

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

**LARISSA RAYANE ANTUNES**

**EXIGÊNCIAS DE LISINA PARA CODORNAS EM CRESCIMENTO: UM ESTUDO  
META-ANALÍTICO**

**RECIFE**

**2022**

**LARISSA RAYANE ANTUNES**

**EXIGÊNCIAS DE LISINA PARA CODORNAS EM CRESCIMENTO:  
UM ESTUDO META-ANALÍTICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal Rural de Pernambuco para obtenção do Título de Mestre em Zootecnia.

Área de concentração: Zootecnia

Orientador: Prof. Dr. Edney Pereira da Silva

Coorientadores:

Prof. Dr. Carlos Bôa-Viagem Rabello

Dr. Marcos José Batista dos Santos

**RECIFE**

**2022**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- A636e Antunes, Larissa Rayane  
Exigências de lisina para codornas em crescimento: um estudo meta-analítico / Larissa Rayane Antunes. - 2022.  
46 f. : il.
- Orientador: Edney Pereira da Silva.  
Coorientador: Carlos Boa-Viagem Rabello.  
Inclui referências.
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Recife, 2022.
- I. Eficiência. 2. Manutença. 3. Modelos. 4. Produção. 5. Revisão sistemática. I. Silva, Edney Pereira da, orient. II. Rabello, Carlos Boa-Viagem, coorient. III. Título



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

**EXIGÊNCIAS DE LISINA PARA CODORNAS EM CRESCIMENTO:  
UM ESTUDO META-ANALÍTICO**

Dissertação elaborada por  
LARISSA RAYANE ANTUNES

Aprovado em ...../...../.....

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Edney Pereira da Silva  
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

---

Prof. Dra. Carla Daniela Suguimoto Leite  
Universidade Federal de Goiás (UFG)

---

Prof. Dra. Lilian Francisco Arantes de Souza  
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

Dedico

Aos meus pais e ao meu irmão, por todo apoio e incentivo, e por nunca permitirem que eu desistisse por maiores que fossem as dificuldades.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, por tudo.

À minha família, em especial aos meus pais, Luciana e José, por serem meu suporte e me incentivarem sempre a crescer.

Ao programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) pela oportunidade de realização desse curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo consentimento da bolsa de estudos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Edney Pereira da Silva, pela confiança em mim depositada, pelos valiosos ensinamentos, críticas, compreensão e paciência. Um profissional inspirador, sempre incentivando e estimulando a busca pelo conhecimento.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da UFRPE, pelos valiosos ensinamentos e dedicação.

A todos os amigos e colegas de pós-graduação que de alguma forma me ajudaram, sendo na vida acadêmica ou simplesmente me apoiando ao que me propus fazer.

Enfim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, e que sempre torceram por mim. Obrigada!

*“O futuro tem muitos nomes. Para os fracos é o inalcançável. Para os temerosos, o desconhecido. Para os valentes é a oportunidade. “*  
*(Victor Hugo)*

## RESUMO

Esta pesquisa teve por objetivo (1) estruturar uma base de dados sobre exigência de lisina (Lys) para codornas em crescimento; (2) estimar a exigência de Lys para ganho de peso em mg/g; (3) determinar a eficiência de utilização da Lys para crescimento; (4) parametrizar um modelo para calcular a ingestão de Lys para codornas em crescimento, e (5) integrar o modelo as curvas de crescimento de codornas para possibilitar o cálculo diário da iLys. O modelo proposto considera a partição de Lys para manutenção e crescimento, conforme a equação geral:  $iLys = \text{manutenção} + \text{crescimento}$ , em que iLys é a ingestão de Lys. Manutenção, a partição de Lys para manutenção foi calculada para cada observação utilizando o valor de peso corporal (P) de cada estudo incluído na base de dados. A constante de manutenção usada foi de 135,57 mg/kg P. A partição para crescimento foi obtida por diferença,  $\text{crescimento} = iLys - \text{Manutenção}$ . A exigência para ganho de peso ( $k_g$ ) foi obtida pela relação entre a Lys particionada para crescimento e ganho de peso (GP) de cada observação contida na base de dados. A eficiência utilização foi obtida considerando a relação entre deposição e ingestão de lisina. As variáveis iLys, P e GP foram extraídas de cada publicação. Inicialmente, a  $k_g$  foi considerada como uma constante independente P. Adicionalmente, o ajuste entre  $k_g$  e P foi considerado como relação linear, polinomial quadrático e exponencial e, com base nas estatísticas de ajustes, os modelos foram selecionados. Foi descrito o crescimento do corpo e penas de diferentes linhagens de codornas: Vicami, Fujikura e Estrela Gaúcha. Para descrever o crescimento, utilizou-se a função Gompertz, que considera o peso corporal na maturidade ( $P_m$ , em g), o peso corporal ao nascimento ( $P_i$ , em g), taxa de maturidade (B, por dia), a idade (t, em dias), o número de Euler (e) e o log natural (ln). A base de dados foi composta por 135 informações contidas em 17 estudos. Alguns dos estudos publicados não forneceram informações suficientes para atender aos critérios preestabelecidos, impossibilitando a utilização desses dados. O valor encontrado para  $k_g$  foi de 32 mg/g de GP. A eficiência de utilização de Lys para codornas em crescimento foi calculada em 28,4%, quando considerado  $k_g$  independente de P. A relação linear, quadrática e exponencial entre  $k_g$  e P não melhorou o erro da predição da iLys, sendo utilizado o valor de  $k_g$  para todo P, conforme o modelo  $iLys = 135.57P + 32GP$ ,  $\pm 38$ . Com base na relação entre peso e idade, foram ajustados os parâmetros da curva Gompertz para crescimento de corpo e penas com as linhagens apresentando perfis de crescimento semelhantes. Esses valores foram aplicados ao modelo selecionado, tornando-o dinâmico e possibilitando a predição de iLys diária.

**Palavras-chaves:** eficiência, manutenção, modelos, produção, revisão sistemática.



## ABSTRACT

This research aimed to (1) structure a database about lysine (Lys) requirement for growing quails; (2) estimate the Lys requirement for weight gain in mg/g; (3) determine the efficiency of Lys utilization for growth; (4) parameterize a model to calculate Lys intake for growing quails and (5) integrate the quails growth curves into the model to enable the daily calculation of iLys. The proposed model considers the partition of Lys for maintenance and growth, according to the general equation:  $iLys = \text{maintenance} + \text{growth}$ , where iLys is the ingestion of Lys. Maintenance, maintenance Lys partition was calculated for each observation using the body weight (BW) value of each study included in the database. The maintenance constant used was 135.57 mg/kg BW. The partition for growth was obtained by difference,  $\text{growth} = iLys - \text{Maintenance}$ . The requirement for weight gain ( $kg$ ) was obtained by the ratio between the partitioned Lys for growth and weight gain (BWG) of each observation contained in the database. The utilization efficiency was obtained considering the relationship between lysine deposition and ingestion. The variables iLys, BW and BWG were extracted from each publication. Initially,  $kg$  was considered as an independent constant BW. Additionally, the fit between  $kg$  and BW was considered as a linear, quadratic and exponential polynomial relationship and based on the fit statistics the models were selected. The growth of the body and feathers of different quail strains was described: Vicami, Fujikura and Estrela Gaúcha. To describe growth, the Gompertz function was used, which considers body weight at maturity ( $P_m$ , in g), body weight at birth ( $P_i$ , in g), maturity rate ( $B$ , per day), age ( $t$ , in days), the Euler number ( $e$ ) and the natural log ( $\ln$ ). The database was composed by 135 information contained in 17 studies. Some of the published studies did not provide enough information to meet the pre-established criteria, making it impossible to use these data. The value found for  $kg$  was 32 mg/g of BWG. The efficiency of using Lys for quails in growth was calculated in 28.4%, when considering  $kg$  independent of BW. The linear, quadratic and exponential relationship between  $kg$  and BW did not improve the prediction error of iLys, being used the value of  $kg$  for all BW, according to the  $iLys \text{ model} = 135.57BW + 32BWG$ ,  $\pm 38$ . Based on the relationship between weight and age, the parameters of the Gompertz curve for body and feather growth were adjusted, with  $m$  the lines showing similar growth profiles. These values were applied to the selected model, making it dynamic and enabling the prediction of daily iLys.

