal onset in free-feeding rats. **Neuroscience & Biobehavioral Reviews**, v. 4, p. 13–15, 1977.

LUKANOV, H. Domestic quail (*Coturnix japonica domestica*): is there such farm animal? **World’s Poultry Science Journal**, v. 75, n. 4, p. 547–558, 2019.

LUKANOV, H., AND I. PAVLOVA. “Domestication Changes in Japanese Quail (*Coturnix japonica*): A Review.” **World’s Poultry Science Journal**, v. 76, n. 4, p. 787–801, 2020. <https://doi.org/10.1080/00439339.2020.1823303>.

- MACLEOD, M. G.; DABHUTA, L. A. Diet selection by Japanese quail (*Coturnix coturnix* japônica) in relation to ambient temperature and metabolic rate. **British Poultry Science**, v. 38, p. 586-589, 1997.
- MAIORCA, A.; MACARI, M.; GARGAGLIONI, L. H.; BÍGECO, K. C. Influence of early access to water and feed on organ development and immune response in broiler chicks. **Poultry Science**, v. 82, n. 4, p. 485–492, 2003.
- MACARI, M.; GONZALES, E.; FURLAN, R. L. **Embriologia e nutrição do desenvolvimento em aves**. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 2024.
- MARCATO, S. M.; SAKOMURA, N. K.; FERNANDES, J. B. K.; SIQUEIRA, J. C.; DOURADO, L. R. B.; FREITAS, E. R. Crescimento e deposição de nutrientes nos órgãos de frangos de corte de duas linhagens comerciais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 39, n. 5, p. 1082-1091, 2010.
- MARCATO, S. M.; SAKOMURA, N. K.; FERNANDEZ, J. B. K.; NASCIMENTO, D. C. N.; FURLAN, R. L.; PIVA, G. H. Crescimento e deposição de nutrientes nas penas, músculo, ossos e pele de frangos de corte de duas linhagens comerciais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 4, p. 1159-1168, 2009.
- MÁXIMO, K. A. M. Compreendendo o modelo de gompertz e suas aplicações. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 9, n. 3, p. 2134-2141, 2023.
- MCADIE, T. M.; KEELING, L. J. The social transmission of feather pecking in laying hens: Effects of environment and age. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 75, p. 147-159, 2002.
- MELLO, H.H.C.; GOMES, P.C.; ROSTAGNO, H.S. et al Valores de energia metabolizável de alguns alimentos obtidos com aves de diferentes idades. **Res. Bras. Zootec.**, v. 38, p. 863-868, 2009.
- MOTA, L. F. M.; ALCÂNTARA, D. C.; ABREU, L. R. A.; COSTA, L. S.; PIRES, A. V.; BONAFÉ, C. M.; SILVA, M. A.; PINHEIRO, S. R. F. Crescimento de codornas de diferentes grupos genéticos por meio de modelos não lineares. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v. 67, n. 5, p. 1372-1380, 2015.
- MORAES, V. M. B.; ARIKI, J. **Importância da nutrição na criação de codornas e qualidades nutricionais do ovo e carne de codorna**. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 2009. p. 97–103. Disponível em: <http://www.biologico.sp.gov.br/rifibi/IIIrifibi/97-103.pdf>. Acesso em: 8 jan. 2026.
- MUNIZ, J. C. L.; SILVA, A. D.; TIZZIANI, T.; ALBINO, L. F. T.; BARRETO, S. L. T. **Criação de codornas para produção de ovos e carne**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2018.
- NASCIMENTO, J. G. D. O.; ZICA, A. R.; PRADO, A. W. S.; PASSOS, P. I. B. **Criação de codornas para corte**. Brasília: EMATER-DF, 2021. (Circular técnica, n. 29).

- NAHASHON, S. N.; ADEFOPE, N.; AMENYENU, A.; WRIGHT, D. Effect of dietary metabolizable energy and crude protein concentrations on growth performance and carcass characteristics of French guinea broilers. **Poult. Sci.**, n.84, p.337-344, 2005.
- NARINC, D.; KARAMAN, E.; FIRAT, M.Z.; AKSOY, T. Comparison of non-linear growth models to describe the growth in Japanese quail. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, v.9, n.14, p.1961-1966, 2010.
- NEME, R.; SAKOMURA, N. K.; FUKAYAMA, E. H.; FREITAS, E. R.; FIALHO, F. B.; RESENDE, K. T. DE; FERNANDES, J. B. K. Curvas de crescimento e de deposição dos componentes corporais em aves de postura de diferentes linhagens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.3, p.1091-1100, 2006.
- NETO, G.J. Aspectos nutricionais que afetam as características específicas do ovo de incubação. In: COFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 1999, Campinas. **Anais**. Campinas: Fundação Apinco de Ciência e Tecnologia Avícolas, 2003. p.145-164.
- NICOL, C. J. et al. The prevention and control of feather pecking: application to commercial systems. **World's Poultry Science Journal**, Cambridge, v. 69, n. 4, p. 775-778, 2013.
- MAKIYAMA, L. **Programas de iluminação para codornas japonesas no período de recria e desempenho na fase de postura**. 2013. 63 f. Dissertação Mestrado em Zootecnia – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.
- MARTINS, E. N. Melhoramento Genético de Codornas de Postura. XII Curso de Atualização em Avicultura para Postura Comercial. **Anais**. Unesp/Fcav, 81-86, 2015.
- MAZZUCO, H. Ações sustentáveis na produção de ovos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, p. 230-238, 2008.
- MIZUTANI, M. The Japanese Quail. Laboratory Animal Research Station, **Nippon Institute for Biological Science**, Kobuchizawa, Yamanashi, Japan. 2003.
- MURAKAMI, A.E; MORAES, V.M.B.; ARIKI, J. et al. Níveis de proteína e energia em rações para codornas japonesas (*Coturnix coturnix japonica*) em postura. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 22, n. 4, p. 541-551, 1993.
- MURAKAMI, A. E.; ARIKI, J. **Produção de codornas japonesas**. Jaboticabal: FUNEP, 1998. 79p.
- PASTORE, S. M.; WILL OLIVEIRA, W. P. DE.; MUNIZ, J. C. M. Panorama da coturnicultura no Brasil. **Revista Eletrônica Nutritime**. v. 9, n. 6, p. 2041-2049, 2012.

PEREIRA, A. A.; FERREIRA, D. A.; JÚNIOR, D. N. G.; LIMA, C. B.; ANDRESSA SOUSA DE MOURA, A. S. de; JÚNIOR, D. M. de L. Raspa da mandioca para codornas em postura. **Acta Veterinaria Brasilica**, v.10, n.2, p.123-129, 2016.

PIZZOLANTE, C. C. et al. Break trimming methods and their effect on the performance of japanese quails pullets (*Coturnix japonica*). **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 8, n. 4, p. 213-216, 2006.

PRIOLI, R. A.; GASPARINO, E.; SOARES, M. A. M.; MARQUES, D. S.; BLANCK, S. M. A.; PRIOLI, S. M. A. Diversidade genética entre três linhagens de codornas selecionadas para produção de ovos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.62, p.725-731, 2010.

OLDENBROEK, Kor; VAN DER WAAIJ, Liesbeth. **Textbook animal breeding: animal breeding and genetics for BSc students**. Wageningen: Centre for Genetic Resources and Animal Breeding and Genomics Group, Wageningen University & Research, 2014.

OLIVEIRA, B. L. Importância do manejo na produção de ovos de codornas. SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE COTURNICULTURA, 2.; CONGRESSO BRASILEIRO DE COTURNICULTURA, 1., 2004, Lavras. **Anais**. Lavras: UFLA, 2004, p.91.

OLIVEIRA, B. L. Manejo em granjas automatizadas de codornas de postura comercial. Simpósio Internacional de Coturnicultura, v.3, 2007, Lavras. **Anais**. Lavras: p.11-16. 2007.

OVIEDO-RONDÓN, E. O. Como usar y desarrollar un modelo matemático para nutrición avícola. **Asociación Colombiana de Médicos Veterinarios y Zootecnistas Especialistas En Avicultura**, n. 47, p. 4-12, 2024.

ÖZDEMİR, D.; AKSIT, M. Estimations of genetic parameters of some egg quality characteristics of Japanese quails (*Coturnix coturnix japonica*) at different ages. In: **WORLD'S POULTRY CONGRESS**, 22., 2004, Istanbul. Proceedings... Istanbul: World's Poultry Congress & Exhibition, 2004.

ÖZSOY, N. A.; AKTAN, S. Estimation of Genetic Parameters for Body Weight and Egg Weight Traits in Japanese Quails. **Trends in Animal & Veterinary Sciences Journal**, v. 2, n. 1, p.17-20, 2011

RAJI, A. O.; ALADE, N. K.; DUWA, H. Estimation of model parameters of the japanese quail growth curve using gompertz model. **Arch. Zootec.**, v. 63, n. 243, p. 429-435, 2014.

RICKEFS, R. E. Modification of growth and development of muscles in poultry. **Poultry Science**, v. 64, p. 1563-1576, 1985.

RIEDSTRA, B.; GROOTHUIS, T. G. G. Early feather pecking as a form of social exploration: the effect of group stability on feather pecking and tonic immobility in domestic chicks. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 77, p. 127-138, 2002.

ROCHA-SILVA, M.; ARAUJO, C. V.; PIRES, A. V.; PAULA, E. J. H. de; FERREIRA, E. B.; SILVA, F. G. da. Curva de crescimento de codornas de corte por meio de modelos de regressão não-lineares. **Archives of Veterinary Science**, v. 21, n. 4, p. 26-34, 2016.

RODENBURG, T. B. et al. The prevention and control of feather pecking in laying hens: identifying the underlying principles. **World's Poultry Science Journal**, Cambridge, v. 69, n. 2, p. 361–374, 2013.

RONDON E. O. O.; MURAKAMI, A. E.; SAKAGUTI, E. S. Modelagem computacional para produção e pesquisa em avicultura. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 4, n. 1, p. 199-207, 2002.

ROSEBROUGH, R.W.; STEELE, N.C. Energy and protein relationships in the broiler. 1. Effect of protein levels and feeding regimens on growth, body composition, and in vitro lipogenesis of broiler chicks. **Poultry Science**, v. 64, p. 119-126, 1985.

ROSTAGNO, H. S. L. F. T.; ALBINO, M. I.; HANNAS, N. K.; SAKOMURA, F. G.; PERAZZO, A.; SARAIVA, M. L. T. Brazilian Tables for Poultry and Swine: **Composition of Feedstuffs and Nutritional Requirements**. 5th ed. Viçosa – MG, Brazil: Universidade Federal de Viçosa (UFV), 2024.

SAATCI, M.; OMEDH, H.; DEWI, I. A. Genetic Parameters from Univariate and Bivariate Analyses of Egg and Weight Traits in Japanese Quail. **Poultry Science**, v. 85, n. 2, p. 185– 190, 2006.

SAKOMURA, N. K.; LONGO, F. A.; OVIEDO-RONDON, E. O.; BOA-VIAGEM, C.; FERRAUDO, A. Modeling energy utilization and growth parameter description for broiler chickens. **Poultry Science**, v. 84, n. 9, p. 1363-1369, 2005.

SANTOS, G. C. de L.; GARCIA, P. H. de M.; SANTOS, D. G. de; NETO, S. G.; DUARTE, A. M. C. Modelagem na nutrição de não ruminantes: aspectos gerais, dinâmica de nutrientes, limitações e sistemas de serviços. **Brazilian Journal of Animal and Environmental ResearchBraz**, v. 3, n. 1, p. 114-132, 2020.

SARASWATI, T. R.; MANALU, W.; EKASTUTI, D. R.; KUSUMORINI, N. Increase Egg Production of Japanese Quail (*Coturnix japonica*) by Improving Liver Function Through Turmeric Powder Supplementation. **International Journal of poultry Science**, v. 12, n. 10, p.601-614, 2010.

SAVEGNAGO, R. P.; NUNES, B. N.; CAETANO, S. L.; FERRAUDO, A. S.; SCHMIDT, G. S.; LEDUR, M. C.; MUNARI, D. P. Comparison of logistic and neural network models to fit to the egg production curve of White Leghorn hens. **Poultry Science**, v. 90, n. 3, p. 705-711, 2011.

SEIBEL, N. F.; SCHOFFEN, D. B.; QUEIROZ, M. I.; SOUZA-SOARES, L. A. DE. Caracterização sensorial de ovos de codornas alimentadas com dietas modificadas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, p. 884-889, 2010.

SILVA, L. A. L. da; ANDRADE, J. M. D. M.; MIRANDA, V. M. D. M. C.; LEITE, S. M.; BATISTA, P. R.; RODRIGUES, W. R. Avaliação do consumo de ovos de codorna na comunidade acadêmica da Universidade Estadual de Maringá. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 3, p. 1616- 1620, 2020.

SILVA, A. F., SGAVIOLI, S., DOMINGUES, C. H. F., GARCIA, R. G. Coturnicultura como alternativa para aumento de renda do pequeno produtor. **Arquivos Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 70, n. 3, p. 913-920, 2018.

SILVA, J. H. V.; JORDÃO FILHO, J.; COSTA, F. G. P.; LACERDA, P. B. de; VARGAS, D. G. V.; LIMA, M. R. Exigências nutricionais de codornas. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 13, n. 3, p. 775-790, 2012. Disponível em: <http://www.rbspa.ufba.br>. Acesso em: 28 set. 2025.

SILVA E. da P.; SAKOMURA, K. S.; DORIGAM, J. C. de P.; MALHEIROS, E. B.; FERNANDES, J. B. K.; ARAUJO, J. A. de. A procedure to evaluate the efficiency of utilization of dietary amino acid for poultry. *Acta Scientiarum*. **Animal Sciences**, v. 36, n. 2, p.163-169, 2014.

SILVA, J.H.V.; COSTA, F.G.P. **Tabela de Exigência Nutricional de Codornas Japonesas e Europeias**. 2. ed. Jaboticabal-SP: Fundação de Apoio à Pesquisa, Ensino e Extensão - FUN CEP, 2009.

SILVA, N. A. M. da; AQUINO, L. H. de; SILVA, F. F. e; OLIVEIRA, A. I. G. de. Curvas de crescimento e influência de fatores não-genéticos sobre as taxas de crescimento de bovinos da raça nelore. **Ciênc. agrotec.**, v. 28, n. 3, p. 647-654, 2004.

SILVA, J. H. V.; SILVA, M. B.; JORDÃO FILHO, J.; SILVA, E. L.; ANDRADE, I. S.; MELO, D. A.; RIBEIRO, M. L. G.; ROCHA, M. R. F.; COSTA, F. G. P.; DUTRA JUNIOR, W. M. Exigência de manutenção e de ganho de proteína e de energia em codornas japonesas (*Coturnix coturnix japonica*) na fase de 1 a 12 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 5, p. 1209-1219, 2004.

SILVA, J. H. V.; SILVA M. B.; JORDÃO FILHO, J.; SILVA, E. L.; ANDRADE, I. S.; MELO, D. A.; RIBEIRO, M. L. G.; ROCHA, M. R. F.; COSTA, F. G. P.; DUTRA JUNIOR, W. M. Exigência de manutenção e ganho de proteína e de energia em codornas japonesas (*Coturnix coturnix japonica*) na fase de 15 a 32 dias. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 5, p. 1220-1230, 2004.

SOUZA, F. A. C.; FERNANDES, T. J.; MOURA, R. S. D.; MEIRELLES, S. L. C.; RIBEIRO, R. A.; CUNHA, F. O.; MUNIZ, J. A. Nonlinear modeling growth body weight of Mangalarga Marchador horses. **Ciência Rural**, v. 47, n. 4, p. 1-6, 2017.

STEPHENSON, K. M. et al. Complex interaction of circadian and non-circadian effects of light on mood: shedding new light on an old story. *Sleep Medicine Reviews*, v. 16, p. 445-454, 2012.

STIVANIN, T. E. **Estudo genético quantitativo de características associadas à produção de ovos em duas linhagens de codornas poedeiras (*Coturnix japonica*)**. 2023. Tese (Doutorado em Ciência Animal) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/60e3191b-8d91-4943-bd50-81c1ef6906f2/content>. Acesso em: 2 jun. 2025.

TAVERNARI, F.C.; LIMA, G.J.M.M.; MANZKE, N.E. et al. Resultados da Embrapa com peletização e uso de glicerina bruta. *Avic. Ind.*, n. 10, p. 14-19, 2013.

TEIXEIRA, B. B.; TEIXEIRA, R. B.; SILVA, L. P.; TORRES, R. A.; CAETANO, G. C.; EUCLYDES, R. F. Estimação dos componentes de variância para as características de produção e de qualidade de ovos em matrizes de codorna de corte. *Ciência Rural*, n. 42, v. 4, p. 713-717, 2012.

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

VASCONCELOS, R. C.; PIRES, A. V.; LIMA, H. J. D'A.; BALLOTIN, L. M. V.; VELOSO, R. de C.; DRUMOND, E. S. C.; GONÇALVES, F. M. Características de carcaça de codornas de corte alimentadas com diferentes níveis de proteína e energia. *Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.*, v. 15, n. 4, p. 1017-1026, 2014.

VIEIRA FILHO, J. A.; GARCIA, E. A.; MOLINO, A. de B.; SANTOS, T. A. dos; PAZ, I. C. de L. A.; BALDO, G. A. de A. Productivity of japanese quails in relation to body weight at the end of the rearing phase. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 38, n. 2, p. 213-217, 2016.

VILELLA, J. L. **Criação de codornas**. Cuiabá: SEBRAE/MT, 1998.

UMIGI, R. T.; BARRETO, S. L. T.; REIS, R. S.; MESQUITA FILHO, R. M. ARAÚJO, M. S. Níveis de treonina digestível para codornas japonesas na fase de produção. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 64, p. 658-664, 2012.

VAN KRIMPEN, M. Feeding to prevent feather pecking in layers. *World Poultry*, Netherlands, v. 28, p. 1-2, 2012.

WARREN, W.A.; EMMERT, J.L. Efficacy of phase-feeding in supporting growth performance of broiler chicks during the starter and finisher phases. *Poultry Science*, v. 79, p. 764-770. 2000.

WILSON, W.; ANDERSON, B.; SIOPEs, T. D. Importation of Wild Strain Japanese Quail (Wild *Coturnix*) Offers New Game Bird Possibility. *California Agriculture*, v. 25, n. 7, p. 5-6, 1971.

ZANELLA, I.; SAKOMURA, N. K.; SILVERSIDES, F. G.; FIGUEIREDO, A.; PACK, M.  
Effect of enzyme supplementation of broiler diets based on corn and soybeans. **Poultry Science**, Champaign, v. 78, n. 4, p. 561-568, abr. 1999.