**Keywords:** efficiency, maintenance, models, production, systematic review.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Crescimento do corpo de diferentes linhagens de codorna japonesa. ....	37
Figura 2. Crescimento de penas de diferentes linhagens de codorna japonesa. ....	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Número de artigos, citação, local do ensaio e tipo de codorna usada nos ensaios. ...	29
Tabela 2. Níveis de lisina, proteína bruta (PB) e energia metabolizável (EM) em ensaios de exigências de lisina para codornas em crescimento. ....	30
Tabela 3. Caracterização dos ensaios de exigências de lisina para codornas em crescimento. ....	31
Tabela 4. Variáveis de desempenho em ensaios de exigências de lisina para codornas em crescimento. ....	32
Tabela 5. Composição corporal de codornas em ensaios de exigências de lisina para codornas em crescimento. ....	32
Tabela 6. <i>p-value</i> das variáveis avaliadas em estudos com codornas em crescimento. ....	33
Tabela 7. Avaliação dos modelos para estimar a ingestão de lisina para codornas em crescimento. ....	34
Tabela 8. Predição da ingestão de lisina baseada em estudos publicados. ....	35
Tabela 9. Predição da ingestão de lisina usando modelo elaborado nesta pesquisa e o modelo da Tabela Brasileira para Aves e Suínos (TBAS). ....	36
Tabela 10. Parâmetros da função Gompertz ajustados para peso corporal de três linhagens comerciais de codornas japonesas. ....	37
Tabela 11. Parâmetros da função Gompertz ajustados para peso de penas de três linhagens comerciais de codornas japonesas. ....	38
Tabela 12. iLys predita pelos modelos M1 e modelo da TBAS com base nos dados obtidos pela função Gompertz. ....	39

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

- B - taxa de maturidade
- CLP – corpo livre de penas
- DIC – delineamento inteiramente casualizado
- dLys – deposição de lisina
- dPD – deposição diária de proteína
- e - número de Euler
- EM – energia metabolizável
- GP – ganho de peso
- iLys – ingestão de lisina
- icLys – ingestão de lisina corrigida para manutenção
- k – eficiência de utilização
- $k_g$  – exigência para ganho de peso
- $k_m$  – exigência para manutenção do peso corporal
- ln - log natural
- Lys – lisina
- Lys<sub>c</sub> – composição corporal em lisina
- M1 – modelo 1
- M2 – modelo linear
- M3 – modelo polinomial quadrático
- M4 – modelo exponencial
- P - peso corporal
- $P^{0,67}$  – peso metabólico
- PB – proteína bruta
- PB<sub>c</sub> – composição corporal em proteína bruta
- Pi - peso corporal ao nascimento
- Pm - peso corporal na maturidade
- rLys – requerimento de lisina
- t\* - idade para máxima taxa de crescimento
- t - idade
- TBAS – tabelas brasileiras para aves e suínos

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	16
2.1 FUNDAMENTOS DA META-ANÁLISE.....	16
2.2 EXIGÊNCIAS DE LISINA PARA CODORNAS .....	18
2.3 MÉTODOS PARA ESTIMAR AS EXIGÊNCIAS DE LISINA PARA CODORNAS.....	19
2.3.1 DOSE-RESPOSTA .....	19
2.2.2 FATORIAL .....	20
2.4 EXIGÊNCIAS DE LISINA PARA MANTENÇA E CRESCIMENTO .....	20
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1 ESTUDO META-ANALÍTICO .....	23
3.1.1 ESTRATÉGIA DE BUSCA.....	23
3.2 UTILIZAÇÃO DA LISINA .....	24
3.3 PARAMETRIZAÇÃO E SELEÇÃO DOS MODELOS.....	25
3.4 AVALIAÇÃO DOS MODELOS .....	26
3.5 CRESCIMENTO DO CORPO E PENAS .....	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	29
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS ESTUDOS DE EXIGÊNCIA DE LISINA PARA CRESCIMENTO DE CODORNAS .....	29
4.2 INTERAÇÃO ENTRE NÍVEIS DE LISINA E ESTUDOS .....	33
4.3 EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO E EXIGÊNCIA DE LISINA PARA GANHO .....	34
4.4 AVALIAÇÃO DOS MODELOS PARA ESTIMAR A INGESTÃO DE LISINA.....	34
4.5 CRESCIMENTO DO CORPO E PENAS .....	36
5 CONCLUSÃO.....	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	43

## 1 INTRODUÇÃO

As consequências da pandemia no ano de 2020 se estenderão por vários anos nos diversos setores da economia. Os impactos no setor avícola foram desiguais entre frangos, poedeiras e codornas. No setor de frangos de corte, os efeitos afetaram a remuneração do produtor devido ao aumento dos custos com grãos, enquanto no setor de poedeiras comerciais, houve desalojamento de lotes em produção nos pequenos produtores. A produção de ovos de codornas, no setor avícola, apresentou maior retração, com desalojamento de lotes em produção e abate de reprodutores. O consumo de ovos de codornas está associado ao consumo das famílias fora da residência e as medidas sanitárias impostas pelo combate a pandemia restringiram a convivência social em diferentes ambientes, como bares, restaurantes e eventos sociais, que são os principais nichos de mercado para ovos de codornas. Portanto, o cenário atual é de sobrevivência do setor, e as expectativas para curto e médio prazo devem ser focadas em soluções para minimizar o custo de produção e melhorar a eficiência produtiva.

Reduzir os custos com nutrição das aves demanda conhecimento sobre as exigências nutricionais das aves. Considerando que a lisina (Lys) tem sido usada como o aminoácido referencial para estabelecer o perfil ideal da proteína, 20 estudos dose-resposta foram encontrados nas últimas duas décadas, e a recomendação de exigência Lys variou de 0,8% até 1,75% na dieta (SVACHA et al., 1970; BARBOUR et al. 1993; BARRETO et al., 2006; CORRÊA et al., 2007; MOURA et al., 2007; CORRÊA et al., 2009; CORRÊA et al., 2010; TON et al., 2011; HAJKHODADADI et al., 2013; MEHRI et al., 2013; ATTIA et al., 2014; HAJKHODADADI et al., 2014; REDA et al., 2015; MEHRI et al., 2015; ABBAS et al., 2016; LIMA et al., 2016; HASANVAND et al., 2017; IONITA et al., 2020; SILVA et al., 2020; SIQUEIRA et al., 2021). Individualmente, esses estudos recomendaram a exigência ótima de Lys encontrada para o respectivo período de crescimento estudado, sendo inevitavelmente uma recomendação estática (SILVA et al. 2020a) e pouco flexível para extrapolar para outras fases de criação, uma vez que a dinâmica do crescimento altera a partição para manutenção e crescimento (SILVA et al. 2021). Portanto, uma abordagem mais adequada seria o uso de modelos que levam em consideração as diferenças no peso corporal (P) e ganho de peso (GP) das aves, mas, apesar de sua importância, até o presente momento, é inexistente um modelo matemático para calcular a ingestão de Lys (iLys), considerando as variáveis de estado P e GP das codornas.

Estruturar um modelo fatorial para calcular a iLys pode ser uma alternativa para aumentar a precisão dos programas de alimentação para codornas em crescimento. Para isso, é

necessário ter informações sobre as curvas de crescimento que descrevem o potencial genético das aves (CARVALHO et al. 2020) e eficiência de utilização da Lys para crescimento (SIQUEIRA et al. 2021), além da exigência de Lys para manutenção (SILVA et al. 2019).

Recentemente, estudos foram publicados e podem suportar a extração dessas informações para estruturação de um modelo fatorial para calcular a iLys para codornas em crescimento. Adicionalmente, os estudos dose-resposta previamente publicados sobre exigência de Lys podem suportar a extração de informações sobre a eficiência de utilização para diferentes fases de crescimento, uma vez que a eficiência de utilização tem relação com a variável de estado P, de acordo com Rostagno et al. (2017). Portanto, esta pesquisa objetivou (1) estruturar uma base de dados sobre exigência de lisina (Lys) para codornas em crescimento; (2) estimar a exigência de Lys para ganho de peso em mg/g; (3) determinar a eficiência de utilização da Lys para crescimento; (4) parametrizar um modelo para calcular a ingestão de Lys para codornas em crescimento, e (5) integrar o modelo às curvas de crescimento de codornas para possibilitar o cálculo diário da iLys.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 FUNDAMENTOS DA META-ANÁLISE

O termo meta-análise foi citado pela primeira vez por Glass (1976) no campo das ciências da educação, o definindo em seu sentido mais limitado como sendo a análise estatística de um grande conjunto de dados resultantes de estudos individuais com o objetivo de integrar descobertas. Ou seja, a meta-análise usa métodos científicos objetivos baseados em estatísticas para resumir e quantificar o conhecimento adquirido através de pesquisas anteriormente publicadas, sendo capaz de aumentar o poder estatístico da pesquisa (PETITTI, 2001; LOVATTO et al., 2007; SAUVANT et al., 2008; SOUSA e RIBEIRO, 2009). Tais métodos foram inicialmente desenvolvidos em psicologia, medicina e ciências há algumas décadas, sendo mais recentes na nutrição animal (SAUVANT et al., 2008).

Devido à busca constante por informações cada vez mais precisas, é comum, no meio científico, a realização de diversos estudos sobre um mesmo tema de interesse. Isso se deve, em parte, ao fato de que os resultados obtidos de um único experimento não podem ser considerados generalizáveis, pois são reflexo das condições experimentais, havendo a necessidade de mais estudos semelhantes para obter resultados mais precisos para o tema em questão. Dessa forma, a meta-análise surge como uma alternativa capaz de analisar grandes conjuntos de dados de origem heterogênea, sendo um método eficiente para reanalisar os dados já publicados e possibilitar interpretações que podem permitir avanços na compreensão, atenuando ou anulando possíveis vieses e imprecisões (SAUVANT et al., 2020).

Ao conduzir um estudo meta-analítico, são coletados diversos estudos publicados na literatura, de acordo com o objetivo do pesquisador. Uma das etapas consiste na seleção de publicações por meio de avaliação crítica, considerando os resultados e a metodologia empregada. Nesse método, o número de artigos considerados aptos ou representativos dependerá da qualidade dos mesmos, que será determinada por uma revisão sistemática das publicações, utilizando métodos formais, estruturados e imparciais para sintetizar evidências científicas (FAGERLAND, 2015).

Logo, os estudos meta-analíticos são realizados no contexto de revisões sistemáticas de literatura (PETITTI, 2001), que são a base para a condução desses estudos, pois, para garantir que a meta-análise tenha resultados mais precisos, é desejável que os artigos utilizados tenham um modelo experimental adequado, assim, a qualidade do modelo usada é definida por meio da avaliação dessas publicações.



Fundamentalmente, as meta-análises englobam etapas essenciais para sua condução, que devem ser seguidas de forma rigorosa para garantir a qualidade do estudo. Dessa forma, o procedimento é determinado por meio da definição dos objetivos a partir dos quais será realizada a sistematização das informações presentes na literatura, que serão codificadas e incluídas em uma base de dados para serem avaliadas sistematicamente e, então, selecionadas para extração e análise desses dados por meio de modelos estatísticos (LOVATTO et al., 2007; SAUVANT et al., 2008).

Na produção animal, a necessidade de entender as relações biológicas, ambientais e de manejo é crescente, ao passo que a produção científica vem crescendo exponencialmente (ST-PIERRE, 2001; LOVATTO et al., 2007). Os estudos meta-analíticos possibilitam a compilação e análise de dados, fornecendo informações mais precisas de acordo com o objetivo em questão.

O uso de meta-análise na nutrição animal ainda é recente em relação a outras áreas de estudo, como a medicina. Em pesquisas com não ruminantes, o uso da meta-análise vem se intensificando ao longo dos últimos anos, sendo aplicada em diferentes áreas de estudo, como avicultura de corte (BOEMO et al., 2015; LIU et al., 2020; ZOUAOUI et al., 2021) e de postura (MIGNON-GRASTEAU et al., 2014; AHMADI e RODEHUTSCORD, 2012; FARUK et al., 2017), suinocultura (HAUPTLI et al., 2007; ROSSI et al., 2008; ANDRETTA et al., 2012), cunicultura (FALCONE et al., 2021), piscicultura (MARTINEZ-GARCIA et al., 2013) e cães (ANVARI et al., 2020).

Na ciência animal, a aplicação da meta-análise se dá, principalmente, nas relações entre variáveis quantitativas para prever a resposta média de uma variável dependente dentro do experimento para uma ou mais variáveis independentes (SAUVANT et al., 2020). Dessa forma, esse procedimento se apresenta como uma ferramenta eficaz para extração dos coeficientes que representam as exigências em nutrientes dos animais para o desenvolvimento de modelos de predição.

Nascimento et al. (2011) conduziram uma meta-análise com o objetivo de obter equações de predição para estimar os valores de energia metabolizável em função da composição química de alimentos energéticos para aves. Foram catalogadas 375 informações na base de dados, que foram analisadas e utilizadas para ajustar as equações de regressão linear múltiplas para prever a energia metabolizável. Carvalho et al. (2020) conduziram uma meta-análise de estudos publicados e caracterizaram o potencial genético de codornas japonesas em crescimento por meio da extração, interpretação e análise de dados referentes ao crescimento das aves.

A meta-análise é utilizada há décadas como uma ferramenta capaz de compilar e avaliar dados, aumentando a precisão de informações já publicadas, porém, na nutrição de não ruminantes, ainda é pouco utilizada. Com uma vasta quantidade de informações publicadas e uma necessidade cada vez maior de reduzir custos de produção, seu uso é um aliado na produção animal, visto que o desenvolvimento de modelos de predição pode contribuir para o aperfeiçoamento dos programas de nutrição.

## 2.2 EXIGÊNCIAS DE LISINA PARA CODORNAS

A lisina é um aminoácido essencial para aves e, na ordem de limitação dietética, tem sido posicionada como o segundo aminoácido limitante quando a dieta é formulada à base de milho e farelo de soja (BERTECHINI, 2012). Isso justifica a necessidade de suplementação na dieta de L-Lisina, obtida de fontes produzidas industrialmente para suprir a limitação dos principais ingredientes, tendo em vista que se trata de um aminoácido essencial e limitante em dietas para crescimento de aves. A síntese de proteica, especialmente, em tecido muscular é uma das principais funções da lisina. Além de proteínas estruturais, também participa na síntese de carnitina, que atua no transporte de ácidos graxos para a  $\beta$ -oxidação na mitocôndria (CHAMPE et al., 2009). O não atendimento da exigência nutricional de lisina ou até mesmo sua deficiência em dietas para aves em crescimento afeta a síntese proteica, consequentemente, a quantidade de proteína depositada diariamente (TESSERAUD et al., 1996) e, por fim, o crescimento animal.

A concentração de lisina nas dietas para codornas em crescimento vem sendo estudada por vários grupos de pesquisa no mundo (BARBOUR et al., 1993; BARRETO et al., 2006; HAJKHODADADI et al., 2014; HASANVAND et al., 2017). Entretanto, as recomendações sugeridas por esses autores são divergentes (0,9%: BARRETO et al., 2006; MOURA et al., 2007; 1,65%: CORRÊA et al., 2007; SANTOS et al., 2009). Parte da divergência encontrada pode ser relacionada ao modelo experimental utilizado, como uso de métodos empíricos (BARRETO et al. 2006; HAJKHODADADI et al., 2013) e estáticos (MOURA et al., 2007; TON et al., 2011), portanto, não consideram as variações de meio, como o peso corporal e o ganho de peso dos diferentes estudos que alteram a exigência de manutenção e eficiência de utilização da lisina para crescimento.