## **CAPÍTULO II**

---

### **AVALIAÇÃO DE MODELOS NÃO-LINEARES E ANÁLISE DE PARALELISMO NO CRESCIMENTO CORPORAL DE LINHAGENS DE CODORNA JAPONESA**

## **Avaliação de modelos não-lineares e análise de paralelismo no crescimento corporal de linhagens de codorna japonesa**

### **Resumo**

A caracterização do crescimento da codorna japonesa (*Coturnix coturnix japonica*) é essencial para otimizar a produção e subsidiar estratégias para o melhoramento genético e manejo durante a criação das aves. Este estudo teve como objetivo avaliar e comparar modelos não-lineares de crescimento para descrever a dinâmica do crescimento corporal de duas linhagens de codornas japonesas (A e B) em uma granja comercial situada no Nordeste brasileiro, selecionar o modelo mais adequado com base em critérios preestabelecidos e investigar diferenças entre as curvas de crescimento dessas linhagens por meio da análise de paralelismo. Foram analisados dados zootécnicos de lotes comerciais de duas linhagens, criadas sob as mesmas condições de manejo e alimentação. Realizaram-se a análise descritiva e o ajuste dos modelos não-lineares de Gompertz, Logístico, Richards e Von Bertalanffy, com avaliação estatística dos parâmetros estimados, utilizando a soma dos quadrados do erro, o coeficiente de determinação e os critérios de informação de Akaike e Bayesiano. O modelo selecionado foi posteriormente empregado na análise de paralelismo para comparação das curvas entre as linhagens. Os resultados indicaram que o modelo de Von Bertalanffy apresentou melhor desempenho na descrição do crescimento corporal das codornas. Observou-se semelhança no peso à maturidade entre as linhagens e diferenças nos parâmetros associados à taxa de maturidade, evidenciando padrões distintos de crescimento ao longo do tempo. Estes resultados demonstram a adequação da modelagem não-linear como ferramenta para a caracterização do crescimento de codornas e para a comparação entre linhagens comerciais.

**Palavras-chaves:** taxa de crescimento, paralelismo, modelagem não-linear, curva de Gompertz, produção avícola.

### **Abstract**

The characterization of growth in Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) is essential to optimize production and support strategies for genetic improvement and management during bird rearing. This study aimed to evaluate and compare nonlinear growth models to describe the dynamics of body growth in two Japanese quail strains (A and B) raised on a commercial farm located in northeastern Brazil, to select the most appropriate model based on pre-established criteria, and to investigate differences between the growth curves of these strains through parallelism analysis. Zootechnical data from commercial flocks of the two strains, reared under the same management and feeding conditions, were analyzed. Descriptive analysis and the fitting of the Gompertz, Logistic, Richards, and Von Bertalanffy nonlinear models were performed, with statistical evaluation of the estimated parameters using the error sum of squares, the coefficient of determination, and the Akaike and Bayesian information criteria. The selected model was subsequently applied in the parallelism analysis to compare growth curves between strains. The results indicated that the Von Bertalanffy model showed the best performance in describing quail body growth. Similarity in mature body weight between strains was observed; however, differences were found in parameters associated with maturity rate, indicating distinct growth patterns over time. These findings demonstrate the suitability of nonlinear modeling as a tool for characterizing quail growth and for comparing commercial strains.

**Keywords:** growth rate, parallelism, nonlinear modeling, Gompertz curve, poultry production.

## Introdução

A criação da codorna japonesa (*Coturnix coturnix japonica*) tem se expandido na indústria avícola mundial, com destaque para países como Brasil (Grieser et al., 2024; Lima, Morais; Pereira, 2023), China (Lukanov, 2019), Estados Unidos da América (Lukanov, 2019), Índia (Pandian et al., 2017; Prabakaran; Valavan, 2020) e diversas nações africanas, como a Nigéria (GbadamosI et al., 2024).

O crescimento se deve às características produtivas da espécie, que incluem seu pequeno porte (Arunrao et al., 2023) e rápido ciclo para o início da produção de ovos (cinco a seis semanas) (Kaya Başar; Nariñç, 2023; Razee et al., 2016), devido a sua maturidade sexual precoce (entre 35 e 42 dias) (Arunrao et al., 2023; Basri; Sulastri, 2021; Razee et al., 2016), curto período de incubação (16 a 18 dias) (Dauda et al., 2014), e elevadas taxas de prolificidade (250 a 300 ovos por ano) (Arunrao et al., 2023; Basri; SulastrI, 2021; Jatoi et al., 2013), fecundidade (superior a 75%) (DAUDA et al., 2014) e longevidade reprodutiva (superior a 18 meses) (Basri; Sulastri, 2021). Estes fatores, aliados à boa adaptação a sistemas de produção intensivos e de baixo custo e à elevada resistência a doenças, fazem da codorna japonesa uma opção economicamente viável, com investimento inicial relativamente reduzido e rápido retorno econômico (Pandiam et al., 2017).

Além do desempenho zootécnico, a criação de codornas japonesas está associada à produção de carne e ovos de alto valor nutricional (Ahmad et al., 2018; Ghayas et al., 2017), sendo a carne reconhecida pelo sabor diferenciado e perfil lipídico favorável à saúde humana (Kayang et al., 2004; Nasr; Ali; Hussein, 2017). O desempenho produtivo dessas aves é influenciado por diversos fatores, incluindo estrutura genética (Arunrao et al., 2023; HaqanI et al., 2023; Karabağ et al., 2017), condições ambientais (Barros Júnior et al., 2024; Nariñç; Nariñç; Aygün, 2017), aspectos morfológicos e comportamentais (Dash et al., 2018; Guler et al., 2023; Grieser et al., 2018a; Haqani et al., 2021; Iranmanesh et al., 2016; Lukanov; Pavlova, 2020), aspectos nutricionais (tipo de ingredientes na formulação e quantidade oferecida) (Barros Júnior et al., 2024; Turgud; Nariñç, 2022) e a interação entre esses fatores (Kaplan; Gürçan, 2018; Kaplan; Nariñç; Gürçan, 2016; Lukanov; Pavlova, 2020; Nariñç; Nariñç; Aygün, 2017; Santos et al., 2018; Yavuz et al., 2019).

Destaca-se que tais variáveis afetam diretamente a taxa de crescimento e o consumo alimentar (Narinç; Narinç; Aygün, 2017), tornando a caracterização do crescimento fundamental para o aprimoramento do desempenho produtivo e da qualidade do produto (Silva et al., 2016).

O crescimento, definido como o aumento progressivo do peso corporal e do tamanho até a idade adulta (Narinç; Narinç; Aygün, 2017), pode ser descrito por modelos matemáticos, que fornecem estimativas dos parâmetros de crescimento (Grieser et al., 2018a; 2018b). Esses parâmetros, em sua maioria, são biologicamente interpretáveis (Grieser et al., 2018a; 2018b; Silva et al., 2016) e essenciais tanto para pesquisas, quanto para aplicações na produção comercial (Kaplan; Gürcan, 2018; Yavuz et al., 2019).

A análise desses parâmetros permite prever taxas de desenvolvimento (Arunrao et al., 2023; Narinç et al., 2010), identificar mudanças na curva de crescimento (Silva et al., 2016), otimizar o manejo e a nutrição das aves, contribuindo para crescimento adequado e melhor conversão alimentar (Kaplan; Gürcan, 2018; Narinç et al., 2009; Yavuz et al., 2019), além de auxiliar na definição da idade adequada para o abate (Kaplan; Gürcan, 2018). Ademais, essas informações servem como base para estratégias de melhoramento genético, possibilitando ajustes na criação para maximizar o desempenho zootécnico (Karabağ et al., 2017; Kaplan; Gürcan, 2018) e, consequentemente, a rentabilidade da criação (Arunrao et al., 2023).

De maneira geral, a curva de crescimento da codorna japonesa é caracterizada por um crescimento acelerado logo após a eclosão (Bayram; Akbulut, 2009; Bilgin; Esenbuğa, 2003), seguido por uma desaceleração progressiva à medida que atingem a maturidade (Rossi et al., 2017). Este padrão de crescimento sigmoide (Narinç; Narinç; Aygün, 2017) é marcado por um ponto de inflexão, no qual a taxa de crescimento atinge seu valor máximo (Rossi et al., 2017), podendo ser adequadamente descrito por modelos matemáticos não-lineares (Bayram; Akbulut, 2009; Narinç; Narinç; Aygün, 2017).

Entre os modelos matemáticos utilizados para descrever curvas de crescimento sigmóides em aves, destacam-se os modelos não-lineares de Gompertz (Gompertz, 1825), Logístico (Blumberg, 1968; Nelder, 1962), Richards (Richards, 1959) e Von Bertalanffy (Von Bertalanffy, 1957), que se diferem quanto à forma da curva e à interpretação biológica de seus parâmetros, podendo apresentar desempenhos distintos na descrição do crescimento corporal, a depender da espécie, linhagem, sexo e condições de criação (Narinç et al., 2010; Rossi et al., 2017; Santos et al., 2018). O modelo de Gompertz é amplamente utilizado na descrição do crescimento de aves,

incluindo a codorna japonesa, por considerar massa corporal inicial maior que zero, refletindo o peso ao nascimento, e por permitir a estimativa de parâmetros biologicamente interpretáveis, como o peso à maturidade, a taxa de maturidade e o ponto de inflexão da curva (Arunrao et al., 2023; Barros Júnior et al., 2024; Nariņç et al., 2017). Entretanto, a literatura evidencia que não há consenso quanto à superioridade de um único modelo de crescimento, uma vez que o desempenho preditivo e a qualidade de ajuste dos modelos podem variar em função de diversos fatores intrínsecos e extrínsecos à criação (Grieser et al., 2018a; Rossi et al., 2017; Santos et al., 2018).

Estudos com codornas japonesas reportam resultados divergentes quanto ao modelo mais adequado, com diferentes trabalhos apontando modelos como Gompertz, Richards, Von Bertalanffy, Weibull ou funções *spline* como os mais adequados, dependendo do conjunto de dados analisado e dos critérios de ajuste empregados. Dessa forma, a comparação sistemática entre modelos não-lineares, utilizando critérios objetivos de qualidade de ajuste, torna-se fundamental para a adequada descrição do crescimento corporal.

O objetivo deste estudo foi avaliar e comparar modelos não-lineares de crescimento para descrever a dinâmica do crescimento corporal de duas linhagens de codornas japonesas (A e B) em uma granja comercial situada no Nordeste brasileiro, selecionar o modelo mais equilibrado com base em critérios de informação e investigar diferenças estruturais entre as curvas de crescimento de diferentes linhagens por meio da análise de paralelismo.

Com base no exposto, este estudo foi conduzido sob as seguintes hipóteses: (i) diferentes modelos não-lineares apresentam desempenhos distintos na descrição do crescimento corporal de codornas japonesas, sendo possível identificar um modelo mais equilibrado e com melhor capacidade de ajuste aos dados provenientes de condições comerciais de criação; (ii) as curvas de crescimento das linhagens A e B diferem quanto aos parâmetros de crescimento, refletindo variações genéticas entre linhagens, e (iii) tais diferenças podem se manifestar tanto em termos de nível, quanto de forma da curva, de modo que a análise de paralelismo permite identificar se as linhagens compartilham uma mesma estrutura funcional de crescimento, ou se apresentam padrões de crescimento estruturalmente distintos.

## **Material e Métodos**

## Base de dados e Amostragem

A pesquisa foi conduzida utilizando dados zootécnicos obtidos de uma granja comercial localizada na zona rural de Caruaru, Pernambuco, Brasil (8° 16' 58'' S, 35° 58' 33'' O), no período de 2021 a 2022. A base de dados possui registros de codornas japonesas de postura (*Coturnix coturnix japonica*), provenientes de dois lotes comerciais. Cada lote continha, inicialmente, 55 mil codornas, sendo um lote composto por codornas da linhagem A, e o outro por codornas da linhagem B.

Os registros zootécnicos foram realizados diariamente, do primeiro dia até as aves atingirem 42 dias, e incluíram informações sobre a linhagem (A e B), a idade das aves (dias), o peso médio das aves (g), o consumo médio de ração ( $\text{g ave}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ), a temperatura ambiente ( $^{\circ}\text{C}$ ), o número do lote, a quantidade de aves em cada lote, a quantidade de aves mortas em cada lote, e o percentual de mortalidade (%).

Ao longo do período de coleta de dados, a quantidade de aves considerada em cada avaliação foi ajustada de acordo com a mortalidade observada nos lotes. À medida que as aves morriam, o número de aves restantes era reduzido proporcionalmente nas análises subsequentes, garantindo que o cálculo do consumo médio de ração e das pesagens diárias fosse realizado com base no número atual de aves vivas em cada lote.

Para a obtenção do peso corporal das aves, 1% das aves de cada lote foi selecionado aleatoriamente no primeiro dia de coleta. Essas aves foram demarcadas e utilizadas nas pesagens diárias subsequentes. O consumo médio de ração foi calculado com base no total de ração fornecida diariamente aos lotes, dividido pelo número total de aves em cada lote. E o percentual de mortalidade foi calculado com base no número de aves que faleceram em relação ao número total de aves no início de cada período de avaliação multiplicado por 100.

## Alojamento e Manejo

No período de cria e recria, as codornas foram alojadas em gaiolas de crescimento com dimensões de 100 cm de comprimento, 70 cm de largura e 25,5 cm de altura, com densidade de 35  $\text{cm}^2$  por ave, equivalente a 200 aves por gaiola. Aos dez dias, foi realizada a transferência de metade do lote para outro aviário de recria, com gaiolas da mesma dimensão. A outra metade permaneceu

no galpão de alojamento inicial. Após a transferência, a densidade era de aproximadamente 75 cm<sup>2</sup>/ave. Entre os 28 e 35 dias, iniciaram-se a debicagem e o alojamento das codornas no galpão de postura, utilizando analgésico à base de dipirona (Dipiren) e suplementação vitamínica (AgVit + suplementação de vitamina K) na água de bebida para minimizar o estresse. A vitamina foi utilizada dois dias antes da debicagem, durante o processo, e dois dias após. Já o analgésico foi utilizado na noite anterior à debicagem, durante o processo e dois dias após. O procedimento adotado foi corte tradicional, seguido de cauterização. No galpão de postura, as codornas foram alojadas em gaiolas com dimensões de 60 cm de comprimento, 26,6 cm de altura, 63 cm de largura, com densidade de 105 cm<sup>2</sup> por ave, correspondente a 36 aves por gaiola.

O regime de iluminação seguiu protocolo específico: nos 14 primeiros dias, as aves permaneceram sob 24 horas de luz contínua. A partir do 15º dia, a iluminação foi reduzida gradualmente em uma hora por dia, até atingir 13 horas diárias, regime que foi mantido após a transferência para o galpão de postura até que as aves atingissem 150 g de peso corporal. A partir deste peso, foi realizado o aumento de uma hora de luz/semana até que atingissem 17 horas de luz durante a fase de produção, mantidas até o descarte das aves.

A temperatura ambiente foi monitorada diariamente ao longo de todo o período experimental por meio do registro das temperaturas mínima e máxima no interior do galpão de criação. A temperatura média diária ( $T_{méd}$ ) foi estimada pela média aritmética entre os valores de temperatura máxima ( $T_{max}$ ) e mínima ( $T_{min}$ ), conforme a equação  $T_{méd} = (T_{(max)} + T_{(min)})/2$ . Posteriormente, os valores médios diários foram utilizados para caracterizar as condições térmicas do ambiente experimental no período de criação das codornas.

## **Dietas**

As dietas eram divididas em fases de acordo com o desenvolvimento das aves. Na fase inicial (um a 15 dias), a ração possuía níveis nutricionais de 2960 kcal/kg de energia metabolizável, 26% de proteína bruta e 1 % de cálcio total. Na fase de crescimento (16 até o primeiro ovo), a ração possuía 2950 kcal/kg, 24% de proteína bruta e 1 % de cálcio total. Na fase de postura 1 (primeiro ovo até 210 dias), a ração possuía 2900 kcal/kg, 22,5% de proteína bruta e 3,3 % de cálcio total. Na fase de postura 2 (211 dias até 425 dias), a ração possuía 2850 kcal/kg, 21,5 % de proteína bruta

e 3,5 % de cálcio total. Em todas as fases, as aves tinham acesso à água, sem contaminantes, de maneira contínua por meio de bebedouros tipo *nipple*.

### Análise estatística e modelos matemáticos

Inicialmente, foi realizada uma análise descritiva da temperatura ambiente (°C), do consumo médio de ração (g ave<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) e do percentual de mortalidade. Para o peso corporal, as observações foram avaliadas quanto à presença de valores extremos por meio do cálculo do escore *z*, sendo consideradas válidas aquelas compreendidas no intervalo entre  $-2\sigma$  e  $+2\sigma$ . Os valores fora desse intervalo foram excluídos da base de dados, com o objetivo de minimizar a influência de possíveis *outliers* sobre o ajuste dos modelos.

O crescimento das codornas foi descrito pelo ajuste dos modelos não-lineares amplamente utilizados em estudos de crescimento animal, sendo eles: de Gompertz (Gompertz, 1825; Winsor, 1932), Logístico (Nelder, 1962), Richards (Richards, 1959) e Von Bertalanffy (Von Bertalanffy, 1957) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Expressões matemáticas e parâmetros dos modelos não lineares de crescimento avaliados

Modelos de Crescimento	Equações
Gompertz	$Y_t = a \cdot e^{-b \cdot e^{(-k \cdot t)}}$
Logístico	$Y_t = a / (1 + b \cdot e^{(-k \cdot t)})$
Richards	$Y_t = a \cdot (1 - b \cdot e^{(-k \cdot t)})^m$
Von Bertalanffy	$Y_t = a \cdot (1 - b \cdot e^{(-k \cdot t)})^3$

Nota:  $Y_t$  é o peso do animal na idade  $t$  (g);  $a$  é o peso assintótico (peso corporal na idade adulta (g));  $k$  é o parâmetro da taxa de maturidade (dia<sup>-1</sup>);  $t$  é a idade da ave (dias);  $b$  é a constante de integração relacionada ao peso inicial;  $m$  é o parâmetro de forma (modelo de Richards), e  $e$  é o número de Euler (2,718282), base dos logaritmos neperianos.

Os valores iniciais dos parâmetros foram definidos com base na literatura e em estimativas preliminares dos dados, visando facilitar a convergência dos algoritmos de estimação. O ajuste dos modelos foi realizado por meio de mínimos quadrados não lineares, utilizando o método iterativo de Marquardt.

A qualidade do ajuste dos modelos foi avaliada com base na raiz do erro quadrático médio (RMSE) e nos critérios de informação de Akaike (AIC) e Bayesiano (BIC) (Akaike, 1974; Schwarz,

1978). A significância estatística dos parâmetros estimados foi avaliada pelos testes F aproximados ( $p < 0,05$ ). Adicionalmente, a matriz de correlação entre os parâmetros foi analisada para identificar possíveis interdependências entre eles.