Uma alternativa é a partição da ingestão de lisina para manutenção do peso corporal e para ganho de peso. Para obter os coeficientes que representam as exigências nutricionais de

manutenção e eficiência de utilização, tradicionalmente, são conduzidos estudos dose-resposta, entretanto, é possível obter esses coeficientes utilizando um procedimento meta-analítico.

No Brasil, a utilização de modelos de predição para exigência de aminoácidos em codornas ainda é limitada, especialmente pela sua importância. Assim, o desenvolvimento de modelos de predição das exigências de lisina pode contribuir para o aperfeiçoamento dos programas nutricionais desses animais, além de possibilitar benefícios econômicos e ambientais por meio de determinações mais precisas de ingestão de lisina.

## 2.3 MÉTODOS PARA ESTIMAR AS EXIGÊNCIAS DE LISINA PARA CODORNAS

### 2.3.1 DOSE-RESPOSTA

Para o estabelecimento das exigências nutricionais de aves, são empregados tradicionalmente dois métodos: dose resposta e fatorial. O método dose-resposta é baseado na resposta de desempenho dos animais ao aumento gradativo da concentração de um determinado nutriente da dieta (SAKOMURA & ROSTAGNO, 2016). Tal método vem sendo utilizado na grande maioria dos estudos para definir as exigências de aminoácidos das aves devido a sua praticidade e facilidade de execução. Porém, as recomendações obtidas por meio destes são valores estáticos, em que uma dose ótima é recomendada para um determinado período de tempo (HAUSCHILD et al., 2010; NOGUEIRA et al., 2021).

De acordo com BAKER (1986), para estudos com aminoácidos, as respostas de crescimento à adição de um aminoácido na dieta são geralmente curvilíneas, tendo menor inclinação em doses entre 0 e 30% da exigência para máxima resposta (manutenção), inclinação constante (linear) entre 30 e 70% da exigência, e, em seguida, a inclinação decrescente (estabilidade) em incrementos que permitem entre 70% e 100% do crescimento máximo. A inclinação diminui em 70% do crescimento máximo, pois, neste ponto, se inicia a fase de atendimento nutricional, em que a exigência para o indivíduo médio da população é atendida. A inclinação continua a diminuir com o aumento das dosagens na porção superior do ajuste curvilíneo da curva-resposta à medida que a exigência é atendida para os indivíduos mais meticulosos da população que está sendo amostrada.

A extrapolação desses resultados para a população está relacionada ao modelo matemático utilizado para a interpretação da resposta, em que geralmente considera-se o nível ótimo estimado por uma função (SAKOMURA E ROSTAGNO, 2016). A resposta de desempenho animal depende de uma série de fatores, tais como: a variação experimental

inerente à genética e fatores ambientais, o modelo experimental e os níveis nutricionais (BAKER & HAN, 1994; PESTI et al., 2009). Portanto, as recomendações obtidas a partir de estudos dose-resposta serão apropriadas apenas para aquelas condições em que o experimento foi realizado (MARTIN et al., 1994; OVIEDO-RONDÓN & WALDROUP, 2002), sendo esta uma de suas principais limitações.

### 2.2.2 FATORIAL

Os resultados obtidos dos estudos dose-resposta são a base para os estudos fatoriais, que buscam conciliar significado biológico e matemático. O método fatorial baseia-se no princípio de que a exigência em energia ou nutrientes do animal é particionada para manutenção e produção (SAKOMURA & ROSTAGNO, 2016). Tal método é usado para estimar as exigências de uma dada população por meio do indivíduo que melhor a representa ou indivíduo médio (POMAR et al., 2003), assumindo que todos os animais têm o mesmo potencial genético.

Em estudos com aves, as exigências de aminoácidos para a manutenção podem ser determinadas pelas técnicas do balanço de nitrogênio (LEVEILLE & FISHER, 1960; BURNHAN & GOUS, 1992; NONIS & GOUS, 2008) ou abate comparativo (EDWARD et al., 1999), e as exigências para o crescimento são calculadas a partir da composição corporal em aminoácidos das aves, considerando suas eficiências de utilização (SAKOMURA & ROSTAGNO, 2016).

Ao aplicar uma abordagem fatorial para prever o requerimento de AA, deve-se levar em consideração os parâmetros que expressam as exigências dos aminoácidos para manutenção, o conhecimento das taxas diárias de crescimento e a eficiência com que as aves utilizam o AA para o crescimento (SIQUEIRA, 2011; NOGUEIRA et al., 2021). Por particionar as exigências para manutenção e produção, os modelos fatoriais se tornam imprescindíveis para a modelagem da nutrição animal (SAKOMURA & ROSTAGNO, 2016), possibilitando a criação de programas alimentares mais flexíveis e dinâmicos.

## 2.4 EXIGÊNCIAS DE LISINA PARA MANUTENÇÃO E CRESCIMENTO

O termo exigência se refere à quantidade de nutrientes que o animal requer para expressar seu máximo potencial genético e é predita pela relação entre ingestão de nutriente e resposta animal, levando em consideração a resposta produtiva que se deseja obter. Muitas

vezes o termo é empregado erroneamente ao considerar a concentração na dieta como sendo a exigência.

Ao aplicar uma abordagem fatorial, deve-se levar em consideração a partição para manutenção e crescimento. Sendo assim, a manutenção pode ser definida como o estado de equilíbrio no qual a ingestão de nitrogênio é exatamente igual ao somatório das perdas, permanecendo constante o conteúdo de nitrogênio corporal (SAKOMURA & ROSTAGNO, 2016). Dessa forma, as exigências de nitrogênio e aminoácidos para manutenção podem ser determinadas por meio de diferentes metodologias (SIQUEIRA et al., 2011; SAMADI & LIEBERT, 2006; DORIGAM et al., 2014; SILVA et al., 2014).

Ao realizar ensaios para determinação da exigência de manutenção com aves em crescimento é necessário cautela, pois, segundo BURNHAM & GOUS (1992), para descrever a resposta de aves em crescimento à adição de aminoácidos na dieta, são fundamentais estimativas precisas das quantidades de cada aminoácido necessárias para a retenção de proteína corporal e para a manutenção do corpo. A interpretação dos resultados de tais experimentos é dificultada devido às mudanças em razão das modificações na taxa de crescimento potencial, ingestão de alimento e, conseqüentemente, na proporção do aminoácido consumido que será utilizada para manutenção, durante o período experimental.

Para manutenção de peso corporal, a ave precisa de nutrientes que lhes sejam fornecidos em quantidades ideais para que não haja mudança em seu corpo ao longo do tempo. Em aves que atingiram a maturidade, é mais simples determinar a manutenção, visto que o animal não está em crescimento, porém, para as aves que ainda não atingiram a maturidade, torna-se mais complexo (EMMANS, 1995), pois as exigências de aminoácidos são destinadas também para crescimento e produção. Portanto, as exigências de aminoácidos para manutenção de aves adultas estão relacionadas ao teor de proteína corporal, visto que não há custo de aminoácidos para manutenção das reservas lipídicas (BURNHAM & GOUS, 1992), sendo assim, as exigências estão relacionadas às perdas inevitáveis (manutenção).

Silva et al. (2019) estimaram a iLys para codornas japonesas por meio de uma função monomolecular, como sendo 156 mg/kg P<sub>0,75</sub>/dia. Leveille & Fisher (1959) estudaram as exigências de lisina para manutenção de galos adultos e determinaram a exigência com base na técnica do balanço de nitrogênio em 29 mg/kg/dia.

Em animais em crescimento, as exigências em aminoácidos são direcionadas, em sua maior parte, para deposição de proteína corporal, aumentando do nascimento até atingir o máximo crescimento, e declinando logo depois (SAKOMURA e ROSTAGNO, 2016). Essas exigências podem ser estimadas medindo-se o crescimento de diferentes componentes

corporais (MARTIN et al., 1994). No entanto, a composição do corpo muda sistematicamente durante o crescimento em termos químicos e físicos. Nesse caso, as taxas de ganho de diferentes componentes não serão diretamente proporcionais à taxa de crescimento em diferentes pesos (EMMANS, 1995).

Segundo Gous (1999), um elemento chave em qualquer método teórico para prever exigências é a previsão de desempenho potencial das aves por meio da avaliação da curva de crescimento. Porém, apenas a descrição do crescimento animal não fornece informações suficientes para prever as exigências nutricionais, sendo necessária a descrição individual do crescimento de cada componente corporal. A integração da descrição do crescimento aos modelos de predição de exigências permite aumentar a acurácia das estimativas.

Além da descrição do crescimento das aves, algumas informações são relevantes ao determinar a exigência para crescimento, como as eficiências de utilização dos aminoácidos da dieta para a deposição corporal, que podem ser obtidas em ensaios dose-resposta pela regressão linear da deposição corporal dos aminoácidos em função da ingestão destes (SAKOMURA & ROSTAGNO, 2016). A eficiência de utilização de um aminoácido pode ser definida como a fração dietética do aminoácido, que, após consumido e pós-absorvido, é retido nas proteínas corporais (NOGUEIRA et al., 2021). Esses valores podem ser obtidos por meio da relação aminoácido depositado/ingerido. Essa relação é essencial em modelos de predição de aminoácidos, pois a deposição dividida pela eficiência de utilização é igual à necessidade de ingestão do aminoácido em questão.

Siqueira et al. (2013) estimaram a eficiência de utilização de lisina para frangos de corte em 74,4% para 1 a 8 dias de idade, e 79,04% para 8 a 22 dias de idade. Da mesma forma, Zelenka et al. (2011) indicaram a eficiência em 49,6% para galinhas híbridas Isa Brown de 1 a 22 dias de idade.

O particionamento das exigências para a manutenção e crescimento são a base para a elaboração de modelos matemáticos capazes de prever as exigências de aminoácidos para codornas. A escassez de dados sobre crescimento de codornas demonstra a necessidade de realização de novos estudos em exigências. A necessidade de estimativas mais precisas de ingestão de aminoácidos pode ser suprida pelo uso da modelagem na nutrição animal, sendo capaz de prever essas exigências com base em estudos já publicados na literatura.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 ESTUDO META-ANALÍTICO

As publicações utilizadas como fonte de dados nesta pesquisa foram obtidas nas principais bases de dados disponíveis. As bases a serem utilizadas na busca foram Web of Science, Scopus, Science Direct, PubMed, SciELO, Directory of Open Access Journals (DOAJ) e Springer Science devido à relevância para área de Ciência Animal. O Google Scholar também foi utilizado como forma de recuperar publicações que não tenha indexação nessas bases.

##### 3.1.1 ESTRATÉGIA DE BUSCA

O levantamento bibliográfico foi realizado considerando, *a priori*, que as amostras, ou seja, os artigos científicos foram publicados em periódicos científicos com *Peer Review System*. Esta condição é essencial para considerar que os resultados experimentais foram submetidos à avaliação dupla-cega, assegurando observância das premissas da experimentação animal. Algumas informações, como ingestão de lisina e resposta animal, foram consideradas como essenciais para utilizar os resultados apresentados em cada pesquisa. Portanto, apenas estudos que foram definidos com objetivo de avaliar o efeito dos níveis de lisina sobre o ganho de peso corporal e consumo de ração em codornas em crescimento foram considerados. Para recuperar as publicações científicas, foram utilizados os seguintes termos de indexação: *quail*, *growth* e *lysine*, com o uso de apenas um operador booleano, *AND*, com tais termos a pesquisa foi feita da seguinte forma: *quail* ‘AND’ *growth* ‘AND’ *lysine* nas bases supracitadas. Dessa forma, publicações que contemplavam a combinação binária dos termos *quail* e *growth*, *growth* e *lysine* ou *quail* e *lysine* não foram consideradas.

Os estudos foram revisados considerando cinco critérios e, após observância ao atendimento dos critérios definidos *a priori*, os dados de cada publicação foram inseridos em uma planilha para análises.

Critérios:

- (1) O procedimento experimental foi claramente descrito, sendo possível identificar o número de animais por unidade experimental, idade e duração do experimento;
- (2) A subespécie (*Coturnix coturnix japonica* ou *Coturnix coturnix coturnix*) ou o tipo, se aves para corte ou postura, foi declarada na publicação;

(3) As dietas experimentais foram adequadamente descritas em termos de composição de ingredientes e atendimento nutricional e se as informações sobre os valores foram calculados ou analisados;

(4) As informações de peso corporal no início ou final do ensaio foram declaradas, e

(5) As informações sobre consumo de ração, peso corporal e/ou ganho de peso corporal foram declaradas.

Por meio de uma revisão sistemática das publicações, os estudos que não atenderam aos critérios de inclusão mencionados acima foram excluídos do banco de dados. Além dessas informações, foram consideradas no banco de dados outras que mencionavam as condições de criação, como: temperatura, dimensionamento, programa de luz, etc. A base foi composta por animais de ambos os sexos e tipos (postura e corte).

Posteriormente, os dados coletados foram agrupados em categorias, sendo elas: subespécie, dietas, procedimento experimental, desempenho e composição corporal, a partir das quais foram usadas para caracterizar os estudos realizados com codornas em crescimento.

### 3.2 UTILIZAÇÃO DA LISINA

A metodologia aplicada visa determinar a eficiência de utilização da lisina para crescimento, e incluir no modelo para estimar as exigências para fase de crescimento de codornas. O modelo proposto para estimar a *iLys* foi baseado nas variáveis de estado de peso corporal (*P*) e ganho de peso corporal (*GP*), conforme a equação 1.

$$iLys = km \times P^{0,67} + kg \times GP \quad (1)$$

Onde *iLys* é a ingestão de lisina (mg/ave d); *km* é o coeficiente que representa a exigência de manutenção para peso corporal, expressa em mg/kg<sup>0,67</sup>; *kg* é o coeficiente que representa a exigência de ganho de peso, expressa em mg/g; *P* é peso corporal, expresso em g, e *GP* é ganho de peso, expresso em g/dia.

A eficiência de utilização da lisina (*kLys*) para cada estudo foi obtida pela relação entre a deposição de Lys (*dLys*) e a *iLys* corrigida para manutenção (*icLys*), de acordo com a equação 2.

$$kLys = [dLys/icLys] \quad (2)$$

Neste cálculo, os valores de *icLys* foram obtidos subtraindo da *iLys* a quantidade particionada para manutenção do peso metabólico (kg<sup>0,67</sup>). A *icLys* foi calculada conforme a equação 3. O valor de *km* foi de 156 mg/kg<sup>0,75</sup>, obtido de Silva et al. (2019). Este valor foi



convertido para  $\text{mg/kg}^{0,67}$ , que corresponde ao  $km$  de  $135,6 \text{ mg/kg}^{0,67}$ . As variáveis de entrada foram  $iLys$  e  $P$  extraídas de cada publicação.

$$icLys = iLys - km \times P^{0,67} \quad (3)$$

Onde  $icLys$  é a ingestão de lisina corrigida para manutenção ( $\text{mg/ave d}$ );  $iLys$  é a ingestão de lisina ( $\text{mg/ave d}$ ), obtida de cada publicação, e  $km$  é a constante de manutenção de  $135,6 \text{ mg/kg}^{0,67}$ . A utilização para manutenção foi obtida a partir da multiplicação de  $km$  e  $P$ . Os valores de  $P$  em  $kg$  foram obtidos em cada publicação.