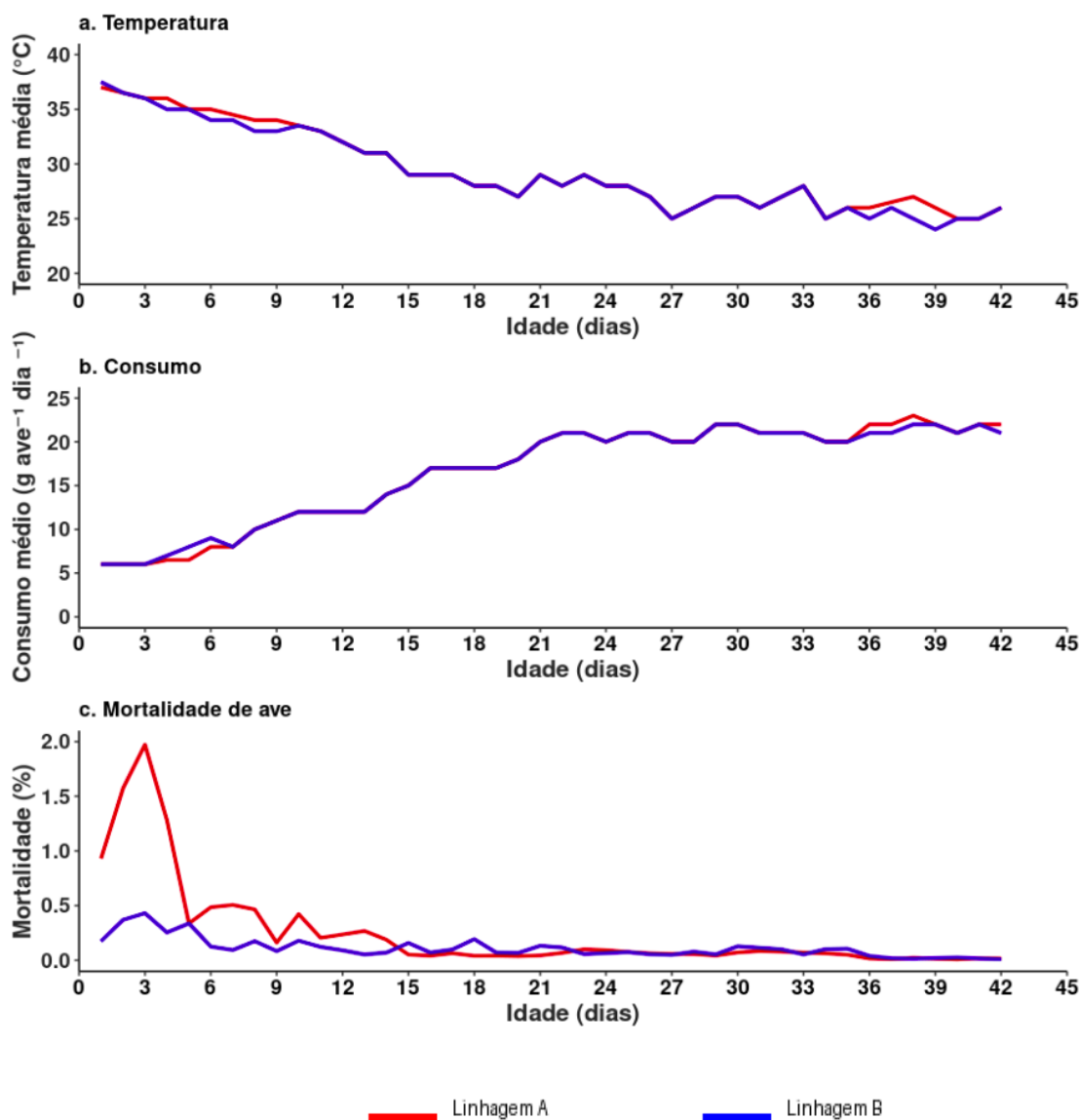
O modelo que apresentou simultaneamente os menores valores de AIC e BIC foi considerado o mais adequado e com melhor capacidade de descrição do crescimento corporal das aves. Este modelo foi, então, utilizado na análise de paralelismo entre as linhagens, conforme o método proposto por Regazzi (2004), com o objetivo de testar a igualdade estrutural das curvas de crescimento.

Na análise de paralelismo, foram testadas, de forma hierárquica, hipóteses de igualdade total ou parcial dos parâmetros do modelo entre as linhagens, incluindo igualdade do peso assintótico, da taxa de crescimento, da forma da curva e combinações desses parâmetros. A comparação entre modelos completos e restritos foi realizada por meio de testes de razão de verossimilhança, testes F aproximados e do teste qui-quadrado ( $p < 0,05$ ), além dos critérios AIC e BIC.

Todas as análises estatísticas foram conduzidas utilizando o *software* SAS (Statistical Analysis System) (SAS Institute Inc., 2023), por meio do procedimento PROC NLIN, que permite o ajuste de modelos não-lineares utilizando o método de mínimos quadrados não-lineares. Para as representações gráficas, utilizou-se a linguagem de programação R no ambiente RStudio (R Core Team, 2025), juntamente dos pacotes *ggplot2* (Wickham, 2016) e *patchwork* (Pedersen, 2024).

## **Resultados e Discussão**

A evolução das condições ambientais e do desempenho das codornas foi monitorada ao longo de 42 dias para as linhagens A e B (Figura 1), pois estes fatores podem influenciar diretamente o desenvolvimento e a produção das linhagens (Barros Júnior *et al.*, 2024; Goel, 2021; Lukanov; Pavlova, 2020; Narinç, Narinç; Aygün, 2017). A variação da temperatura média no ambiente (Figura 1a), do consumo médio de ração (Figura 1b) e da mortalidade (Figura 1c) foram acompanhadas ao longo do desenvolvimento das codornas, a fim de avaliar a possível influência dessas variáveis no crescimento dessas aves.



**Figura 1.** Evolução da temperatura média do ambiente (°C) (a), consumo médio (g ave<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) (b) e mortalidade (%) (c) das codornas japonesas das linhagens A (vermelha) e B (azul) ao longo do desenvolvimento.

A temperatura média do ambiente apresentou uma tendência de queda ao longo do período de estudo (Figura 1a). Nos primeiros dias, as temperaturas foram superiores a 36°C, uma forma de garantir o conforto térmico da espécie nas fases iniciais, visto que possui capacidade limitada de regular a própria temperatura corporal ao nascer (Santana et al., 2021). Contudo, essa temperatura do ambiente foi reduzida gradualmente, estabilizando-se entre 24 e 26°C após o 20º dia. A redução da temperatura ao longo do desenvolvimento da espécie é necessária para manter o conforto térmico (Barros Júnior et al., 2024; Emam et al., 2023) e garantir um desempenho mais eficiente

(Barros Júnior et al., 2024; Santana et al., 2021), visto que, à medida que as aves crescem, sua capacidade de termorregulação melhora (Emam et al., 2023), tornando necessário um ambiente mais ventilado e com temperatura amena para manter níveis produtivos elevados (Barros Junior et al., 2024).

Em relação ao consumo médio de ração, este foi relativamente baixo nos primeiros dias, com aumento gradual ao longo do período (Figura 1b), condizente com os padrões de consumo e desenvolvimento da espécie (Guimarães et al., 2014). O pico de consumo foi atingido por volta do 29º dia, com  $22 \text{ g ave}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  para ambas as linhagens, mantendo-se estável até o final do período avaliado. O consumo por ave  $\text{dia}^{-1}$  encontra-se de acordo com a literatura, considerando o nível de energia metabolizável ( $\text{kcal kg}^{-1}$ ) utilizados na ração (Antunes, 2022; Barreto et al., 2007).

Quanto às taxas de mortalidade, observaram-se maiores valores nos primeiros dias, principalmente para a linhagem A, com máximas próximas a 2%, e taxas menores a partir desse período, com valores inferiores a 0,5% (Figura 1c). A diferença entre as taxas de mortalidades nas linhagens avaliadas pode ser devido ao peso ao nascer, que foi superior na linhagem Vicami em relação à B. Estudos relatam que quanto maior o peso ao nascer maiores são as chances de sobrevivência (Almeida, 2020). Este resultado segue a tendência de maior taxa de mortalidade na primeira semana, com um declínio a partir da segunda semana de vida das codornas (Mahmoud et al., 2023; Móri et al., 2005; Moraes et al., 2016), e encontra-se abaixo dos limites aceitáveis ( $< 5\%$ ) (Mahmoud et al., 2023; Moraes et al., 2016; Muniz et al., 2015).

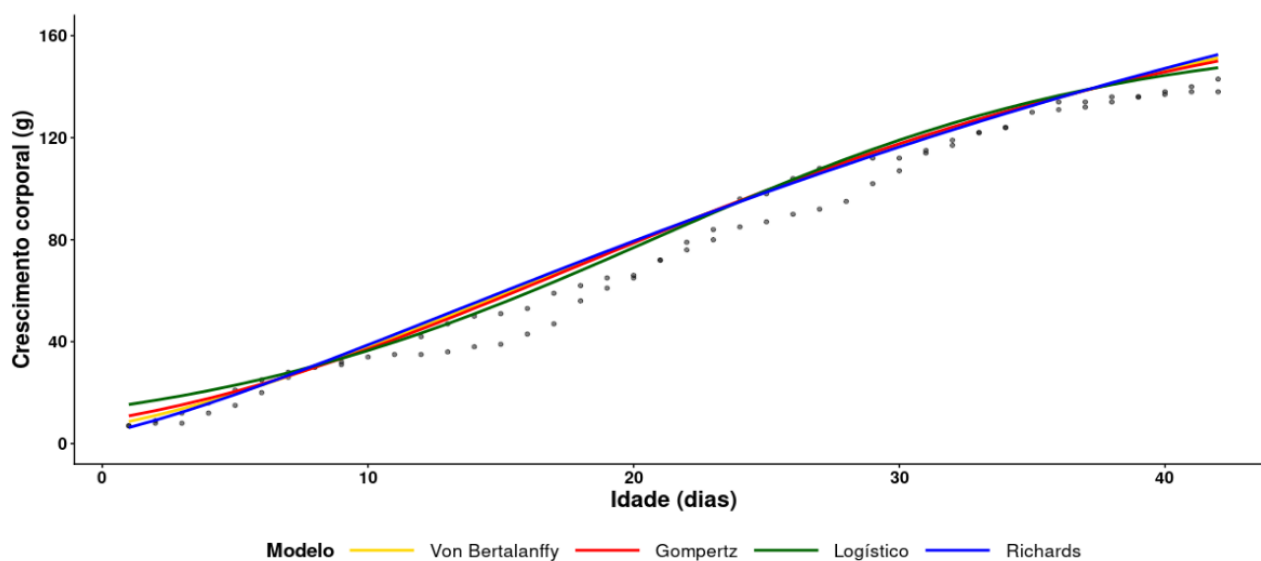
Como os resultados relacionados à temperatura, ao consumo e à mortalidade foram consoantes com a literatura, de tal forma a não causarem efeitos deletérios no desenvolvimento fisiológico das aves, prosseguiu-se com a avaliação e comparação das curvas de crescimento corporal das linhagens estudadas por meio dos modelos de Gompertz, Logístico, Richards e Von Bertalanffy (Tabela 2).

Todos os modelos avaliados apresentaram convergência das estimativas dos parâmetros (Tabela 2; Figura 2). A análise de variância indicou que os modelos ajustados diferiram significativamente do modelo nulo ( $p < 0,01$ ), demonstrando que o conjunto de parâmetros estimados explicou uma parcela substancial da variabilidade observada nos dados. A adequação geral dos ajustes indica que as abordagens avaliadas foram capazes de representar, em diferentes níveis, a curva de crescimento das codornas ao longo do tempo (Tabela 2).

**Tabela 2.** Estimativas dos parâmetros  $a$  (g),  $b$ ,  $k$  e  $m$  referente ao crescimento corporal de duas linhagens de codornas japonesas (A e B) avaliadas ao longo dos primeiros 42 dias de vida, de acordo com os modelos de Gompertz, Logístico, Richards e Von Bertalanffy, e estimativas de qualidade do ajuste e da capacidade preditiva desses modelos pela raiz do erro quadrático médio (RMSE) e pelos critérios de informação de Akaike (AIC) e Bayesiano (BIC)

Parâmetros	Unidade	Modelo			
		Gompertz	Logístico	Richards	Von Bertalanffy
$a$	g	$186,5 \pm 9,39$	$160,6 \pm 5,10$	$253,1 \pm 70,05$	$209,2 \pm 14,10$
$b$	-	$3,023 \pm 0,12$	$10,6 \pm 0,91$	$0,9299 \pm 0,13$	$0,6838 \pm 0,02$
$k$	-	$0,0627 \pm 0,05$	$0,1138 \pm 0,01$	$0,0291 \pm 0,02$	$0,0452 \pm 0,005$
$m$	-	-	-	$1,58 \pm 0,69$	-
RMSE		7,68	8,18	7,57	7,56
AIC		345,35	356,00	343,84	342,79
BIC		352,64	363,29	353,57	350,08

Nota:  $a$  é o peso assintótico (peso corporal na idade adulta (g));  $k$  é o parâmetro da taxa de maturidade ( $\text{dia}^{-1}$ );  $b$  é a constante de integração relacionada ao peso inicial, e  $m$  é o parâmetro de forma (modelo de Richards).



**Figura 2.** Curva de crescimento corporal (g) de duas linhagens de codornas japonesas (A e B) em uma granja comercial situada no Nordeste brasileiro avaliadas ao longo dos primeiros 42 dias de vida, com ajuste pelos modelos de Gompertz (vermelho), Richards (azul), Logístico (verde) e Von Bertalanffy (amarela),

comparada aos dados observados (preto). Pontos representam os valores observados e linhas contínuas, os valores estimados pelo modelo

As estimativas dos parâmetros, bem como os indicadores de qualidade de ajuste e de capacidade preditiva, apresentaram variação entre os modelos avaliados (Tabela 2), que se deve, principalmente, a como cada abordagem matemática descreve a dinâmica de crescimento ao longo do ciclo. Os modelos de Gompertz, Logístico e Von Bertalanffy assumem curvas sigmoidais com ponto de inflexão fixo, enquanto o modelo de Richards incorpora um parâmetro adicional de forma, conferindo maior flexibilidade estrutural e permitindo a variação da posição do ponto de inflexão (Haqari et al., 2021). A diferença conceitual condiciona a capacidade de cada modelo em se ajustar a distintos padrões biológicos de crescimento, refletindo-se diretamente nos valores estimados dos parâmetros e nos critérios de ajuste. Variações paramétricas associadas ao modelo adotado são amplamente relatadas na literatura e podem influenciar tanto a qualidade estatística do ajuste, quanto a interpretação biológica dos resultados (Guler et al., 2022; Haqari et al., 2021). Além disso, as estimativas podem ser afetadas por fatores inerentes ao experimento, como linhagem, sexo, sistema de criação, período avaliado e frequência de mensuração (Akbaş; Yaylak, 2000).

Os critérios de informação de Akaike (AIC) e Bayesiano (BIC), que penalizam a complexidade do modelo, indicaram melhor desempenho do modelo de Von Bertalanffy (Tabela 2). Este modelo apresentou os menores valores de AIC (342,79) e BIC (350,08), quando comparado aos modelos de Gompertz (AIC = 345,35; BIC = 352,64), Logístico (AIC = 356,00; BIC = 363,29) e Richards (AIC = 343,84; BIC = 353,57) (Tabela 2).

As diferenças observadas entre os modelos podem ser compreendidas a partir de suas estruturas funcionais e das premissas implícitas sobre o padrão de crescimento. O modelo de Gompertz, amplamente reportado na literatura como o mais adequado para descrever o crescimento da codorna japonesa, seguido pelos modelos Logístico e Richards (Abdallah, 2017; Anang et al., 2017; Beiki et al., 2013; Faraji-Arough et al., 2018; Goto et al., 2011; Guler et al., 2022; Haqari et al., 2021; Karaman et al., 2013; Kaplan; Gürcan, 2018; Narinc et al., 2010; Raji et al., 2014; Santos et al., 2018; Teleken et al., 2017; Vieira et al., 2025), pressupõe uma curva sigmoideal assimétrica, com crescimento inicial fortemente acelerado e ponto de inflexão fixo em idades relativamente precoces (Tjorve; Tjorve, 2017; Haqari et al., 2021).

No presente estudo, embora o modelo de Gompertz tenha apresentado bom desempenho geral, sua forma funcional indicou uma aceleração inicial mais pronunciada do que aquela

efetivamente observada nos dados (Figura 2). Como consequência, pequenas discrepâncias sistemáticas entre valores observados e preditos ao longo do crescimento, especialmente nas idades iniciais, são capturadas pelos critérios de informação, resultando em valores de AIC e BIC superiores aos do modelo de Von Bertalanffy.

O modelo de Richards, ao incorporar um parâmetro adicional de forma, amplia a flexibilidade do ajuste ao permitir variações na assimetria da curva de crescimento e no posicionamento do ponto de inflexão, sendo particularmente útil em situações nas quais o crescimento apresenta padrões não regulares ou assimétricos (Richards, 1959; Tjorve; Tjorve, 2017). No entanto, essa maior flexibilidade implica aumento da complexidade paramétrica e maior incerteza na estimação dos parâmetros.

No presente conjunto de dados, caracterizado por crescimento contínuo, regular e com alta frequência de mensuração, o padrão empírico observado já é adequadamente descrito por modelos sigmóides mais simples, com ponto de inflexão bem definido. Nessa situação, o parâmetro adicional do modelo de Richards atua apenas ajustando variações marginais do formato da curva, sem capturar um comportamento estruturalmente distinto do crescimento. Como consequência, a redução no erro de ajuste foi insuficiente para compensar a penalização imposta pelos critérios de informação AIC e BIC, resultando em desempenho intermediário em comparação aos demais modelos avaliados (Tabela 2; Figura 2).

O modelo de Von Bertalanffy, por sua vez, descreve o crescimento a partir do balanço entre processos anabólicos e catabólicos, o que resulta em uma curva menos acentuadamente sigmóidal, especialmente nas fases iniciais (Von Bertalanffy, 1957). Esta estrutura funcional mostrou-se particularmente compatível com o padrão observado neste estudo, no qual o crescimento inicial ocorreu de forma gradual, contínua e sem mudanças abruptas na taxa de ganho de peso (Figura 2). Nessas condições, o modelo foi capaz de capturar, de maneira mais adequada, a dinâmica do crescimento ao longo de todo o período avaliado, apresentando menores resíduos sistemáticos e, conseqüentemente, os menores valores de AIC e BIC (Tabela 2; Figura 2). Resultado semelhante foi observado na literatura, no qual o modelo de Von Bertalanffy foi o mais adequado para descrever o crescimento de codornas japonesas (Adedeji et al., 2017).

Assim, o melhor desempenho do modelo de Von Bertalanffy não decorre de uma superioridade geral sobre os demais modelos, mas de uma maior coerência entre sua forma funcional e o padrão biológico de crescimento observado, aliada a um equilíbrio mais favorável

entre qualidade de ajuste e simplicidade estrutural. Estes resultados reforçam que, em estudos com alta resolução temporal e crescimento inicial menos abrupto, modelos baseados em princípios fisiológicos podem superar funções sigmoidais clássicas.

Ao verificar os valores dos parâmetros estimados pelo modelo Von Bertalanffy, observou-se que o parâmetro  $a$ , que representa o peso corporal esperado na idade adulta ( $a = 209,2$  g) encontra-se em conformidade com os intervalos reportados na literatura (Tabela 2). Na literatura, os valores para este parâmetro variam entre 167,5 g (Grieser et al., 2018b) e 305,0 g (Santos et al., 2018) independente do modelo adotado e entre 156,60 g (Adedeji et al., 2017) e 266,35g (Guler et al., 2022), quando se considera especificamente o uso do modelo de Von Bertalanffy. A ampla variação do parâmetro  $a$  entre os estudos pode ser atribuída ao fato de que o peso corporal esperado na idade adulta está fortemente associado à estrutura genética das linhagens avaliadas e às condições ambientais e ao sistema de criação adotado (Bashiru et al., 2019; Raji et al., 2014).