A deposição de Lys ( $dLys$ ) no corpo foi obtida multiplicando a deposição de proteína ( $dPD$ ) pela composição corporal em lisina ( $Lysc$ ), conforme a equação 4. A  $dPD$  foi calculada considerando a multiplicação entre o ganho de peso ( $GP$ ,  $g$ ) e a composição corporal em proteína bruta ( $PBc$ ). Os valores de  $GP$  foram obtidos em cada publicação.

$$dLys = dPD \times Lysc \quad (4)$$

Os valores de  $Lysc$  e  $PBc$  utilizados foram obtidos na literatura. Os valores de média para  $Lysc$  e  $PBc$  foram generalizados para toda fase de crescimento.

Uma forma para tornar o modelo acessível foi usar o  $GP$  como variável de entrada. Dessa forma, o requerimento de Lys ( $rLys$ ) obtido pela relação entre  $dLys$  e  $kLys$  foi expresso em  $\text{mg}$  por  $g$  de  $GP$ , como mostra a equação 5.

$$rLys = [dLys/kLys]/GP \quad (5)$$

O  $rLys$  é a quantidade em  $\text{mg}$  de Lys necessária para um ganho de  $1 g$  no peso corporal.  $dLys$ ,  $kLys$  e  $GP$  foram definidos anteriormente.

Ao final, a eficiência de utilização para crescimento de codornas foi determinada considerando os ajuste de cada modelo, de acordo com a seguinte equação:

$$k = [dLys/kg] \times 100 \quad (6)$$

### 3.3 PARAMETRIZAÇÃO E SELEÇÃO DOS MODELOS

Os modelos consistem no cálculo da  $iLys$  considerando a partição para manutenção e crescimento. A disposição do parâmetro relacionado à eficiência de utilização foi considerada de diferentes formas, sendo o modelo 1 (M1), o parâmetro  $kg$  representa uma constante independente de  $P$ , como a equação 7.

$$iLys_{jk} = km \times P^{0,67}_{jk} + kg \times GP_{jk} + e_{jk} \quad (7)$$

Onde  $iLys_{jk}$  é o valor da variável dependente para  $j$  observação no  $k$  estudo;  $P^{0,67}$  é o peso metabólico;  $GP$  é o ganho de peso ( $g/\text{dia}$ ), e  $e_{jk}$  é o erro residual;  $j = 1, 2, 3$ ;  $k = 1, 2, 3$ .  $km$  foi considerado o valor de  $135,6 \text{ mg/kg}^{0,67}$ .

Adicionalmente, a relação entre  $kg$  e  $P$  foi ajustada considerando como uma relação linear, polinomial quadrática e exponencial, conforme as equações 8, 9 e 10.

O modelo 2 (M2) considera a estimativa da exigência de crescimento como uma função polinomial de 2º, dependente do  $P$ . Os parâmetros  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  são constantes, como mostra a equação 8.

$$iLys_{jk} = km \times P^{0,67}_{jk} + [ \beta_1 + \beta_2 \times P_{jk} + \beta_3 \times P_{jk}^2 ] \times GP + e_{jk} \quad (8)$$

O modelo M3 considera a exigência de crescimento dependente linearmente do  $P$ . Os parâmetros  $\beta_1$  e  $\beta_2$  são constantes, conforme equação 9.

$$iLys_{jk} = km \times P^{0,67}_{jk} + [ \beta_1 + \beta_2 \times P_{jk} ] \times GP + e_{jk} \quad (9)$$

Modelo 4 (M4) considera que a exigência de crescimento diminui à medida que valor  $P$  aumenta, conforme equação exponencial 10. Os parâmetros  $\beta_1$  e  $\beta_2$  são constantes do modelo.

$$iLys_{jk} = km \times P^{0,67}_{jk} + [ \beta_1 \times P_{jk}^{\beta_2} ] \times GP + e_{jk} \quad (10)$$

Os parâmetros  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  foram ajustados com base nos estudos inseridos na base de dados.

### 3.4 AVALIAÇÃO DOS MODELOS

Os modelos foram submetidos à análise de resíduos como descrito por St-Pierre (2003). Os resíduos (observado – predito) foram regredidos em função dos valores previstos de acordo com o seguinte modelo:

$$r_i = b_0 + b_1 [ GP_i - GP_m ] + e_i \quad (11)$$

Em que  $r_i$  é o valor residual para toda observação  $i$ ;  $b_0$ ,  $b_1$  são as estimativas dos parâmetros;  $GP_i$  é o valor previsto para todo  $i$ ;  $GP_m$  é valor médio para de todos os valores previstos, e  $e_i$  é o erro da regressão dos resíduos sobre os valores previstos. A regra de decisão baseia-se no pressuposto que: o modelo, para ser imparcial, a correlação aproxima-se de 1 quando  $R^2$  ajustado aproxima-se de 0, ou seja, os resíduos não estão correlacionados às previsões, e a inclinação ( $b_1$ ) do  $e_i$  em função de  $GP_i$  é zero se o modelo é imparcial. Os parâmetros foram ajustados usando o procedimento NLMIXED no SAS (versão 9.4), considerando os estudos como efeito aleatório.

### 3.5 CRESCIMENTO DO CORPO E PENAS

O estudo foi conduzido no Setor de Avicultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Estadual Paulista (UNESP/FCAV), de acordo com os padrões éticos e aprovados pelo Comitê de Ética de Uso de Animais sob o protocolo 1107/2019.

Para descrever o crescimento das principais linhagens de codornas japonesas, foi conduzido um ensaio em delineamento inteiramente ao acaso, com três tratamentos, sete repetições, compostas por 10 aves, totalizando 210 aves recém-eclodidas, fêmeas. Os tratamentos consistiram das linhagens comerciais: Vicami, Fujikura e Estrela Gaúcha.

As aves foram alojadas em gaiolas de arame galvanizado com medidas 0,26 m × 0,37 m × 0,36 m, dispostas com comedouro tipo calha e bebedouro tipo nipple taça, com aquecimento artificial, por meio de lâmpadas infravermelho de 250W até os 21 dias de idade. O experimento foi realizado em câmara climática, onde, na primeira semana a temperatura ambiente foi mantida em 36 °C. Após esse período, a temperatura foi decrescente até o 15º dia de idade, atingindo os 28 °C em média. A partir dos 16 dias, continuou decrescendo até atingir o valor de 24°C, que foi mantido até os 60 dias de idade. As dietas foram formuladas para atender as exigências em energia e nutrientes de acordo com o preconizado por Rostagno et al. (2017). Os animais receberam ração e água *ad libitum* durante todo o período experimental.

Para obtenção do peso corporal, foram realizadas pesagens a cada cinco dias, do dia 1 aos 60 dias de idade. Para obtenção do peso de penas, foram realizadas pesagens a cada sete dias, do dia 3 aos 59 dias de idade. Todas as pesagens foram feitas com o auxílio de uma balança digital (0,001g). O peso de pena foi obtido por diferença entre o peso do corpo e peso do corpo livre de penas (CLP). A ave foi pesada e, em seguida, sacrificada com aprofundamento do plano anestésico. O peso do CLP foi obtido após depena completa e pesagem subsequente.

Para descrever o crescimento do corpo e penas das aves, utilizou-se a função Gompertz, conforme a descrição de Emmans (1981):

$$P = P_m \times e^{-e^{-(\ln(-\ln(P_i/P_m))) - B \times t}} \quad (12)$$

Onde P é o peso corporal no tempo t, em g; P<sub>m</sub> é o peso corporal na maturidade, em g; P<sub>i</sub> é o peso corporal ao nascimento, em g; B é taxa de maturidade, por dia; t é a idade, em dias; e é o número de Euler e ln é o log natural. Com base nos valores de P<sub>i</sub>, P<sub>m</sub> e B, foram calculados os respectivos valores da seguinte forma:

$$t^* = \ln[-\ln(P_i/P_m)]/B \quad (13)$$

Onde t\* é a idade para máxima taxa de crescimento. A taxa de crescimento absoluta (dP/dt, g/dia) foi calculada por diferenciação da função Gompertz, em que:

$$dP/dt=B \times P \times \ln(P_m/P) \quad (14)$$

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do pacote computacional SAS (Statistical Analysis System, versão 9.4), utilizando o procedimento PROC NLMIXED para ajustar os parâmetros da função Gompertz. Com base nos parâmetros obtidos pela função de Gompertz, foram estimadas as variáveis de entrada (P e GP), que foram integradas ao modelo selecionado para determinação da iLys (mg/ave/d), tornando o modelo dinâmico.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS ESTUDOS DE EXIGÊNCIA DE LISINA PARA CRESCIMENTO DE CODORNAS

A base de dados totalizou 17 artigos, selecionados de acordo com critérios preestabelecidos, que foram publicados em periódicos nacionais e internacionais entre 1993 e 2021 (Tabela 1).

Tabela 1. Número de artigos, citação, local do ensaio e tipo de codorna usada nos ensaios.

Número	Referência	País	Tipo
1	Barreto et al., 2006	Brasil	Europeia
2	Corrêa et al., 2010	Brasil	Europeia
3	Corrêa et al., 2007	Brasil	Europeia
4	Lima et al., 2016	Brasil	Japonesa
5	Ton et al., 2011	Brasil	Europeia
6	Hasanvand et al., 2017	Irã	Japonesa
7	Mehri et al., 2015	Irã	Japonesa
8	Hajkhodadadi et al., 2014	Irã	Japonesa
9	Reda et al., 2015	Egito	Japonesa
10	Moura et al., 2007	Brasil	Japonesa
11	Hajkhodadadi et al., 2013	Irã	Japonesa
12	Mehri et al., 2013	Irã	Japonesa
13	Attia et al., 2014	Egito	Japonesa
14	Barbour et al. 1993	Estados Unidos	Japonesa
15	Siqueira et al., 2021	Brasil	Europeia
16	Ionita et al., 2020	Romênia	Europeia
17	Silva et al., 2020	Brasil	Japonesa

Ao avaliar o local de origem dos estudos de exigência de lisina para codornas em crescimento (Tabela 1), foi possível observar que aproximadamente metade (47%) das publicações foram resultantes de estudos realizados no Brasil, seguido do Irã com 29%. Dentre os estudos contidos na base, 11 foram realizados com codornas do tipo japonesa (*Coturnix coturnix japonica*), e seis com codornas do tipo europeia (*Coturnix coturnix coturnix*), que correspondem a 65% e 35%, respectivamente. Muito embora o Brasil seja um grande multiplicador de codornas japonesas para produção de ovos, a maior parte dos estudos sobre exigência de lisina para crescimento foi realizada com codornas de corte. Nos demais estudos,

a situação foi inversa, a maior parte foi realizada com codornas japonesas, exceto o estudo realizado na Romênia.

Foram selecionados para a base de dados estudos dose-reposta, em que foram avaliados os efeitos dos níveis de lisina sobre o ganho de peso corporal e consumo de ração em codornas em crescimento. Os níveis de lisina testados, assim como níveis de proteína bruta e energia metabolizável utilizados para formular as dietas experimentais, estão contidos na Tabela 2.

Tabela 2. Níveis de lisina, proteína bruta (PB) e energia metabolizável (EM) em ensaios de exigências de lisina para codornas em crescimento.

Estudo	Níveis de Lisina (%)	PB (%)	EM (Kcal/kg)
1	0,9 - 1 - 1,1 - 1,2 - 1,3	20,14	2925
2	1,4, 1,5 - 1,6 - 1,7 - 1,8 - 1,9	25,29	2900
3	1,4 - 1,5 - 1,6 - 1,7 - 1,8 - 1,9	25,29	2900
4	0,88 - 0,98 - 1,08 - 1,18 - 1,28	20,06	2900
5	0,92 - 1,12 - 1,32 - 1,52	20,19	2800 – 2900 – 3000 - 3100
6	0,94 - 1,09 - 1,24 - 1,39 - 1,54	24	2900
7	0,99 - 1,14 - 1,29 - 1,44 - 1,59	25	2950
8	1 - 1,15 - 1,3 - 1,45 - 1,6 - 1,75	24	2890
9	1,3 - 1,45	22 - 23,5 - 25	2900 - 3000
10	0,9 - 1,05 - 1,2 - 1,35 - 1,5	20,7	2900
11	1- 1,15 - 1,3 - 1,45 - 1,6 - 1,75	24	2900
12	0,91 - 1,03 - 1,15 - 1,27 - 1,39 - 1,51	23	2940
13	1,04 - 1,17 - 1,3 - 1,43 - 1,56	24,02	2926
14	0,87 - 0,98 - 0,99 - 1,10 - 1,11 - 1,22 - 1,23 - 1,34 - 1,46	-	-
15	0,714 - 0,816 - 0,918 - 1,02 - 1,12	13,84 - 15,82 - 17,80 - 19,78 - 21,76	3050
16	1,35 - 1,5 - 1,58 - 1,8	22,2 - 23,2 - 24,8 - 26,4	3010 – 3140 - 3150
17	0,8 - 0,95 - 1,1 - 1,25 - 1,4	22,23	2900

As dietas, em sua maioria, têm como principais ingredientes milho e farelo de soja. O glúten de milho 60 foi o ingrediente que teve maior recorrência das dietas experimentais (BARRETO et al., 2006; MOURA et al., 2007; MEHRI et al., 2013; ATTIA et al., 2014; HAJKHODADADI et al., 2014; MEHRI et al., 2015; REDA et al., 2015; HASANVAND et al., 2017; Silva et al., 2020), seguido do trigo, que, quando utilizado, substituiu parcial ou

integralmente o milho em grão (MEHRI et al., 2013; MEHRI et al., 2015; HASAVAND et al., 2017).

A Tabela 3 apresenta a caracterização metodológica dos ensaios de exigências de lisina para codornas em fase de crescimento. O delineamento experimental utilizado para todos os ensaios foi o inteiramente ao acaso, logo, quatro estudos lançaram mão de tratamentos em arranjo fatorial. A duração média dos ensaios foi de 25 dias, variando de 14 até 42 dias. Em relação ao planejamento experimental dos ensaios para determinação de exigências de lisina para codornas, os valores mínimo e máximo para número de tratamento, repetição e animais por repetição variaram de 4 a 16; 2 a 10 e 9 a 100, respectivamente.

Tabela 3. Caracterização dos ensaios de exigências de lisina para codornas em crescimento

Itens	N	Média	Mínimo	Máximo	Amplitude
Níveis de lisina analisados (%)	1	1,42	1,05	1,8	0,75
Níveis de lisina calculados (%)	17	1,29	0,714	1,9	1,186
Animais/ensaio	12.774	608,29	80	1680	1600
Animais/tratamento	-	113,2	20	500	480
Animais/repetição	-	27,9	9	100	91
Número de tratamentos	112	6,6	4	16	12
Número de repetições	-	4,4	2	10	8
Período experimental (dias)	-	25,1	14	42	28
Recomendação de lisina (%)	17	1,35	0,8	1,75	0,95

Informações como níveis dietéticos de lisina analisados só constam em uma das publicações (Tabela 3), apenas o estudo de Hajkhodadadi et al. (2014), que analisou o conteúdo de lisina total das dietas. As diferenças no planejamento dos ensaios se mantêm quando se analisa as recomendações de lisina entre os estudos. Nesta revisão, foram encontrados modelos experimentais que consideram fatores limitantes de meio que alteram a exigência, como correção para utilização de manutenção.

A base foi composta por 135 resultados de dose de lisina e resposta de ganho de peso extraídos de 17 estudos. Dados não apresentados, como peso final, peso inicial e ganho de peso foram calculados quando na publicação se apresentava variáveis com relação direta. Para os casos, em que o estudo não apresentou dados suficientes para realizar o cálculo, as informações foram excluídas da base de dados. Na Tabela 4, é possível verificar que, apenas para ganho de peso, o espaço amostral foi de 135 observações, as demais variáveis não apresentaram o mesmo número de informações, especialmente, para peso corporal e consumo de ração.