Em relação ao parâmetro da taxa de maturidade ( $k$ ), que expressa a velocidade com que o animal se aproxima do peso assintótico, o valor estimado foi de  $0,0452 \text{ dia}^{-1}$  (Tabela 2), corroborando com os achados na literatura. A literatura reporta valores de  $k$  variando de  $0,012$  a  $0,086 \text{ dia}^{-1}$ , independentemente do modelo de crescimento empregado (Vieira et al., 2025) e entre  $0,039 \text{ dia}^{-1}$  (Adedeji et al., 2017) e  $0,0643 \text{ dia}^{-1}$  (Vieira et al., 2025), quando se considera especificamente o modelo de Von Bertalanffy. Valores mais elevados deste parâmetro indicam maior precocidade de crescimento, uma vez que refletem uma taxa mais rápida de aproximação à maturidade corporal (Grieser et al., 2018b; Karabağ et al., 2017).

Por fim, a constante de integração relacionada ao peso inicial ( $b$ ) apresentou valor estimado de  $0,6838$ , próximo aos valores observados na literatura para codornas japonesas ajustadas pelo modelo de Von Bertalanffy (Adedeji et al., 2017; Guler et al., 2018). Embora este parâmetro não possua interpretação biológica direta, ele exerce papel fundamental na definição da posição inicial da curva de crescimento, influenciando o ajuste do modelo nas fases iniciais da vida. Estimativas adequadas de  $b$  contribuem para uma representação mais realista do peso corporal em idades precoces, especialmente em estudos com elevada frequência de mensuração e crescimento inicial contínuo, como o observado no presente trabalho.

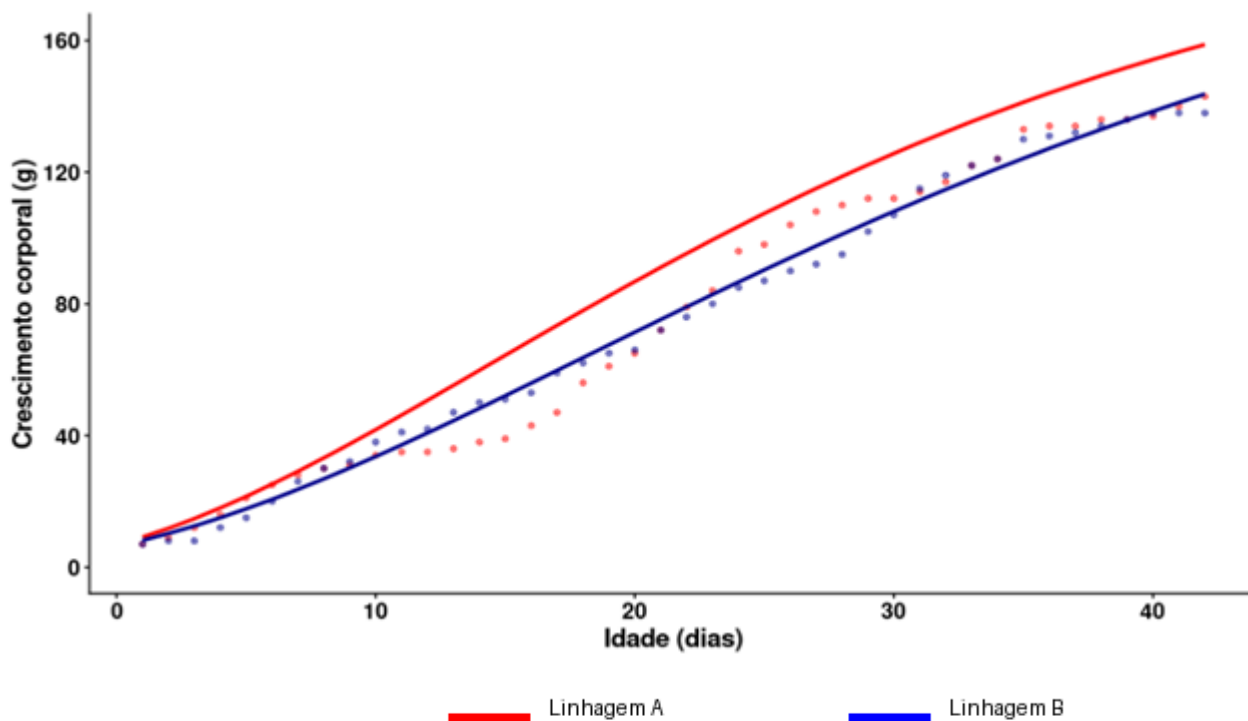
Visando verificar se as linhagens A e B compartilham uma mesma estrutura funcional de crescimento corporal, foram realizadas análises subsequentes de paralelismo entre as curvas ajustadas pelo modelo de Von Bertalanffy (Tabela 3; Figura 3). Os testes evidenciaram que, embora

ambas compartilhem aspectos estruturais semelhantes, existem diferenças relevantes na dinâmica do crescimento ao longo do período avaliado (Tabela 3; Figura 3).

**Tabela 3.** Resumo dos resultados dos testes de paralelismo crescimento corporal de duas linhagens de codornas japonesas (A e B) avaliadas ao longo dos primeiros 42 dias de vida, com ajuste pelo modelo Von Bertalanffy

Hipótese	Restrição imposta	F calculado	<i>p</i> -valor	Decisão ( $\alpha = 0,05$ )
H01	$a_1 = a_2$ (peso assintótico)	0.7595	0.3862	Não rejeita $H_0$
H02	$b_1 = b_2$ (constante de integração)	0.8725	0.3531	Não rejeita $H_0$
H03	$k_1 = k_2$ (taxa de maturidade)	9.3169	0.0031	Rejeita $H_0$
H04	$a_1 = a_2, b_1 = b_2$	1.6706	0.1948	Não rejeita $H_0$
H05	$a_1 = a_2, k_1 = k_2$	40.5546	< 0.0001	Rejeita $H_0$
H06	$b_1 = b_2, k_1 = k_2$	14.0586	< 0.0001	Rejeita $H_0$
H0_ident.	$a_1 = a_2, b_1 = b_2, k_1 = k_2$	181.9754	< 0.0001	Rejeita $H_0$

Nota:  $a$  é o peso assintótico (peso corporal na idade adulta (g));  $k$  é o parâmetro da taxa de maturidade (dia<sup>-1</sup>), e  $b$  é a constante de integração relacionada ao peso inicial.



**Figura 3.** Comparação quanto ao crescimento corporal (g) observado e predito pelo modelo Von Bertalanffy entre duas linhagens de codornas japonesas, A (vermelho) e B (azul) avaliadas ao longo dos primeiros 42 dias de vida. Pontos representam os valores observados e linhas contínuas, os valores estimados pelo modelo

Inicialmente, ao verificar a hipótese de igualdade do parâmetro do peso assintótico ( $H01: a_1 = a_2$ ), ao contrário de alguns estudos (Antunes, 2022; Arunrao et al., 2023; Karabağ et al., 2017), não foi observado diferença significativa entre as linhagens ( $p > 0,05$ ) (Tabela 3). Este resultado sugere que o peso na maturidade pode ser independente do material genético avaliado, ou então que as linhagens avaliadas apresentam similaridade genética para esta característica sob as condições ambientais e de manejo do presente estudo; podendo estar associado a critérios e parâmetros de seleção semelhantes (Carvalho et al., 2020). Achados semelhantes têm sido reportados em estudos com linhagens comerciais de codornas japonesas, nos quais diferenças genéticas nem sempre se refletem em variações significativas no peso adulto, mas, sim, na trajetória de crescimento até a maturidade (Carvalho et al., 2020).

De forma análoga, a hipótese de igualdade da constante de integração ( $H02: b_1 = b_2$ ) também não foi rejeitada ( $p > 0,05$ ) (Tabela 3). Embora esse parâmetro não possua interpretação biológica direta, ele exerce papel fundamental na definição da posição inicial da curva de crescimento e, neste caso, indica que ambas as linhagens apresentaram comportamento semelhante nas fases iniciais de crescimento.

Por outro lado, a hipótese de igualdade da taxa de maturidade ( $H03: k_1 = k_2$ ) foi rejeitada ( $p < 0,05$ ), evidenciando diferenças significativas na velocidade com que as linhagens se aproximam do peso assintótico (Tabela 3; Figura 3). Este resultado indica que, apesar de atingirem pesos finais semelhantes, as linhagens A e B apresentam ritmos distintos de crescimento, com valores de  $k$  estimados em  $0,0498 \text{ dia}^{-1}$  para a linhagem A e  $0,0404 \text{ dia}^{-1}$  para a linhagem B, refletindo diferenças na precocidade do desenvolvimento corporal. Biologicamente, valores distintos deste parâmetro estão associados a estratégias de crescimento divergentes, nas quais uma linhagem pode apresentar ganho de peso mais acelerado nas fases iniciais, enquanto a outra apresenta crescimento mais gradual ao longo do tempo.

Ao avaliar as hipóteses conjuntas, observou-se a não rejeição daquelas que envolvem simultaneamente os parâmetros do peso assintótico e da constante de integração ( $p > 0,05$ ) (Tabela 3), reforçando que tanto o peso na maturidade, quanto a posição inicial das curvas são semelhantes entre as linhagens. Em contrapartida, verificou-se a rejeição das hipóteses que envolvem a

igualdade da taxa de maturidade em conjunto com outros parâmetros ( $H05: a_1 = a_2, k_1 = k_2$ ;  $H06: b_1 = b_2, k_1 = k_2$ ), bem como da hipótese de identidade completa das curvas ( $p < 0,01$ ) (Tabela 3). Estes resultados indicam que as diferenças entre as curvas persistem sempre que o parâmetro  $k$  é incluído nas restrições e confirmam que as linhagens A e B não compartilham uma mesma curva de crescimento corporal, apesar das semelhanças observadas em parâmetros específicos (Figura 3).

Assim, as diferenças entre as linhagens são atribuídas predominantemente à taxa de maturidade, e não ao peso corporal final ou às condições iniciais de crescimento. Do ponto de vista aplicado, estes resultados têm implicações relevantes, uma vez que diferenças na taxa de maturidade podem influenciar decisões relacionadas ao manejo nutricional, a idade à maturidade sexual e/ou ao início da postura. Linhagens mais precoces tendem a demandar ajustes distintos na oferta de nutrientes e no planejamento produtivo, mesmo quando o peso adulto esperado é semelhante. Portanto, a análise de paralelismo baseada no modelo de Von Bertalanffy mostrou-se uma ferramenta eficaz para discriminar diferenças sutis, porém, biologicamente relevantes, no padrão de crescimento entre linhagens comerciais de codornas japonesas.

## **Conclusão**

Os modelos não-lineares avaliados foram capazes de descrever adequadamente o crescimento corporal das codornas japonesas das linhagens A e B. Entre os modelos comparados, o modelo de Von Bertalanffy apresentou o melhor desempenho global, sendo selecionado como o mais equilibrado com base nos critérios de informação, atendendo ao objetivo de identificar a abordagem matemática mais adequada para dados provenientes de condições comerciais de criação.

A análise de paralelismo indicou diferenças estruturais entre as curvas de crescimento das linhagens, associadas principalmente à taxa de maturidade, evidenciando que A e B não compartilham um mesmo padrão de crescimento ao longo do tempo. Estes resultados confirmam a existência de variações entre linhagens e reforçam a importância da escolha adequada do modelo de crescimento para subsidiar decisões relacionadas ao manejo e ao planejamento produtivo em sistemas de criação de codornas japonesas.

## Referências Bibliográficas

- ABDALLAH, F. Using Nonlinear Models to Describe Body Weight Growth Curves in Three Different Lines of Japanese Quail. **Alexandria Journal of Veterinary Sciences**, [s. l.], v. 52, n. 1, p. 81, 2017.
- ADEDEJI, O.A. et al. Analysis of growth models of Japanese quails (*Coturnix Coturnix Japonica*) in Nigeria. **Thai Journal of Agricultural Science**, [s.l.], v. 50, n.3-4, p. 155-65, 2017.
- AHMAD, S. et al. Different selection strategies for the improvement of the growth performance and carcass traits of Japanese quails. **Brazilian Journal of Poultry Science**, [s. l.], v. 20, n. 3, p. 497–506, 2018.
- AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE Transactions on Automatic Control**, [s. l.], v. 19, n. 6, p. 716–723, 1974.
- AKBAS, Y.; YAYLAK, E. Heritability estimates of growth curve parameters and genetic correlations between the growth curve parameters and weights at different age of Japanese quail. **Archiv für Geflügelkunde**, [s.l.], v.64, n.12, p.141-146, 2000.
- ALMEIDA, B. H. M. **Efeitos sistemáticos na análise de sobrevivência de codornas de corte**. 2020. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020. Disponível em: [https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/57910/7/2020\\_dis\\_bhmalmeida.pdf](https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/57910/7/2020_dis_bhmalmeida.pdf). Acesso em: 19 maio 2025.
- ANANG, A. et al. Mathematical model of growth of two purelines of Padjadjaran female quail aged 0 to 6 weeks. **Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture**, [s.l.], v.42, n.2, p. 66, 2017.
- ANTUNES, L. R. **Exigências de lisina para codornas em crescimento: um estudo meta-analítico**. 2022. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2022. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede/handle/tede2/9030>. Acesso em: 20 nov. 2025.
- ARUNRAO, K. V. et al. Production performance of four lines of Japanese quail reared under tropical climatic conditions of Tamil Nadu, India. **Frontiers in Genetics**, [s. l.], v. 14, p. 1128944, 2023.
- BARRETO, S. L. T. et al. Níveis de energia metabolizável para codornas japonesas na fase inicial de postura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [s. l.], v. 36, n. 1, p. 79–85, 2007.
- BARROS JÚNIOR, R. F. et al. Nutritional plans and ambient temperature on the growth curves of Japanese quails. **Ciência Rural**, [s. l.], v. 54, n. 2, e20220204, 2024.

- BASHIRU, H.A. et al. Evaluation of four classical non-linear models to describe the growth curve of funaab-alpha chickens. **Animal Health and Production**, [s.l.], v. 67, p. 323-32, 2019.
- BASRI, H.; SULASTRI, M. P. Physical quality of the first egg of Japanese quail (*Coturnix japonica* L.) after given liquid herbal concoction. **Mangifera Edu**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 121–130, 2021.
- BEIKI, H. et al. Evaluation of growth functions on Japanese quail lines. **J Poult Sci.**, v. 50, n.1, p.20-27, 2013.
- BILGIN, Ö. C.; ESENBUĞA, N. Parameter estimation in nonlinear growth models. **Journal of Animal Production**, [s. l.], v. 44, n. 2, p. 81–90, 2003.
- BLUMBERG, A. A. Logistic growth rate functions. **Journal of Theoretical Biology**, [s. l.], v. 21, n. 1, p. 42–44, 1968.
- CARVALHO, L. C. et al. Genetic growth potential characterization in the Japanese quail: a meta-analysis. **Animal**, [s. l.], v. 14, p. s341–s347, 2020.
- DASH, S. K.; NAIK, S.; DUBEY, P. P.; MALHOTRA, P.; BANSAL, B. K. Effect of plumage colour and estimation of variance components of bi-weekly growth traits in Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*). **The Indian Journal of Animal Sciences**, [s. l.], v. 88, n. 10, p. 1193–1196, 2018.
- DAUDA, G.; MOMOH, O. M.; DIM, N. I.; OGAH, D. M. Growth, production and reproductive performance of Japanese quails (*Coturnix coturnix japonica*) in humid environment. **Egyptian Poultry Science Journal**, [s. l.], v. 34, n. 2, p. 381–395, 2014.
- EMAM, A. M.; ELNESR, S. S.; EL-FULL, E. A.; MAHMOUD, B. Y.; ELWAN, H. Influence of improved microclimate conditions on growth and physiological performance of two Japanese quail lines. **Animals**, [s. l.], v. 13, n. 6, p. 1118, 2023.
- FARAJI-AROUGH, H. et al. Comparative study of growth patterns in seven strains of Japanese quail using nonlinear regression modeling. **Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences**, [s.l.], v.42, p. 441-451, 2018.
- GBADAMOSI, A. O. et al. Analyses of quail production, management and constraints in Ondo State, Nigeria. **Nigeria Agricultural Journal**, [s. l.], v. 55, n. 1, p. 9–15, 2024.
- GHAYAS, A. et al. Productive performance, egg quality, and hatching traits of Japanese quail reared under different levels of glycerin. **Poultry Science**, [s. l.], v. 96, n. 7, p. 2226–2232, 2017.
- GOEL, A. Heat stress management in poultry. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, [s. l.], v. 105, n. 6, p. 1136–1145, 2021.

GOMPERTZ, B. 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. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, [s. l.], v. 115, p. 513–583, 1825.

GOTO, N. et al. Growth curve analysis for a QTL resource family F2 intercross of the Oh-Shamo and White Leghorn breeds of chickens. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, [s.l.], v. 10, p. 3207-3211, 2011.

GRIESER, D. O. et al. Estimation of growth parameters of body weight and body nutrient deposition in males and females of meat- and laying-type quail using the Gompertz model. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [s. l.], v. 47, e20170083, 2018a.

GRIESER, D. O. et al. Adjustment of nonlinear models and growth parameters and body nutrient deposition in meat-type and laying quail. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [s. l.], v. 47, 2018b.

GRIESER, D. O. et al. Coturnicultura no Brasil: uma atividade promissora para produtores rurais. **Agropecuária Científica no Semiárido**, [s. l.], v. 20, n. 2, p. 35–39, 2024.

GUIMARÃES, M. C. C. et al. Efeito da estação do ano sobre o desempenho produtivo de codornas no semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s. l.], v. 18, n. 2, p. 231–237, 2014.

GULER, S.; ARSLAN, E.; SARI, M. M.; CETIN, O. Comparison of growth curves with non-linear models in Japanese quails of different plumage color. **Eurasian Journal of Veterinary Sciences**, [s. l.], 2023.

HAQANI, M.I. et al. Growth performance and nonlinear growth curve functions of large- and normal-sized Japanese quail (*Coturnix japonica*). **The Journal of Poultry Science**, [s. l.], v. 58, n. 2, p. 88–96, 2021.

HAQANI, M.I. et al. Association analysis of production traits of Japanese quail (*Coturnix japonica*) using restriction-site associated DNA sequencing. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 21307, 2023.

IRANMANESH, M. et al. A molecular genome scan to identify DNA segments associated with live weight in Japanese quail. **Molecular Biology Reports**, [s. l.], v. 43, n. 11, p. 1267–1272, 2016.

JATOI, A. S. et al. Effect of different body weight categories on the productive performance of four close-bred flocks of Japanese quails (*Coturnix japonica*). **Journal of Animal and Plant Sciences**, [s. l.], v. 23, n. 1, p. 7–13, 2013.

KAPLAN, S; GÜRCAN, E. K. Comparison of growth curves using non-linear regression function in Japanese quail. **Journal of Applied Animal Research**, [s. l.], v. 46, n. 1, p. 112–117, 2018.

- KAPLAN, S.; NARINÇ, D.; GÜRCAN, E. K. Genetic parameter estimates of weekly body weight and Richard's growth curve in Japanese quail. **European Poultry Science**, [s. l.], v. 80, 2016.
- KARABAĞ, K.; ALKAN, S.; KARSLI, T.; BALCIOĞLU, M. S. Genetic changes in growth curve parameters in Japanese quail lines divergently selected for body weight. **European Poultry Science**, [s. l.], v. 81, 2017.
- KARAMAN, E. et al. Nonlinear mixed effects modeling of growth in Japanese quail. **Poultry Science**, v. 92, n. 7, p. 1942–1948, 2013.
- KAYA BAŞAR, E.; NARINÇ, D. Genetic parameter estimates of growth curve and feed efficiency traits in Japanese quail. **Animals**, [s. l.], v. 13, n. 11, p. 1765, 2023.
- KAYANG, B. B. et al. A first-generation microsatellite linkage map of the Japanese quail. **Animal Genetics**, [s. l.], v. 35, n. 3, p. 195–200, 2004.
- LIMA, H. J. D.; MORAIS, M. V. M.; e PEREIRA, I. D. B. Updates in research on quail nutrition and feeding: a review. **World's Poultry Science Journal**, [s. l.], v. 79, n. 1, p. 69–93, 2023.
- LUKANOV, H. Domestic quail (*Coturnix japonica domestica*), is there such farm animal? **World's Poultry Science Journal**, [s. l.], v. 75, n. 4, p. 547–558, 2019.
- LUKANOV, H.; PAVLOVA, I. Domestication changes in Japanese quail (*Coturnix japonica*): a review. **World's Poultry Science Journal**, [s. l.], v. 76, n. 4, p. 787–801, 2020.
- MAHMOUD, B.Y. et al. Genetic evaluation for survival traits in Japanese quail line selected for fast growth rate. **Animal Biotechnology**, [s. l.], v. 34, n. 7, p. 2414–2419, 2023.
- MORAES, C.A. et al. Performance and meat chemical composition of quails fed with different sorghum levels instead of corn. **Ciência Rural**, [s. l.], v. 46, n. 5, p. 933–936, 2016.
- MÓRI, C. et al. Desempenho e rendimento de carcaça de quatro grupos genéticos de codornas para produção de carne. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [s. l.], v. 34, n. 3, p. 870–876, 2005.
- MUNIZ, J.C.L et al. **Criação de codornas para produção de carnes e ovos**. Viçosa: UFV, 2015. Disponível em: <https://bibliotecasemiaridos.ufv.br/jspui/handle/123456789/468>. Acesso em: 19 nov. 2025.
- NARINÇ, D.; AKSOY, T.; KARAMAN, E.; e KARABAĞ, K. Effect of Selection Applied in the Direction of High Live Weight on Growth Parameters in Japanese Quails. **Akdeniz University Journal of the Faculty of Agriculture**, [s. l.], v. 22, n. 2, p. 149–156, 2009.
- NARINÇ, D.; KARAMAN, E.; FIRAT, M.Z.; AKSOY, T. Comparison of Non-linear Growth Models to Describe the Growth in Japanese Quail. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, [s. l.], v. 9, n. 14, p. 1961–1966, 2010.

NARINÇ, D.; NARINÇ, N. O.; AYGÜN, A. Growth curve analyses in poultry science. **World's Poultry Science Journal**, [s. l.], v. 73, n. 2, p. 395–408, 2017.

NASR, M. et al. Performance, carcass traits, meat quality and amino acid profile of different Japanese quails strains. **Journal of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 54, n. 13, p. 4189–4196, 2017.

NELDER, J.A. The fitting of a generalization of the logistic curve. **Biometrics**, v. 17, n. 1, p. 89–110, 1961.

PANDIAN, C. et al. Economic Traits and Production Performance of Nandanam Quail Reared at Different Cage Stocking Densities. **The Indian Journal of Veterinary Sciences and Biotechnology**, [s. l.], v. 13, n. 02, 2017.

PEDERSEN, T.L. **patchwork: The Composer of Plots**. 16 set. 2024. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/patchwork/index.html>. Acesso em: 20 nov. 2025.

PRABAKARAN, R.; VALAVAN, S. E. Production performance of Japanese quail in commercial farms. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, [s. l.], v. 8, n. 3, p. 656–658, 2020.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2025. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 20 mar. 2025.

RAJI, A.O. et al. Comparison of different models to describe growth of the Japanese quail (*Coturnix Japonica*). **TJS**, [s.l.], v.12, n.2, p.183, 2014.

RAZEE, A. et al. Performance of Japanese Quails (*Coturnix coturnix japonica*) on Floor and Cage Rearing System in Sylhet, Bangladesh: Comparative Study. **Iranian Journal of Applied Animal Science**, [s. l.], v. 6, n. 4, p. 931–936, 2016.

RICHARDS, F. J. A Flexible Growth Function for Empirical Use. **Journal of Experimental Botany**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 290–301, 1959.

ROSSI, R.M. et al. Growth curves in meat-type and laying quail: a Bayesian perspective. **Semina: Ciências Agrárias**, [s. l.], v. 38, n. 4Sup11, p. 2743-2754, 2017.

SANTANA, T.P. et al. Effect of prenatal ambient temperature on the performance physiological parameters, and oxidative metabolism of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) layers exposed to heat stress during growth. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 9809, 2021.

SANTOS, H. B. et al. Application of non-linear mixed models for modelling the quail growth curve for meat and laying. **The Journal of Agricultural Science**, [s. l.], v. 156, n. 10, p. 1216–1221, 2018.

SAS INSTITUTE INC. **SAS/STAT® 15.3 User's Guide**. Cary, NC: SAS Institute Inc, 2023.  
Disponível em: [https://documentation.sas.com/doc/pt-BR/pgmsascdc/9.4\\_3.5/statug/titlepage.htm](https://documentation.sas.com/doc/pt-BR/pgmsascdc/9.4_3.5/statug/titlepage.htm). Acesso em: 20 nov. 2025.

SILVA, E.P. et al. Adjustment of growth parameters for the major body components of pullets. **Revista Ciência Agronômica**, [s. l.], v. 47, n. 3, p. 572–581, 2016.

SCHWARZ, G. Estimating the dimension of a model. **Ann Stat**, [s.l.], v.6, n.2 , p. 461-474, 1978.

TELEKEN, J.T. et al. Comparing non-linear mathematical models to describe growth of different animals. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 39, p. 73-81. 2017.

TJORVE, K.M.C.; TJORVE, E. The use of Gompertz models in growth analyses, and new Gompertz-model approach: An addition to the Unified-Richards family. **PLoS ONE**, [s.l.], v.12, n.6, e0178691. 2017.

TURGUD, F.K.; NARINÇ, D. Influences of Dietary Supplementation with Maca (*Lepidium meyenii*) on Performance, Parameters of Growth Curve and Carcass Characteristics in Japanese Quail. **Animals**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 318, 2022.

VIEIRA, D.V.G. et al. Comparative assessment of von Bertalanffy, Brody, Gompertz, Logistic, and Richards models for Japanese quail growth and body composition (hatch to 36 days). Preprint. Posted on: 8 Oct. 2025. DOI: 10.20944/preprints202510.0486.v1.

VON BERTALANFFY, L. Quantitative Laws in Metabolism and Growth. **The Quarterly Review of Biology**, [s. l.], v. 32, n. 3, p. 217–231, 1957.

WICKHAM, H. **ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis**. 2ed. Cham: Springer International Publishing, 2016.

WINSOR, C.P. The Gompertz curve as a growth curve. **PNAS**, [s.l.], v.18, n.1, p. 1-8. 1932.

YAVUZ, E.; et al. Modeling of Individual Growth Curves in Japanese Quails. **Black Sea Journal of Engineering and Science**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 11–15, 2019.

### **CAPÍTULO III**

---

## **DESEMPENHO DE MODELOS NÃO-LINEARES NA PREDIÇÃO DA PRODUÇÃO E MASSA DE OVOS EM LINHAGENS DE CODORNA JAPONESA**

## Desempenho de modelos não-lineares na predição da produção e massa de ovos em linhagens de codorna japonesa

### Resumo

Compreender os padrões produtivos de codornas japonesas (*Coturnix coturnix japonica*) é fundamental tanto para a seleção de aves com maior desempenho ao longo do tempo, quanto para a maximização da produtividade e da rentabilidade do setor avícola. Modelos de regressão não linear têm sido amplamente utilizados para ajustar a curva de postura dessas aves, dada sua capacidade de representar adequadamente o comportamento biológico da produção ao longo do ciclo produtivo. Neste estudo, objetivou-se comparar o desempenho de diferentes modelos não-lineares na descrição e predição da produção e da massa de ovos de linhagens de codornas japonesas criadas em lotes comerciais ao longo do ciclo produtivo e, a partir do modelo com melhor ajuste e parcimônia, avaliar o paralelismo das curvas produtivas entre linhagens comerciais, visando identificar diferenças estruturais no padrão produtivo e subsidiar em estratégias de manejo e melhoramento genético na produção avícola. Foram analisados dados de desempenho zootécnico de lotes comerciais de duas linhagens de codornas japonesas (A e B), criadas sob as mesmas condições de manejo e alimentação. Quatro modelos não-lineares foram ajustados e comparados quanto à qualidade do ajuste e à capacidade preditiva: Gompertz, Compartimental, Logístico Modificado e Gamma, com avaliação estatística dos parâmetros estimados, utilizando a soma dos quadrados do erro, o coeficiente de determinação e os critérios de informação de Akaike e Bayesiano. O modelo que melhor descreveu o comportamento foi posteriormente empregado na análise de paralelismo, baseada em testes estatísticos de igualdade total ou parcial dos parâmetros, para comparação dos padrões de produção de ovos (EO) e de massa de ovos (EM) entre as linhagens. Os resultados indicaram desempenho superior do modelo Compartimental, que apresentou melhor equilíbrio entre qualidade de ajuste e complexidade para ambas as variáveis. A análise de paralelismo revelou semelhança entre as linhagens quanto ao potencial produtivo máximo e à taxa de declínio pós-pico, porém, diferenças significativas nos parâmetros associados à fase inicial da produção, especialmente na taxa de ascensão e no início efetivo da postura. Estes resultados evidenciam que, embora os níveis máximos de produção e massa de ovos sejam comparáveis, as linhagens diferem estruturalmente na forma e na temporalidade da curva produtiva ao longo do ciclo, ressaltando a importância da modelagem não-linear como ferramenta para subsidiar decisões de manejo e estratégias de melhoramento genético na produção avícola.

**Palavras-chaves:** modelo preditivo; modelo logístico modificado; curva de produção de ovos; *Coturnix coturnix japonica*.

### Abstract

Understanding the production patterns of Japanese quails (*Coturnix coturnix japonica*) is essential both for selecting birds with higher performance over time and for maximizing productivity and profitability in the poultry sector. Nonlinear regression models have been widely used to fit the laying curve of these birds, given their ability to adequately represent the biological behavior of production throughout the productive cycle. This study aimed to compare the performance of different nonlinear models in describing and predicting egg production and egg mass of Japanese quail strains raised in commercial flocks over the production cycle and, based on the model with the best fit and parsimony, to evaluate the parallelism of production curves among commercial strains in order to identify structural differences in productive patterns and to support management

strategies and genetic improvement in poultry production. Performance data from commercial flocks of two Japanese quail strains (A and B), raised under the same management and feeding conditions, were analyzed. Four nonlinear models were fitted and compared in terms of goodness of fit and predictive ability: Gompertz, Compartmental, Modified Logistic, and Gamma models. The evaluation of the estimated parameters was conducted using the sum of squared errors, the coefficient of determination, and the Akaike and Bayesian information criteria. The most parsimonious model was subsequently employed in the parallelism analysis, based on statistical tests of total or partial equality of parameters, to compare egg production (EP) and egg mass (EM) patterns between strains. The results indicated superior performance of the Compartmental model, which provided the best balance between goodness of fit and model complexity for both variables. The parallelism analysis revealed similarity between strains in terms of maximum productive potential and post-peak decline rate; however, significant differences were observed in parameters associated with the initial phase of production, particularly the rate of increase and the effective onset of laying. These findings indicate that, although maximum levels of egg production and egg mass are comparable, the strains differ structurally in the shape and timing of the production curve throughout the cycle, highlighting the importance of nonlinear modeling as a tool to support management decisions and genetic improvement strategies in poultry production.

**Keywords:** predictive model; modified logistic model; egg production curve; *Coturnix coturnix japonica*

## Introdução

O consumo *per capita* de ovos de codorna tem aumentado de forma consistente (Knaga et al., 2025; Lukanov, 2019; Ma et al., 2025), impulsionado por mudanças nos hábitos alimentares da população, que busca alimentos mais nutritivos, funcionais e de fácil preparo (Grieser et al., 2024). Estes fatores podem ser facilmente observados nos ovos de codornas, que se destacam pelo elevado valor nutricional (Ma et al., 2025; Saeed et al., 2023), superando os ovos de galinha quanto aos teores de proteína, ferro, potássio, riboflavina, ácido docosa-hexaenoico e vitaminas A, B1, B2 e B6 (Ali; Abd El-Aziz, 2019; Jeke et al., 2018; Saeed et al., 2023). Além de suas propriedades medicinais, com ações antimicrobianas (ação antibacteriana, antifúngica e antiviral) e anti-inflamatórias (Antonelli et al., 2025; Jeke et al., 2018; Saeed et al., 2023); ampla versatilidade culinária (Ma et al., 2025), e as diferentes formas de comercialização, como *in natura* e processados (Grieser et al., 2024), que contribuem para expansão na produção e oferta dos ovos de codornas.

Estudos sobre a produção desses ovos indicam que a taxa de postura dessas aves varia ao longo do tempo e é influenciada por múltiplos fatores, incluindo aspectos temporais associados à evolução da produção ao longo do ciclo produtivo, incluindo o início da postura, o pico produtivo

e o declínio pós-pico, além de fatores genéticos, ambientais, nutricionais e hormonais (Cheng; Ning, 2023; Gül et al., 2022; He et al., 2023; Ma et al., 2025; Rozenboim et al., 2007).

De modo geral, a produção de ovos em codornas japonesas tem início com a maturidade sexual, que ocorre, em média, entre 35 e 42 dias, dependendo da linhagem e das condições de criação (Rozenboim et al., 2007; Gerben, 2006). Após o início da postura, verifica-se uma fase de ascensão rápida da taxa produtiva, com o alcance de aproximadamente 50% de produção entre 42 e 49 dias (Grossman et al., 2000; Karabağ et al., 2010). O pico de produção costuma ser atingido entre 60 e 70 dias de idade, podendo variar amplamente em nível máximo conforme a linhagem, o manejo e as condições experimentais, com valores frequentemente reportados entre 80% e 90% na literatura, seguido, em algumas aves, por um período de persistência, no qual a produção se mantém relativamente estável antes de iniciar um declínio gradual ao longo do ciclo produtivo (Grossman et al., 2000; Rozenboim et al., 2007).

Assim, entender os padrões de produção das codornas japonesas é importante tanto para a seleção de aves com maior capacidade produtiva ao longo do tempo (Karabağ et al., 2010; Gerben, 2006; Grossman et al., 2000) quanto para maximizar a produtividade e lucratividade do setor (Khadiga et al., 2016; Manaa et al., 2024; Ma et al., 2025; Nurfaizin et al., 2025; Safari-Aliqiarloo et al., 2018), visto que a precocidade da maturidade sexual e o maior período na fase de persistência impactam positivamente na quantidade e na massa dos ovos produzidos e, conseqüentemente, no retorno econômico (Hassan; Hameed, 2019; Khadiga et al., 2016; Manaa et al., 2024). Nesse contexto, o uso de modelos matemáticos tem se mostrado uma ferramenta valiosa, permitindo descrever com maior precisão o ciclo produtivo das aves e prever o comportamento da curva de postura (Narinc et al., 2014; Safari-Aliqiarloo et al., 2018).

Diversos tipos de modelos matemáticos têm sido empregados na tentativa de auxiliar na previsão da produção de ovos ao longo da fase de postura (Ariza et al., 2022), incluindo os modelos de repetibilidade (Farzin et al., 2011), os modelos multicares (Wolc et al., 2007), os modelos de regressão aleatória (Mookprom et al., 2016), os modelos multifásicos (Alvarez; Hocking, 2007), e os modelos de regressão não linear (Felipe et al., 2015; Manaa et al., 2015; Narinc et al., 2013, 2014). Entre estes, os modelos de regressão não-linear vêm sendo amplamente utilizados para ajustar a curva de postura de codornas japonesas, devido a sua capacidade de representar adequadamente o comportamento biológico da produção ao longo do tempo.

Entre os modelos mais utilizados para modelar a curva de postura de aves de diferentes espécies, destacam-se os de Adams-Bell, Compartimental, Gompertz, logístico, McMillan, McNally, Richards e Wood (Gamma) (Ariza et al., 2022; Bindya et al., 2010; Durmuç et al., 2017; Emamgholi Begli et al., 2021; Felipe et al., 2015; Karabağ et al., 2010; Khadiga et al., 2017; Manaa et al., 2015; Minvielle et al., 2000a, 2000b; Narinc et al., 2013, 2014; ).

Considerando a diversidade de modelos não-lineares disponíveis, torna-se essencial comparar o desempenho de diferentes abordagens matemáticas a fim de identificar aquela que melhor descreve o padrão produtivo das aves ao longo do tempo. Esta comparação deve contemplar não apenas a qualidade do ajuste aos dados observados, mas também critérios de parcimônia e consistência estatística que permitam selecionar modelos capazes de representar adequadamente a dinâmica biológica da produção. Nesse contexto, a utilização de medidas como o coeficiente de determinação, a soma dos quadrados do erro e critérios de informação, como Akaike (AIC) e Bayesiano (BIC), tem sido amplamente recomendada na literatura para a seleção de modelos não lineares em estudos zootécnicos, por possibilitar uma avaliação equilibrada entre ajuste e complexidade do modelo (Akaike, 1974; Narinc et al., 2014; Schwarz, 1978).

Assim, o presente estudo tem como objetivo comparar o desempenho de diferentes modelos não lineares na descrição e predição da produção e da massa de ovos de linhagens de codornas japonesas criadas em lotes comerciais ao longo do ciclo produtivo e, a partir do modelo com melhor equilíbrio entre ajuste e complexidade, avaliar o paralelismo das curvas produtivas entre linhagens comerciais, visando identificar diferenças estruturais no padrão produtivo e subsidiar estratégias de manejo e melhoramento genético na produção avícola.

Com base no exposto, este estudo foi conduzido sob as seguintes hipóteses: (i) diferentes modelos não-lineares apresentam desempenhos distintos na descrição da produção e da massa de ovos de codornas japonesas ao longo do ciclo produtivo, sendo possível identificar um modelo menos complexo e com melhor capacidade de ajuste aos dados provenientes de condições comerciais de criação; (ii) as curvas de produção e de massa de ovos das linhagens A e B podem diferir quanto aos seus parâmetros, refletindo variações genéticas entre linhagens, e (iii) tais diferenças podem se manifestar tanto em termos de nível, quanto de forma da curva produtiva, de modo que a análise de paralelismo permite identificar se as linhagens compartilham uma mesma estrutura funcional de produção ou se apresentam padrões produtivos estruturalmente distintos ao longo do ciclo.

## Material e Métodos

### Base de dados e Amostragem

A pesquisa foi conduzida utilizando dados zootécnicos obtidos de uma granja comercial localizada na zona rural de Caruaru/PE, Brasil, no período de 2021 a 2022. A base de dados possui registros de codornas japonesas de postura (*Coturnix coturnix japonica*), provenientes de dois lotes comerciais. Cada lote continha, inicialmente, 55 mil codornas, sendo um lote composto por codornas da linhagem A e o outro por codornas da linhagem B.

Os registros zootécnicos foram realizados diariamente, do 43º dia até que as aves completassem 425 dias de idade, e incluíram informações sobre a linhagem (A e B), a idade das aves (dias), produção média de ovos (EO, % ovos dia<sup>-1</sup>), peso médio dos ovos (EW, g) e massa média dos ovos (EM, g ave<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>).

Ao longo do período de coleta de dados, a quantidade de aves considerada em cada avaliação foi ajustada de acordo com a mortalidade observada nos lotes. À medida que ocorriam perdas, o número de aves vivas era atualizado nas análises subsequentes, assegurando que os cálculos de produção, peso e massa dos ovos refletissem a realidade dos lotes avaliados. Este ajuste foi essencial para garantir a precisão e a representatividade dos dados zootécnicos, visto que a mortalidade impactava diretamente as médias obtidas.

A produção média de ovos foi determinada pela razão entre o número de ovos produzidos no dia ( $N_o$ ) e o número de aves vivas no respectivo dia ( $N_a$ ), expressa em ovos por ave por dia, e multiplicada por 100 para ser apresentada em porcentagem (% ovos dia<sup>-1</sup>). O peso médio dos ovos foi obtido por amostragem aleatória de 1% dos ovos coletados no dia, expresso em gramas. A massa média dos ovos (EM) corresponde ao produto entre a produção de ovos e o peso médio dos ovos, sendo expressa em gramas por ave por dia (g ovo dia<sup>-1</sup>).

### Alojamento e Manejo

Aos 35 dias de idade, as aves foram alojadas no galpão de postura, em gaiolas com dimensões de 60 cm de comprimento, 26,6 cm de altura, 63 cm de largura, com densidade de 105

cm<sup>2</sup> por ave, correspondente a 36 aves por gaiola. O aviário de postura era sistema vertical com coleta de esterca, arraçoamento e coleta de ovos automáticos.

Após a transferência para o galpão de postura a partir do momento que as aves atingissem 150 g de peso corporal e 85% de uniformidade, foi realizado o aumento de uma hora de luz/semana até que atingissem 17 horas de luz na fase de produção.

## **Dieta**

As dietas foram divididas em fases e de acordo com o desenvolvimento das aves. Na fase inicial (um a 15 dias), a ração possuía níveis nutricionais de 2960 kcal kg<sup>-1</sup> de energia metabolizável e 26% de proteína bruta. Na fase de crescimento (16 dias até o primeiro ovo), a ração possuía 2950 kcal/kg<sup>-1</sup> e 24% de proteína bruta. Na fase de postura 1 (primeiro ovo até 210 dias), a ração possuía 2900 kcal/kg<sup>-1</sup>, 22,5% de proteína bruta e 3,3 % de cálcio total. Na fase de postura 2 (211 dias até o descarte), a ração possuía 2850 kcal/kg<sup>-1</sup>, 21,5% de proteína bruta e 3,5% de cálcio total. Em todas as fases, as aves tinham acesso à água, sem contaminantes, de maneira contínua por meio de bebedouros tipo *nipple*.

## **Análise estatística e modelos matemáticos**

Foi realizada uma análise descritiva inicial para as variáveis de produção de ovos (EO, %), peso dos ovos (EW, g) e massa dos ovos (EM, g) ao longo do período produtivo das aves. Para garantir a qualidade dos dados utilizados na modelagem, as observações de produção e massa dos ovos foram submetidas a um critério de normalidade baseado no escore  $z$  ( $z = (y - u)/\sigma$ ), em que  $z$  representa a variável padronizada,  $y$  corresponde ao valor observado da variável resposta,  $\mu$  é a média esperada (ou valor médio estimado pelo modelo) e  $\sigma$  refere-se ao desvio padrão associado às observações. Consideram-se aceitáveis os valores dentro do intervalo de  $-2\sigma$  a  $+2\sigma$ . Observações com valores fora desse intervalo foram removidos da base de dados, com o intuito de eliminar possíveis valores extremos.

Em seguida, foram ajustados e comparados quatro modelos matemáticos não-lineares com o objetivo de descrever o padrão de produção de ovos (EO) e de massa de ovos (EM) das codornas: Gompertz (Gompertz, 1825), Compartmental (Mcmillan et al., 1970), Logística Modificada (Yang

et al, 1988) e Gamma (Wood, 1967) (Tabela 1). A escolha dos modelos visou representar adequadamente o comportamento produtivo ao longo do tempo, permitindo identificar aquele com melhor ajuste aos dados observados.

**Tabela 1.** Expressões matemáticas e parâmetros dos modelos não-lineares de crescimento avaliados

Modelos de Crescimento	Equações
Gompertz	$Y_t = a \cdot e^{-b \cdot e^{(-c \cdot t)}}$
Compartmental	$Y_t = a(1 - e^{-b(t-c)}) \cdot e^{-dt}$
Logístico Modificado	$Y_t = \frac{a}{(1 + b \cdot e^{-ct})} \cdot e^{-dt}$
Gamma Woods	$Y_t = a \cdot t^b \cdot e^{-ct}$

Nota:  $Y_t$  é a taxa de produção/massa de ovos no dia  $t$  (g);  $a$  é a produção/massa máxima teórica;  $t$  é a idade da ave (dias);  $b$  é a constante de integração;  $c$  está relacionado à taxa de aumento até o pico de produção/massa (Gompertz), ao offset (Compartmental), à taxa de crescimento (Logístico modificado) e ao fator de declínio (Gamma Woods);  $d$  está relacionado à taxa de descida (Compartmental e Logístico Modificado), e  $e$  é o número de Euler (2,718282), base dos logaritmos neperianos.

A convergência dos modelos foi monitorada de forma iterativa, utilizando dois critérios distintos de ajuste: o método de Gauss-Newton para o modelo Compartmental, e o método de Marquardt para os modelos de Gompertz, Logístico Modificado e Gamma Woods. A qualidade do ajuste e a capacidade preditiva dos modelos foram avaliadas por meio da raiz do erro quadrático médio (RMSE) e dos critérios de informação de Akaike (AIC) e Bayesiano (BIC) (Akaike, 1974; Schwarz, 1978). A significância estatística dos parâmetros estimados foi avaliada por meio de testes F aproximados ( $p < 0,05$ ). Adicionalmente, a matriz de correlação entre os parâmetros foi analisada para identificar possíveis interdependências entre eles.

O modelo que apresentou simultaneamente os menores valores de AIC e BIC foi considerado o mais equilibrado e com melhor capacidade de descrição para produção e para massa de ovos. Este modelo foi utilizado na análise de paralelismo entre as linhagens, conforme o método proposto por Regazzi (2004), com o objetivo de testar a igualdade estrutural da produção e massa de ovos.

Na análise de paralelismo, foram testadas, de forma hierárquica, hipóteses de igualdade total ou parcial dos parâmetros do modelo entre as linhagens, incluindo a igualdade do parâmetro assintótico ( $a$ ), associado ao potencial produtivo máximo, da taxa de ascensão da produção ( $b$ ), do parâmetro de deslocamento temporal ou início da postura ( $c$ ) e da taxa de declínio ( $d$ ), bem como

diferentes combinações desses parâmetros. A comparação entre modelos completos e restritos foi realizada por meio de testes de razão de verossimilhança, testes F aproximados, além dos critérios AIC e BIC.

Todas as análises estatísticas foram conduzidas utilizando o *software* SAS (Statistical Analysis System) (SAS Institute Inc., 2023), por meio do procedimento PROC NLIN, que permite o ajuste de modelos não-lineares utilizando o método de mínimos quadrados não-lineares. Para as representações gráficas, utilizou-se a linguagem de programação R no ambiente RStudio (R Core Team, 2025), juntamente dos pacotes *ggplot2* (Wickham, 2016) e *patchwork* (Pedersen, 2024).

## **Resultados e Discussão**

A produção de ovos (EO), o peso médio dos ovos (EW) e a massa média dos ovos (EM) foram monitorados diariamente ao longo de 382 dias, abrangendo o período do 43º ao 425º dia de vida das linhagens comerciais A e B de codorna japonesa (Figuras 1 e 2). Ao longo do ciclo produtivo, os padrões observados para essas variáveis seguiram o comportamento fisiológico esperado para aves de postura, conforme descrito na literatura (Alshaheen et al., 2017; Grieser, 2024).

A curva de produção de ovos apresentou as fases características do ciclo produtivo, compreendendo o início da maturidade sexual, a fase de ascensão, um período de persistência e, por fim, o declínio gradual da postura (Gerben, 2006; Grossman et al., 2000; Karabağ et al., 2010). A maturidade sexual, definida como a idade em que as aves atingem 5% de produção de ovos (Nagarajan et al., 1991), foi observada por volta dos 43 dias, em conformidade com intervalos reportados na literatura, que variam entre 36,9 (Minvielle et al., 2000b) e 48,9 dias (Khadiga et al., 2016) (Figuras 1 e 2).

A literatura indica que a idade ao início da postura exerce influência direta sobre a produção acumulada de ovos, a massa total produzida e, conseqüentemente, a rentabilidade do sistema produtivo (Hassan; Hameed, 2019; Khadiga et al., 2016; Manaa et al., 2024). Contudo, embora associações positivas entre precocidade sexual e a produção total ao longo do ciclo de postura sejam frequentemente descritas, alguns estudos relataram correlações negativas ou limitações na capacidade preditiva dos modelos quando a idade à maturidade sexual é utilizada isoladamente como variável explicativa (Farrag et al., 2011; Felipe et al., 2015). Dessa forma, torna-se essencial

considerar o desempenho produtivo ao longo de toda a fase de postura para uma avaliação mais robusta das linhagens.

A fase de ascensão da postura foi observada entre os dias 43 e 65 de vida (semanas seis a nove), período no qual a taxa de produção aumentou de aproximadamente 5% para valores próximos a 75%, em concordância com a literatura, que descreve duração média dessa fase em torno de três semanas, podendo variar conforme a linhagem e as condições de criação (Alshaheen et al., 2017; Durmuç et al., 2017).

O pico de produção, definido neste estudo como o maior valor médio da taxa de postura observado ao longo do ciclo produtivo, ocorreu por volta da nona semana de vida, atingindo aproximadamente 80%. Embora esse valor seja inferior aos picos entre 88% e 98% relatados em outros estudos conduzidos em idades semelhantes (Durmuç et al., 2017; Minvielle et al., 2000b; Narinc et al., 2013), ele representa o máximo produtivo observado nas condições experimentais avaliadas. Ressalta-se que, embora valores de referência como 85% sejam frequentemente utilizados na literatura como indicativos de elevado desempenho produtivo, neste estudo, o pico foi definido com base no máximo empírico observado ao longo da série temporal, critério consistente com a abordagem de modelagem adotada.

Diferenças no nível do pico produtivo podem estar associadas a um *trade-off* fisiológico entre o valor máximo da taxa de postura e a persistência produtiva, uma vez que linhagens selecionadas para maior estabilidade ao longo do ciclo tendem a apresentar picos mais moderados, porém, com maior manutenção da produção em níveis elevados por períodos prolongados, resultando em maior produção acumulada (Alshaheen et al., 2017; Durmuç et al., 2017). Adicionalmente, fatores como manejo, ambiente, nutrição, densidade de alojamento e critérios metodológicos adotados para a definição do pico de produção podem contribuir para variações nos valores máximos observados entre estudos.

Em consonância com essa interpretação, observou-se uma fase de persistência produtiva com duração aproximada de 310 dias (cerca de 44 semanas), caracterizada por estabilidade na produção, com níveis de postura superiores a 80%. A persistência prolongada é considerada uma característica altamente desejável em programas de melhoramento genético, por estar diretamente associada à maximização da produção total ao longo do ciclo produtivo (Alshaheen et al., 2017; Grossman et al., 2000). Embora estudos mais antigos não tenham descrito claramente essa fase (Minvielle et al., 2006; Narinc et al., 2013), evidências mais recentes indicam que o surgimento e

o prolongamento da persistência estão relacionados aos avanços nos programas de seleção genética, voltados à manutenção de elevados níveis de postura por períodos mais longos (Alshaheen et al., 2017; Durmuç et al., 2017).

Além da persistência prolongada, a ocorrência de um declínio produtivo mais tardio e menos acentuado na fase final do ciclo é considerada uma característica desejável, por refletir maior resistência fisiológica das aves ao envelhecimento e contribuir para a ampliação da vida produtiva, com impactos positivos na eficiência e na rentabilidade do sistema (Khadiga et al., 2016; Ma et al., 2025). No presente estudo, o início do declínio da produção foi observado apenas após aproximadamente 380 dias de vida (cerca de 54 semanas), indicando elevada persistência produtiva das linhagens avaliadas. Este valor supera os intervalos reportados na literatura, nos quais o início do declínio tem sido descrito em idades mais precoces, variando desde cerca de 15 semanas em estudos que consideram ciclos produtivos mais curtos ou critérios mais restritivos para a definição do declínio pós-pico (Minvielle et al., 2000b; Narinc et al., 2013), até aproximadamente 45 semanas em sistemas com maior duração do período de persistência (Alshaheen et al., 2017).

A redução do desempenho após o pico de postura e a fase de persistência tem sido atribuída, sobretudo, ao envelhecimento das aves, com declínio da função ovariana, redução na quantidade e qualidade dos folículos, e diminuição da capacidade do oviduto em formar ovos com casca adequada, além de fatores genéticos e hormonais associados (Hlokoe et al., 2022; Li et al., 2019; Ma et al., 2025; Manaa et al., 2024; Taghipour-Shahbandi et al., 2024). Nesse contexto, o início tardio da fase de declínio observado neste estudo pode ser atribuído, ao menos em parte, ao melhoramento genético das linhagens avaliadas e às condições de manejo adotadas.

Em relação à massa dos ovos, verificou-se que essa variável acompanhou diretamente as oscilações observadas na produção de ovos, apresentando média geral de 9,06 e média de 9,40 g ave<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> durante a fase de persistência. Estes valores estão de acordo com os intervalos descritos na literatura, que variam de 8,20 (Lokapirnasari et al., 2024) a 11,42 g ave<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> (Moura et al., 2010). Assim, os valores inferiores observados podem estar relacionados a fatores como condições ambientais, manejo nutricional, densidade populacional e idade das aves, que interferem diretamente na conversão alimentar e no metabolismo reprodutivo.

De modo geral, os resultados confirmam o padrão fisiológico esperado para o ciclo produtivo de codornas japonesas comerciais, com consistência nas fases de maturidade sexual, pico, persistência e declínio da postura. A regularidade observada nas fases do ciclo produtivo das

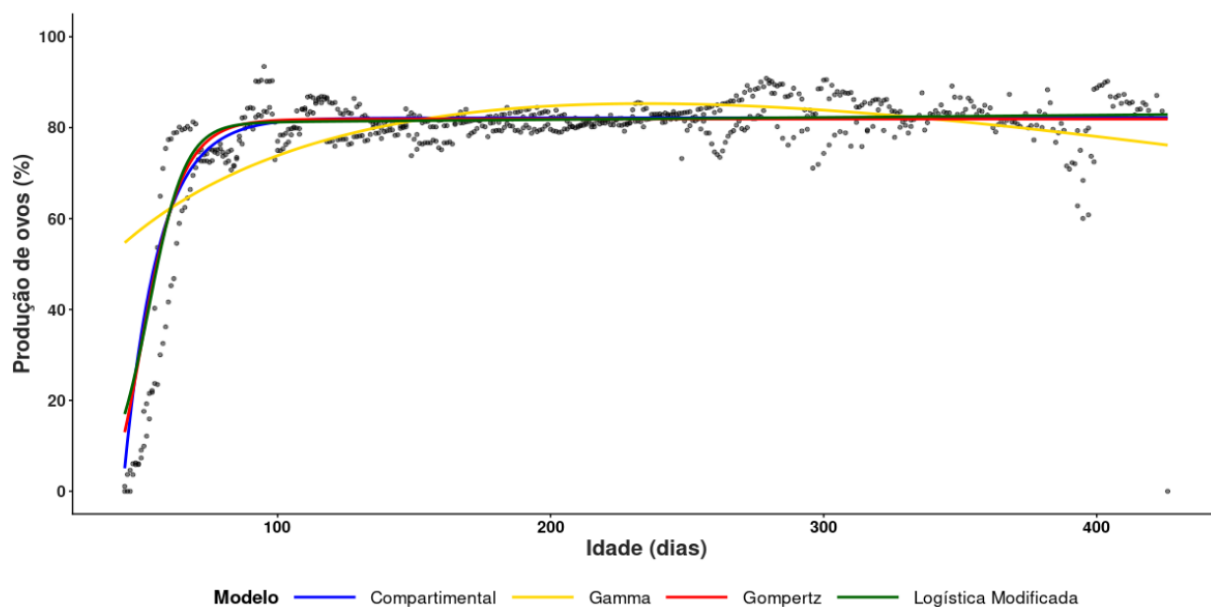
codornas japonesas comerciais — maturidade sexual, ascensão, pico, persistência e declínio da postura — indica que a dinâmica produtiva ao longo do tempo pode ser adequadamente representada por funções matemáticas contínuas. Com base nesse comportamento, procedeu-se à modelagem da produção de ovos (EO) e da massa de ovos (EM) utilizando os modelos de Gompertz, Compartmental, Logístico Modificado e Gamma, com o objetivo de comparar o desempenho dessas abordagens na descrição e na predição das variáveis ao longo do ciclo produtivo.

Para ambas as variáveis, todos os modelos avaliados apresentaram convergência das estimativas dos parâmetros (Tabelas 2 e 3; Figuras 1 e 2). A análise de variância indicou que os modelos ajustados diferiram significativamente do modelo nulo ( $p < 0,01$ ), demonstrando que o conjunto de parâmetros estimados explicou parcela substancial da variabilidade observada. A adequação geral dos ajustes indica que as abordagens avaliadas foram capazes de representar, em diferentes níveis, a trajetória produtiva das codornas ao longo do tempo (Tabelas 2 e 3).

**Tabela 2.** Estimativas dos parâmetros  $a$  (%),  $b$ ,  $c$  e  $d$  referentes à produção de ovos (EO, %) de duas linhagens de codornas japonesas (A e B) em uma granja comercial situada no Nordeste brasileiro avaliadas do 43º dia até que as aves completassem 425 dias de idade, de acordo com os modelos de Gompertz, Compartmental, Logística Modificada e Gamma e estimativas de qualidade do ajuste e da capacidade preditiva desses modelos pela raiz do erro quadrático médio (RMSE) e pelos critérios de informação de Akaike (AIC) e Bayesiano (BIC)

Parâmetro	Unidade	Modelo			
		Gompertz	Compartmental	Logístico Modificado	Gamma
<b>a</b>	g	81,9 ± 0,27	82,1 ± 0,78	80,8 ± 0,72	8,55 ± 1,20
<b>b</b>	-	260,0 ± 90,10	0,0795 ± 0,0040	2747,6 ± 1492,9	0,516 ± 0,0336
<b>c</b>	-	0,1125 ± 0,006	43,2 ± 0,46	0,1498 ± 0,01	± 1,8 x 10 <sup>-4</sup>
<b>d</b>	-	-	-3,95 x 10 <sup>-6</sup> ± 3,7 x 10 <sup>-5</sup>	-0,00006 ± 3,5 x 10 <sup>-5</sup>	-
<b>RMSE</b>		6,47	6,46	6,54	9,28
<b>AIC</b>		2520,71	2519,90	2536,06	3005,63
<b>BIC</b>		2554,11	2537,95	2554,11	3019,17

*Nota:*  $a$  é a produção/massa máxima teórica;  $t$  é a idade da ave (dias);  $b$  é a constante de integração;  $c$  está relacionado à taxa de aumento até o pico de produção/massa (Gompertz), ao offset (Compartmental), à taxa de crescimento (Logístico modificado), e ao fator de declínio (Gamma Woods), e  $d$  está relacionado à taxa de descida (Compartmental e Logístico Modificado).



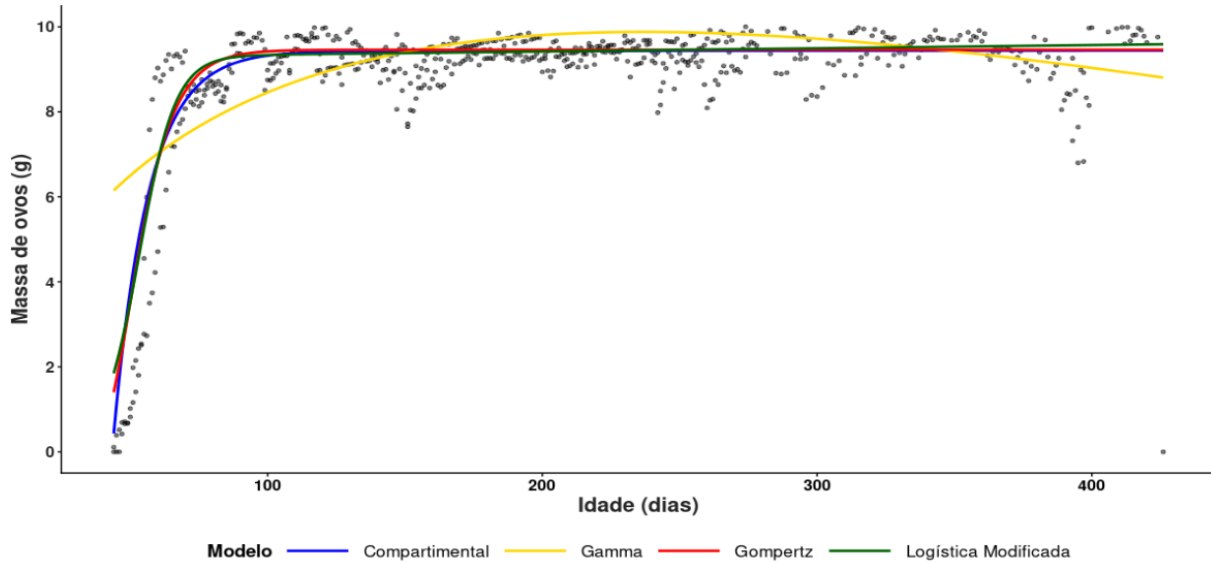
**Figura 1.** Predição da produção de ovos (EO, %) de duas linhagens de codornas japonesas (A e B) em uma granja comercial situada no Nordeste brasileiro avaliadas do 43º dia até que as aves completassem 425 dias de idade, com ajuste pelos modelos de Gompertz (vermelho), Compartmental (azul), Logística Modificada (verde) e Gamma (amarela), comparada aos dados observados (preto). Pontos representam os valores observados, e linhas contínuas, os valores estimados pelo modelo

**Tabela 3.** Estimativas dos parâmetros  $a$  (g),  $b$ ,  $c$  e  $d$  referentes à massa de ovos (EM, g) de duas linhagens de codornas japonesas (A e B) em uma granja comercial situada no Nordeste brasileiro avaliadas do 43º dia até que as aves completassem 425 dias de idade, de acordo com os modelos de Gompertz, Compartmental, Logística Modificada e Gamma e estimativas de qualidade do ajuste e da capacidade preditiva desses modelos pela raiz do erro quadrático médio (RMSE) e pelos critérios de informação de Akaike (AIC) e Bayesiano (BIC)

Parâmetros	Unidade	Modelo			
		Gompertz	Compartmental	Logístico Modificado	Gamma
<b>a</b>	g	9,46 ± 0,03	9,43 ± 0,09	9,27 ± 0,08	0,8640 ± 0,1221
<b>b</b>	-	244,8 ± 82,15	0,0784 ± 0,0042	3058,2 ± 1664,7	0,5453 ± 0,0339
<b>c</b>	-	0,1103 ± 0,006	43,4 ± 0,44	0,1507 ± 0,01	± 1,8 x 10 <sup>-4</sup>
<b>d</b>	-	-	-3,00x 10 <sup>-5</sup> ± 3,7 x 10 <sup>-5</sup>	-0,00008 ± 3,6 x 10 <sup>-5</sup>	-
<b>RMSE</b>		0,748	0,745	0,756	1,069
<b>AIC</b>		-387,76	-392,57	-372,31	93,39
<b>BIC</b>		-374,22	-374,52	-354,26	106,93

*Nota:*  $a$  é a produção/massa máxima teórica;  $t$  é a idade da ave (dias);  $b$  é a constante de integração;  $c$  está relacionado à taxa de aumento até o pico de produção/massa (Gompertz), ao offset (Compartmental), à taxa

de crescimento (Logístico modificado), e ao fator de declínio (Gamma Woods), e  $d$  está relacionado à taxa de descida (Compartimental e Logístico Modificado).



**Figura 2.** Predição da massa de ovos (EM, g) de duas linhagens de codornas japonesas (A e B) em uma granja comercial situada no Nordeste brasileiro avaliadas do 43º dia até que as aves completassem 425 dias de idade, com ajuste pelos modelos de Gompertz (vermelho), Compartimental (azul), Logística Modificada (verde) e Gamma (laranja), comparada aos dados observados (preto). Pontos representam os valores observados, e linhas contínuas, os valores estimados pelo modelo

As estimativas dos parâmetros e os indicadores de qualidade de ajuste e de capacidade preditiva dos modelos para EO e EM apresentaram variação, refletindo diferenças em como cada abordagem matemática descreve a dinâmica produtiva ao longo do ciclo (Tabela 2 e 3). Variações nos valores dos parâmetros estimados em função do modelo adotado já foram descritas na literatura e podem influenciar diretamente a qualidade do ajuste e a interpretação biológica dos resultados (Alshaheen et al., 2017). Nesse contexto, a análise individual dos parâmetros torna-se fundamental para compreender como cada modelo representa componentes-chaves da curva produtiva, como o platô de produção máxima, a taxa de ascensão e o comportamento pós-pico.

Ao analisar especificamente os parâmetros estimados para EO e EM, verificou-se que o parâmetro  $a$ , associado ao platô da produção máxima estimada, apresentou valores elevados e bastante semelhantes nos modelos Gompertz, Compartimental e Logístico Modificado, variando entre 80,8 e 82,1% para EO e entre 9,27 e 9,46 g ave<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> para EM (Tabelas 2 e 3; Figuras 1 e 2). Do ponto de vista biológico, estas estimativas mostraram-se coerentes com os níveis observados

no pico de postura e massa de ovos, indicando que estes modelos foram eficazes na representação do potencial máximo dessas variáveis.

Em contraste, o modelo Gamma apresentou uma estimativa consideravelmente inferior para o parâmetro  $a$  (8,55% para EO e 0,86g ave<sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup> para EM) (Tabelas 2 e 3), divergindo dos padrões observados em estudos anteriores (Alshaheen et al., 2017; Narinc et al., 2013). A discrepância pode estar associada à menor flexibilidade matemática desse modelo para representar a assimetria típica das curvas de postura, envolvendo fases bem definidas de ascensão, pico e estabilização produtiva e na curva produtiva da massa de ovos (Silva et al., 2021).

Além do parâmetro  $a$ , que descreve o platô produtivo, observaram-se diferenças relevantes nas estimativas dos parâmetros  $b$ ,  $c$  e  $d$  entre os modelos avaliados (Tabelas 2 e 3). Estes componentes são fundamentais para capturar a dinâmica biológica da curva e, frequentemente, explicam variações no desempenho preditivo entre abordagens matemáticas distintas (Alshaheen et al., 2017; Narinc et al., 2013).

O parâmetro  $b$ , associado à constante de integração e à forma inicial da curva, apresentou elevada variação entre os modelos. Nos modelos de Gompertz e Logístico Modificado,  $b$  assumiu valores elevados (Gompertz: 260,0 EO, 244,8 EM; Logístico Modificado: 2747,6 EO, 3058,2 EM), comportamento esperado em modelos que atuam como fatores de escalonamento da função e influenciam diretamente a inclinação da curva nas idades iniciais (Grossman et al., 2000; Narinc et al., 2014) (Tabelas 2 e 3). Por outro lado, no modelo Compartimental, a estimativa associada à transição para o estado produtivo apresentou baixa magnitude (0,0795 EO, 0,0784 EM) e reduzida variabilidade, sugerindo maior estabilidade na representação do início da postura. Já no modelo Gamma, embora os valores tenham sido intermediários (0,516 EO, 0,5453 EM), a menor flexibilidade estrutural limitou a capacidade de capturar adequadamente a dinâmica inicial da produção, conforme relatado em estudos que destacam restrições dessa função em curvas com forte assimetria temporal (Alshaheen et al., 2017; Silva et al., 2021).

No que se refere ao parâmetro  $c$ , este apresentou interpretações distintas conforme o modelo ajustado, mas mostrou-se fundamental para descrever a velocidade de estabelecimento da produção ao longo da fase inicial da curva. Nos modelos de Gompertz e Logístico Modificado,  $c$  está associado à taxa de crescimento da produção até a região de estabilização da curva, refletindo a rapidez com que as aves se aproximam do nível máximo de postura e de massa de ovos, independentemente do valor absoluto observado no pico produtivo. Os valores estimados de  $c$ , em

torno de 0,11 no modelo de Gompertz e 0,15 no Logístico Modificado (Tabelas 2 e 3), indicam uma ascensão relativamente rápida da produção, compatível com linhagens modernas selecionadas para precocidade e eficiência produtiva (Durmuş et al., 2017; Minvielle et al., 2000b). No modelo Compartimental,  $c$  correspondeu à forma de um deslocamento temporal (*offset*), estimado em torno de 43 dias, valor consistente com a idade observada para o início efetivo da produção de ovos e para a consolidação do peso do ovo após o início da postura, refletindo ajustes fisiológicos no metabolismo e na deposição dos componentes do ovo (Khadiga et al., 2016; Nagarajan et al., 1991).

Por sua vez, o modelo Gamma apresentou coeficiente de baixa magnitude ( $\sim 0,0022$ ), limitando sua capacidade de capturar adequadamente a fase de ascensão e estabilização da massa de ovos, o que contribuiu para seu desempenho inferior, limitação já amplamente discutida na literatura (Alshaheen et al., 2017; Narinc et al., 2013). Por fim, o parâmetro  $d$  que incorpora, explicitamente, um termo associado à taxa de descida após o pico produtivo, foi capturado apenas pelos modelos Compartimental e Logístico Modificado. Em ambos os modelos, os valores foram negativos e de baixa magnitude indicando um declínio lento e progressivo da produção e massa de ovos ao longo do tempo, comportamento coerente com a presença de uma fase prolongada de persistência produtiva observada neste estudo (Tabelas 2 e 3).

Além da interpretação biológica dos parâmetros, a comparação do desempenho dos modelos foi fundamentada em critérios quantitativos de qualidade de ajuste, capacidade preditiva e parcimônia estrutural, representados pelo erro quadrático médio (RMSE) e pelos critérios de informação de Akaike (AIC) e Bayesiano (BIC) (Tabela 2). De forma geral, os modelos de Gompertz, Compartimental e Logístico Modificado apresentaram valores semelhantes de RMSE, indicando desempenho preditivo comparável na descrição da trajetória temporal da produção e massa de ovos (Tabelas 2 e 3).

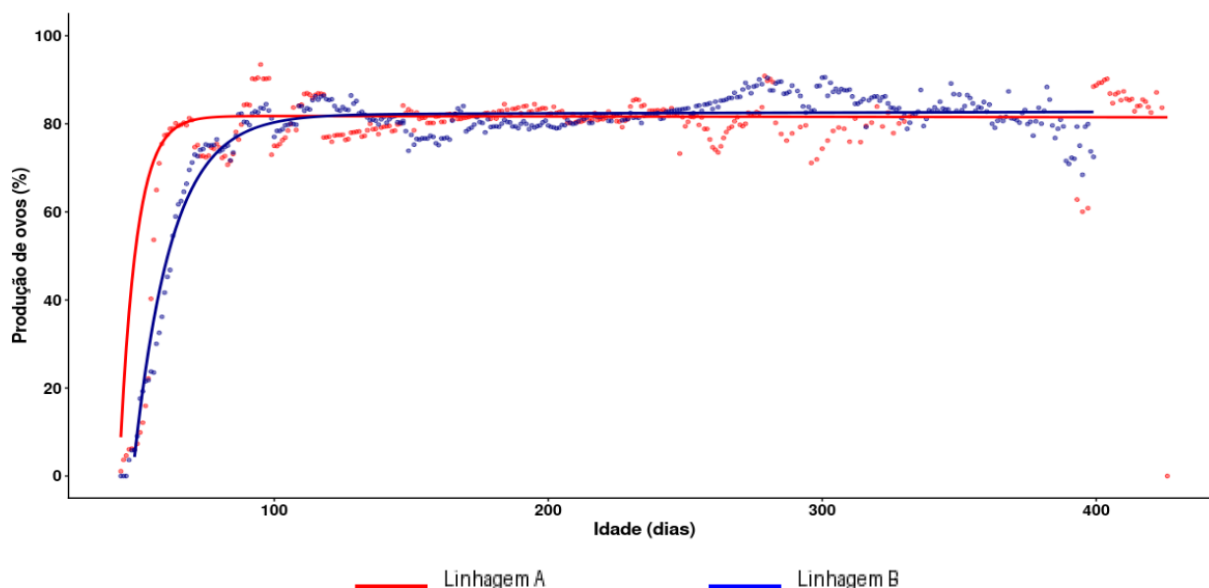
Entretanto, os critérios de informação de Akaike (AIC) e Bayesiano (BIC) favoreceram o modelo Compartimental, que apresentou os menores valores, evidenciando melhor equilíbrio entre qualidade de ajuste e complexidade estrutural (Tabelas 2 e 3). Este resultado indica que, embora modelos mais flexíveis possam alcançar ajustes semelhantes em termos de erro médio, a inclusão de parâmetros adicionais nem sempre se traduz em ganho informacional suficiente para justificar maior complexidade estrutural, conforme preconizado pela teoria da parcimônia estatística (Akaike, 1974; Schwarz, 1978).

Em contraste, o modelo Gamma apresentou valores substancialmente superiores de RMSE, AIC e BIC, refletindo desempenho inferior tanto na capacidade preditiva quanto na eficiência informacional. Os resultados reforçam evidências anteriores de que esta função apresenta limitações na modelagem de curvas de postura caracterizadas por assimetria pronunciada e fases bem definidas de ascensão, pico e persistência produtiva (Alshaheen et al., 2017; Narinc et al., 2013).

Diante dos resultados, o modelo Compartmental mostrou-se o mais adequado para a descrição e a predição da produção e da massa de ovos em codornas japonesas criadas em sistemas comerciais, conciliando bom ajuste, elevada capacidade preditiva e parcimônia. Assim, procedeu-se com as análises subsequentes de paralelismo das curvas ajustadas entre as linhagens A e B, tanto para a produção de ovos, quanto para a massa de ovos, considerando o modelo Compartmental (Tabelas 4 e 5; Figuras 3 e 4). Esta análise teve como objetivo verificar se as linhagens compartilham uma mesma estrutura funcional ao longo do ciclo produtivo, ou se apresentam diferenças estruturais associadas às fases de ascensão, estabelecimento e declínio da produção.

**Tabela 4.** Resumo dos resultados dos testes de paralelismo quanto à produção de ovos entre duas linhagens de codornas japonesas (A e B), situadas em uma granja comercial no Nordeste brasileiro, avaliadas do 43º dia até que as aves completassem 425 dias de idade, com ajuste pelo modelo de Compartmental

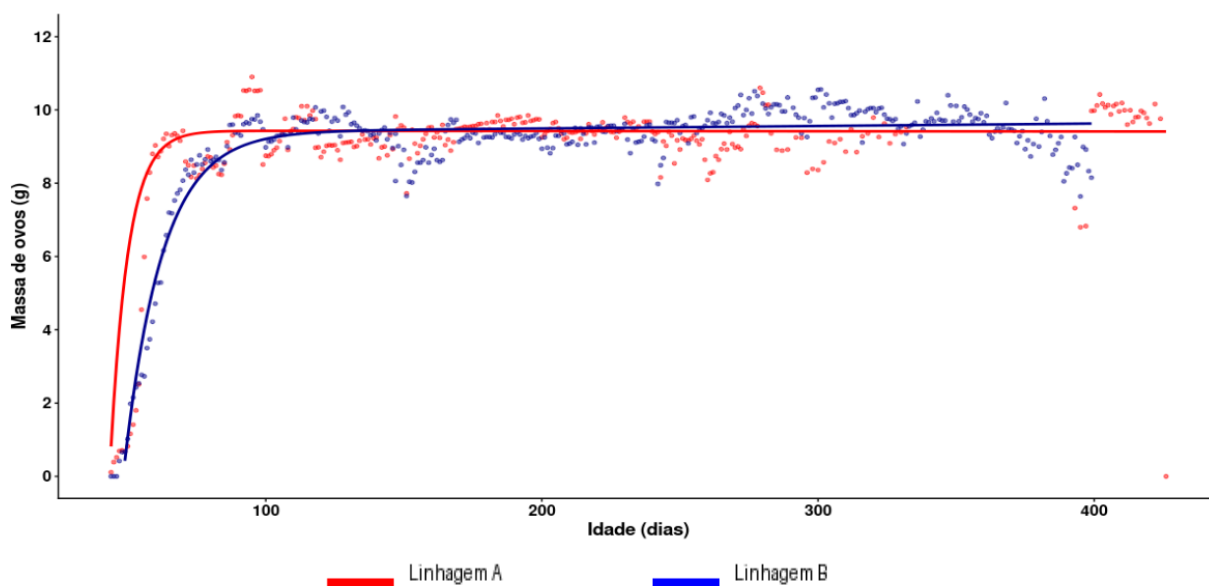
Hipótese	Restrição imposta	F calculado	p-valor	Decisão ( $\alpha = 0,05$ )
H01	$a_1 = a_2$ (Assíntota igual)	0,0301	0,8622	Não rejeita $H_0$
H02	$b_1 = b_2$ (Taxa de subida igual)	123,8034	< 0,0001	Rejeita $H_0$
H03	$c_1 = c_2$ (Lag igual)	109,3564	< 0,0001	Rejeita $H_0$
H0_d	$d_{p1} = d_{p2}$ (Taxa de descida igual)	0,4975	0,4808	Não rejeita $H_0$
H04	$a_1 = a_2, b_1 = b_2$	73,0058	< 0,0001	Rejeita $H_0$
H05	$a_1 = a_2, c_1 = c_2$	55,9090	< 0,0001	Rejeita $H_0$
H06	$b_1 = b_2, c_1 = c_2$	299,4522	< 0,0001	Rejeita $H_0$
H0_abc	$a_1 = a_2, b_1 = b_2, c_1 = c_2$	239,5303	< 0,0001	Rejeita $H_0$
H0_ident.	$a_1 = a_2, b_1 = b_2, c_1 = c_2, d_{p1} = d_{p2}$	179,7932	< 0,0001	Rejeita $H_0$



**Figura 3.** Comparação quanto à produção de ovos (%) observada e prevista pelo modelo Compartmental entre duas linhagens de codornas japonesas, A (vermelho) e B (azul), criadas em granja comercial no Nordeste brasileiro, avaliadas do 43º ao 425º dia de idade. Pontos representam os valores observados, e linhas contínuas, os valores estimados pelo modelo

**Tabela 5.** Resumo dos resultados dos testes de paralelismo quanto à massa de ovos (EM, g) entre duas linhagens de codornas japonesas (A e B), situadas em uma granja comercial no Nordeste brasileiro, avaliadas do 43º dia até que as aves completassem 425 dias de idade, com ajuste pelo modelo Compartmental

Hipótese	Restrição imposta	F calculado	p-valor	Decisão ( $\alpha = 0,05$ )
H01	$a_1 = a_2$ (Assíntota igual)	0,3664	0,5452	Não rejeita $H_0$
H02	$b_1 = b_2$ (Taxa de subida igual)	103,1436	< 0,0001	Rejeita $H_0$
H03	$c_1 = c_2$ (Lag igual)	103,1173	< 0,0001	Rejeita $H_0$
H04	$d_{p1} = d_{p2}$ (Taxa de descida igual)	2,2310	0,1357	Não rejeita $H_0$
H05	$a_1 = a_2, b_1 = b_2$	65,9846	< 0,0001	Rejeita $H_0$
H06	$a_1 = a_2, c_1 = c_2$	51,9332	< 0,0001	Rejeita $H_0$
H07	$b_1 = b_2, c_1 = c_2$	264,1763	< 0,0001	Rejeita $H_0$
H0_abc	$a_1 = a_2, b_1 = b_2, c_1 = c_2$	217,9371	< 0,0001	Rejeita $H_0$
H0_ident.	$a_1 = a_2, b_1 = b_2, c_1 = c_2, d_{p1} = d_{p2}$	163,7072	< 0,0001	Rejeita $H_0$



**Figura 4.** Comparação quanto à massa de ovos (g), observada e prevista pelo modelo Compartmental entre duas linhagens de codornas japonesas, A (vermelho) e B (azul), criadas em granja comercial no Nordeste brasileiro, avaliadas do 43<sup>o</sup> ao 425<sup>o</sup> dia de idade. Pontos representam os valores observados, e linhas contínuas, os valores estimados pelo modelo

Para ambas as variáveis, não houve evidência estatística de diferença quanto à assíntota da curva, uma vez que as hipóteses de igualdade do parâmetro associado ao platô produtivo não foram rejeitadas ( $p > 0,05$ ) (Tabelas 4 e 5). Este resultado indica que as linhagens atingem níveis máximos semelhantes de produção e de massa de ovos, sugerindo potencial produtivo final equivalente quando criadas sob condições comerciais similares, resultado coerente com estudos que indicam que linhagens comerciais modernas, quando submetidas a condições ambientais e nutricionais similares, tendem a convergir quanto ao platô produtivo, mesmo quando diferem em características relacionadas à precocidade e ao ritmo de produção (Alshaheen et al., 2017; Grossman et al., 2000; Leandro et al., 2019; Narinc et al., 2013). Vale destacar que, do ponto de vista biológico, essa similaridade reforça que as diferenças entre linhagens não estão associadas à capacidade máxima de produção, mas à forma como essa produção se estabelece ao longo do tempo.

Em contraste, observaram-se diferenças consistentes nos parâmetros associados à fase inicial da curva, particularmente aqueles relacionados ao deslocamento temporal para o início efetivo da produção e à taxa de ascensão da postura, tanto para EO, quanto para EM ( $p < 0,01$ ) (Tabelas 4 e 5). A rejeição das hipóteses de igualdade desses parâmetros evidencia que as linhagens diferem tanto quanto ao momento de entrada em produção, quanto à velocidade de incremento

produtivo após o início da postura. Estas diferenças são frequentemente atribuídas a variações na maturidade sexual, na eficiência do desenvolvimento do aparelho reprodutor e no balanço energético inicial das aves, características fortemente influenciadas pelo histórico de seleção genética e pelo manejo pré-postura (Khadiga et al., 2016; Minvielle et al., 2000a; Nagarajan et al., 1991; Rossi; Martins, 2024). Estudos prévios já destacaram que linhagens mais precoces tendem a apresentar curvas com ascensão mais rápida, sem necessariamente alcançar platôs superiores, padrão compatível com o observado no presente estudo (Durmuç et al., 2017).

Por outro lado, não foram identificadas diferenças significativas entre as linhagens quanto aos parâmetros associados à taxa de declínio da curva (Tabelas 4 e 5; Figuras 3 e 4). Este resultado indica comportamento semelhante na fase pós-pico, caracterizada pela persistência produtiva e pelo declínio gradual da produção ao longo do tempo. A literatura aponta que esta fase está mais relacionada à manutenção fisiológica da postura e à adaptação metabólica ao longo do ciclo produtivo do que à precocidade sexual propriamente dita, o que pode explicar a convergência observada entre as linhagens (Grossman et al., 2001; Narinc et al., 2014). Assim, uma vez estabelecida a produção, ambas as linhagens apresentam padrão semelhante de sustentação e redução gradual do desempenho.

Ao verificar as hipóteses conjuntas, observou-se rejeição das mesmas envolvendo simultaneamente os parâmetros de subida e deslocamento temporal, bem como do modelo totalmente idêntico (identidade) ( $p < 0,01$ ) (Tabelas 4 e 5). Este fato confirma que as curvas produtivas não são paralelas em sua totalidade. Desse modo, embora compartilhem níveis máximos e padrões semelhantes de declínio, as linhagens diferem estruturalmente em como a produção e a massa de ovos se desenvolvem ao longo do tempo. Estes resultados caracterizam um paralelismo parcial, no qual as linhagens compartilham níveis máximos e comportamento pós-pico semelhantes, mas diferem estruturalmente na forma como a produção e a massa de ovos se estabelecem ao longo do tempo. Este padrão já foi descrito em estudos comparativos entre linhagens de codornas e galinhas poedeiras, nos quais diferenças iniciais na curva não se refletem necessariamente em diferenças no desempenho final acumulado (Minvielle et al., 2000b; Narinc et al., 2013).

Do ponto de vista aplicado, estes resultados possuem implicações diretas para o manejo produtivo e para programas de melhoramento genético. Diferenças na fase inicial da curva podem demandar ajustes específicos no manejo nutricional, na idade de estímulo produtivo e na estratégia de reposição de plantel, enquanto a similaridade no platô e na persistência sugere que ambas as

linhagens possuem desempenho equivalente em termos de produção sustentada. Além disso, a identificação de diferenças estruturais na dinâmica produtiva reforça o potencial do modelo Compartimental como ferramenta analítica para comparações entre linhagens comerciais, subsidiando decisões estratégicas voltadas à maximização da eficiência produtiva ao longo do ciclo.

## **Conclusão**

Os resultados confirmam que os modelos não-lineares avaliados diferem quanto à capacidade de descrever e prever a produção e a massa de ovos de codornas japonesas ao longo do ciclo produtivo, corroborando a primeira hipótese do estudo. Entre os modelos testados, o modelo Compartimental apresentou o melhor equilíbrio entre qualidade de ajuste e complexidade estrutural, mostrando-se o mais adequado para representar os dados provenientes de condições comerciais de criação.

A partir do modelo selecionado, a análise de paralelismo indicou que as linhagens A e B apresentam níveis máximos semelhantes de produção e de massa de ovos, porém, diferem quanto à forma e à temporalidade da curva produtiva, especialmente na fase inicial da postura, confirmando as hipóteses de variação genética entre linhagens e de diferenças estruturais no padrão produtivo.

Dessa forma, conclui-se que a modelagem compartimental associada à análise de paralelismo é uma abordagem eficiente para identificar diferenças funcionais entre linhagens comerciais, oferecendo subsídios relevantes para estratégias de manejo e para programas de melhoramento genético na produção avícola.

## **Referências Bibliográficas**

ALI, M. A.; ABD EL-AZIZ, A. A. A comparative study on nutritional value of quail and chicken eggs. **Journal of Research in Field Specialization Education**, v. 15, p. 39–56, 2019.

ALSHAHEEN, S. A. Analysis of egg production and egg weight curves by two mathematical models in Japanese quail (*Coturnix c. japonica*). **International Journal of Poultry Science**, v. 11, p. 58–68, 2017.

ARIZA, A. G. et al. Mathematical modeling of egg production curve in a multivariety endangered hen breed. **Research in Veterinary Science**, v. 144, p. 196–203, 2022.

ALVAREZ, R.; HOCKING, P. M. Stochastic model of egg production in broiler breeders. **Poultry Science**, v. 86, p. 1445–1452, 2007.

ANTONELLI, M.; MAZZOLENI, E.; DONELLI, D. Quail egg-based supplements in allergic rhinitis: A systematic review of clinical studies. **Nutrients**, v. 17, p. 712, 2025.

BINDYA, L. A. et al. Mathematical models for egg production in an Indian colored broiler dam line. **International Journal of Poultry Science**, v. 9, p. 916–919, 2010.

CHENG, X.; NING, Z. Research progress on bird eggshell quality defects: A review. **Poultry Science**, v. 102, p. 102283, 2023.

DURMUÇ, İ. et al. Effects of mass selection on egg production on some reproductive traits in Japanese quail. **European Poultry Science**, v. 81, p. 1–9, 2017.

EMAMGHOLI BEGLI, H. et al. Genetic analysis of egg production traits in turkeys (*Meleagris gallopavo*) using a single-step genomic random regression model. **Genetics Selection Evolution**, v. 53, p. 1–9, 2021.

FARRAG, S. A. et al. Microsatellite analysis of genetic diversity in three populations of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) from Kazakhstan. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, v. 18, p. 2376–2383, 2011.

FARZIN, N. et al. Estimates of genetic parameters for monthly egg production traits in a commercial broiler female line. **Italian Journal of Animal Science**, v. 10, p. 54–57, 2011.

FELIPE, V. P. et al. Using multiple regression, Bayesian networks and artificial neural networks for prediction of total egg production in European quails based on earlier expressed phenotypes. **Poultry Science**, v. 94, p. 772–780, 2015.

GERBEN, N. **Factors affecting egg quality in the commercial laying hen: A review**. Auckland: Egg Producers Federation of New Zealand Inc., 2006.

GÜL, E. T. et al. Use of Maca Powder (*Lepidium meyenii*) as feed additive in diets of laying quails at different ages: Effects on performance, eggshell quality, serum, ileum, and bone properties. **Veterinary Sciences**, v. 9, p. 418, 2022.

GOMPERTZ, B. On the nature of the function expressive of the law of human mortality and on a new method of determining the value of life contingencies. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 115, p. 513–585, 1825.

GRIESER, D. O. et al. Coturnicultura brasileira: atividade promissora para produtores rurais. **Agropecuária Científica no Semiárido**, 2024.

- GROSSMAN, M.; KOOPS, W. J.; GROSSMAN, M. A model for persistency of egg production. **Poultry Science**, v. 79, p. 810–815, 2000.
- HASSAN, K. H.; HAMEED, N. M. Effect of age at sexual maturity of quail dams on egg production and egg quality traits of their progeny. **Biochemical and Cellular Archives**, v. 19, p. 4231–4234, 2019.
- HE, W. et al. Dietary supplementation with astaxanthin alleviates ovarian aging in aged laying hens by enhancing antioxidant capacity and increasing reproductive hormones. **Poultry Science**, v. 102, p. 102258, 2023.
- HLOKOE, V.; TYASI, T.; GUNYA, B. Chicken ovarian follicles morphology and growth differentiation factor 9 gene expression in chicken ovarian follicles. **Heliyon**, v. 8, e08742, 2022.
- JEKE, A. et al. Nutritional compositions of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) breed lines raised on a basal poultry ration under farm conditions in Ruwa, Zimbabwe. **Cogent Food & Agriculture**, v. 4, p. 1473009, 2018.
- KNAGA, S.; KASPEREK, K.; ZIEBA, G. Ovalbumin gene polymorphism: Implications for hatchability and egg quality changes during storage in Japanese quail. **Poultry Science**, v. 104, p. 104788, 2025.
- KARABAĞ, K.; ALKAN, S.; BALCIOGLU, M. S. The differences in some production and clutch traits in divergently selected Japanese quails. **Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi**, v. 16, n. 3, 2010.
- KHADIGA, G. A. et al. Genetic analysis of partial egg production records in Japanese quail using random regression models. **Poultry Science**, v. 96, p. 2569–2575, 2017.
- KHADIGA, G. A.; MAHMOUD, B. Y. F.; EL-FULL, E. A. Genetic evaluation of early egg production and maturation traits using two different approaches in Japanese quail. **Poultry Science**, v. 95, p. 774–779, 2016.
- LEANDRO, N. S. M. et al. Aspectos reprodutivos e desempenho de diferentes linhagens de matrizes de codornas japonesas. **Ciência Animal Brasileira**, 20, e–44896, 2019.
- LI, X. et al. Identification of chicken FSHR gene promoter and the correlations between polymorphisms and egg production in Chinese native hens. **Reproduction in Domestic Animals**, v. 54, p. 702–711, 2019.
- LOKAPIRNASARI, W. P. et al. Effect of probiotics and acidifiers on feed intake, egg mass, production performance, and egg yolk chemical composition in late-laying quails. **Veterinary World**, v. 17, p. 462–469, 2024.
- LUKANOV, H. Domestic quail (*Coturnix japonica domestica*): Is there such a farm animal? **World's Poultry Science Journal**, v. 75, p. 547–558, 2019.

MA, Y. et al. Comparison of laying performance and egg quality between peak and late laying phases in Korean quail. **Poultry Science**, v. 104, p. 105262, 2025.

MANAA, E.; EL-BAYOMI, K.; SOSA, G. Genetic evaluation for egg production traits in Japanese quail. **Benha Veterinary Medical Journal**, v. 28, p. 178–185, 2015.

MANAA, E. A. et al. Laying performance, genetic parameters, and the expression of FSH $\beta$ , LH $\beta$ , FSHR, and LHR genes in Japanese quails selected for early egg production. **Poultry Science**, v. 103, p. 103358, 2024.

MCMILLAN, I. et al. Quantitative genetics of fertility I: Lifetime egg production of *Drosophila melanogaster* – theoretical. **Genetics**, v. 65, p. 349–353, 1970.

MINVIELLE, F. et al. Genetic similarity and relationships of DNA fingerprints with performance and with heterosis in Japanese quail lines from two origins and under reciprocal recurrent or within-line selection for early egg production. **Genetics Selection Evolution**, v. 32, p. 289–302, 2000a.

MINVIELLE, F. et al. Long term egg production and heterosis in quail lines after within line or reciprocal recurrent selection for high early egg production. **British Poultry Science**, v. 41, p. 150–157, 2000b.

MOOKPROM, S. et al. Genetic evaluation of egg production curve in Thai native chickens by random regression and spline models. **Poultry Science**, 2016.

MOURA, G. S.; BARRETO, S. L. T.; LANNA, E. A. T. Efeito da redução da densidade energética de dietas sobre as características do ovo de codorna japonesa. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 1266–1271, 2010.

NAGARAJAN, S. et al. Influence of stocking density and layer age on production trait and egg quality in Japanese quail. **British Poultry Science**, v. 32, p. 243–248, 1991.

NARINC, D. et al. Investigation of nonlinear models to describe long-term egg production in Japanese quail. *Poultry Science*, v. 92, p. 1676–1682, 2013.

NARINC, D. et al. Genetic parameter estimates of growth curve and reproduction traits in Japanese quail. **Poultry Science**, v. 93, p. 24–30, 2014.

NURFAIZIN, N. et al. Long-term egg production curve fitting using nonlinear models for superior local chicken of Indonesia. **Poultry Science Journal**, v. 13, p. 59–67, 2025.

PEDERSEN, T. L. **patchwork: The composer of plots**. Vienna: Comprehensive R Archive Network (CRAN), 2024. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/patchwork/index.html>. Acesso em: 20 out. 2025.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2025. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 20 mar. 2025.

ROSSI, R. M.; MARTINS, E. N. Aspectos genéticos de curvas de probabilidade de postura em codornas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 8, p. 1708–1716, 2010.

ROZENBOIM, I. et al. The effect of heat stress on ovarian function of laying hens. **Poultry Science**, v. 86, p. 1760–1765, 2007.

SAEED, M. et al. Nutritional significance and health benefits of quail's meat and eggs: an empirical review. **Pakistan Journal of Zoology**, v. 57, p. 439–449, 2025.

SAFARI-ALIQUIARLOO, A. et al. Phenotypic study of egg production curve in commercial broiler breeders using compartmental function. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 47, e20170225, 2018.

SAS INSTITUTE INC. **SAS/STAT® 15.3 user's guide**. Cary: SAS Institute Inc., 2023. Disponível em: [https://documentation.sas.com/doc/pt-BR/pgmsascdc/9.4\\_3.5/statug/titlepage.htm](https://documentation.sas.com/doc/pt-BR/pgmsascdc/9.4_3.5/statug/titlepage.htm). Acesso em: 20 mar. 2025.

SILVA, G. F.; NASCIMENTO, G. B.; SAKOMURA, N. K. Modelagem de curvas de crescimento em aves: aspectos estatísticos e biológicos. **Ciência Rural**, v. 51, e20200645, 2021.

TAGHIPOUR-SHAHBANDI, M. et al. Exploration of age-related changes in reproductive parameters of female Japanese quail (*Coturnix japonica*). **Poultry Science**, v. 103, p. 104499, 2024.

WICKHAM, H. **ggplot2: elegant graphics for data analysis**. 2. ed. Cham: Springer International Publishing, 2016.

WOLC, A. et al. Analysis of egg production in layer chickens using a random regression model with genomic relationships. **Poultry Science**, v. 92, p. 1486–1491, 2013.

WOOD, P. D. P. Algebraic model of the lactation curve in cattle. **Nature**, v. 216, p. 164–165, 1967.

YANG, N.; WU, C.; MCMILLAN, I. A new mathematical model of poultry egg production. **Poultry Science**, v. 68, p. 476–481, 1989.