Tabela 4. Variáveis de desempenho em ensaios de exigências de lisina para codornas em crescimento

Itens	N	Média	Mínimo	Máximo	Amplitude
Peso inicial (g)	120	40,47	6,4	184,4	178
Peso final (g)	120	151,8	27	314,43	287,43
Consumo de ração (g/ave/d)	120	18,01	8,42	43,66	35,24
Ganho de peso (g)	135	106,47	20,6	244,43	223,83
Conversão alimentar (g/g)	108	3,54	1,85	7,86	6,01
Ingestão de lisina (mg/ave/d)	117	240,54	62,12	690,03	627,91

A ausência destas informações (Tabela 4) dificulta uma análise robusta por impossibilitar o cálculo da ingestão de lisina e a quantificação da partição de lisina para manutenção do peso corporal, por isso, foram considerados como critérios essenciais e devido à ausência dessas informações três artigos foram excluídos da base durante o processo de avaliação e seleção. Inicialmente 20 artigos foram encontrados por meio da busca em bases de dados, dos quais dois não continham dados referentes ao peso das aves (SVACHA et al., 1970; ABBAS et al., 2016) e um apresentou duplicidade nas informações por ser uma reanálise de dados anteriormente publicados (CORRÊA et al., 2009).

Os dados referentes à composição corporal de codornas estão apresentados na Tabela 5. Apesar da importância destas informações, apenas dois estudos avaliaram a composição corporal das aves (TON et al., 2011; SIQUEIRA et al., 2021). Os dois estudos foram realizados com codornas de corte, portanto, para codornas especializadas para produção de ovos, inexistem essas informações.

Tabela 5. Composição corporal de codornas em ensaios de exigências de lisina para codornas em crescimento

Itens	N	Média	Mínimo	Máximo	Amplitude
Proteína (%) <sup>1</sup>	1	18,19	17,70	18,46	0,76
Gordura (%) <sup>1</sup>	1	11,71	11,25	12,28	1,03
Água (%) <sup>1</sup>	1	67,06	66,35	67,88	1,53
Cinzas (%) <sup>1</sup>	1	2,90	2,79	2,97	0,18
% de penas <sup>2</sup>	1	5,72	5,48	5,88	0,4

1. Dados coletados de Ton et al. (2011)

2. Dados coletados de Siqueira et al. (2021)



## 4.2 INTERAÇÃO ENTRE NÍVEIS DE LISINA E ESTUDOS

Generalizações têm sido comum em estudos de modelagem e meta-análise e, nesta pesquisa, foi necessário para aumentar o poder de interpretação dos dados, conforme verifica-se na Tabela 6. As variáveis dPB, dLys e rLys foram calculadas a partir das informações disponíveis nas publicações e, juntamente com CR, GP e CA, foram analisadas considerando o efeito da concentração de lisina na dieta, estudo e interação entre eles. Houve efeito dos níveis ( $P < 0,001$ ), exceto para CR e rLys (Tabela 6). Não houve efeito de estudo ( $P > 0,05$ ) e a interação foi significativa entre níveis de lisina e estudo ( $P < 0,001$ ). Os resultados obtidos suportam a investigação por confirmar que a lisina afetou as respostas das aves. Adicionalmente, a interação verificada revela a necessidade de procedimentos que permitam generalizações dos resultados, uma vez que os estudos têm grande diversidade no planejamento, especialmente no período experimental, que tem relação direta com aumento do peso corporal durante a experimentação.

O resultado obtido para rLys mostrou que as correções da iLys para manutenção do peso corporal e a relativização para unidade de GP aplicado no rLys anularam o efeito da lisina, permitindo generalizações. Entretanto, não foi suficiente para anular o efeito de interação, evidenciando que os valores de rLys variaram consideravelmente entre os estudos. Considerar rLys como dependente do estudo foi um resultado oposto ao objetivo desta pesquisa, portanto, a relação entre rLys e P foi modelada considerando relação linear, quadrática e exponencial, com objetivo de encontrar uma forma sustentável para generalizar os estudos de rLys.

Tabela 6. *p-value* das variáveis avaliadas em estudos com codornas em crescimento

Resposta	Lisina na dieta	Estudo	Lisina × Estudo
CR	>0,05	>0,05	<0,001
GP	<0,001	>0,05	<0,01
CA	<0,001	>0,05	<0,05
dPB	<0,001	>0,05	<0,01
dLys	<0,001	>0,05	<0,01
rLys	>0,05	>0,05	<0,001

CR = consumo de ração; GP = ganho de peso; CA = conversão alimentar; dPB = deposição de proteína corporal; dLys = deposição de lisina; rLys = requerimento de lisina.

#### 4.3 EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO E EXIGÊNCIA DE LISINA PARA GANHO

A eficiência de utilização consiste na relação entre deposição e ingestão de lisina. O valor médio de dLys foi 9,10 mg Lys por g de proteína, retirado de três estudos previamente publicados (NASR et al., 2017; SABOW, 2019; NASR et al., 2019). O rLys é a quantidade em mg de Lys necessária para 1 g de ganho de no peso corporal. O valor médio de rLys foi 32 mg por g de GP, que corresponde a uma eficiência de utilização de 28,4% (9,1/32). Inicialmente, este valor foi generalizado para todo P. Relacionar os valores de rLys em função do peso corporal resultou em aumento nos valores de eficiência de utilização da lisina de 28,4% para 31,8% quando o ajuste foi linear ( $rLys = 13,13 + 0.12 \times P$ ,  $R^2 = 58\%$ ); de 28% para 32,0% quando o ajuste foi polinomial quadrático ( $rLys = 9.62 + 0.17 \times P - 0.00014 \times P^2$ ,  $R^2 = 58\%$ ), e de 28% para 33,2% quando o ajuste foi exponencial ( $rLys = 1,64 \times P^{0,59}$ ,  $R^2 = 97\%$ ).

#### 4.4 AVALIAÇÃO DOS MODELOS PARA ESTIMAR A INGESTÃO DE LISINA

Quatro modelos foram estruturados para calcular a iLys, considerando o somatório de demanda para manutenção do P e crescimento medido pelo GP (Tabela 7). A exigência de manutenção foi calculada utilizando a mesma base para os quatro modelos ( $135,6 \times P^{0,67}$ ). Para a exigência de crescimento, foram utilizadas as funções para estimar rLys e, em seguida, foram multiplicados pelo de GP de cada observação. Dessa forma, foram obtidos os valores preditos de iLys, sendo o resíduo obtido pela diferença entre o valor observado na publicação menos o valor predito por cada modelo. As estatísticas para análise de resíduo encontram-se na Tabela 7. O M1 apresentou as melhores estatísticas de ajuste dentre os demais modelos avaliados.

Tabela 7. Avaliação dos modelos para estimar a ingestão de lisina para codornas em crescimento

Modelos	R <sup>2</sup>	<i>e</i>	<i>b</i> <sub>0</sub>	<i>P</i> -value	<i>b</i> <sub>1</sub>	<i>P</i> -value	Viés de predição (%)	1-R <sup>2</sup>
M1	0,0005	38,153	2,615	0,953	-0,018	0,932	0,05	0,999
M2	0,2686	24,062	36,312	0,085	-0,194	0,055	0,81	0,731
M3	0,2653	23,882	36,139	0,085	0,204	0,041	0,85	0,735
M4	0,2353	23,921	35,705	0,089	-0,191	0,057	0,80	0,765

R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação; *e* = erro; *b*<sub>0</sub> = intercepto; *b*<sub>1</sub> = viés de predição.

M1:  $iLys = 135,57 \times P^{0,67} + 32 \times GP$

M2:  $iLys = 135,57 \times P^{0,67} + (13,13 + 0.12 \times P) \times GP$

M3:  $iLys = 135,57 \times P^{0,67} + (9.62 + 0.17 \times P - 0.00014 \times P^2) \times GP$

M4:  $iLys = 135,57 \times P^{0,67} + (1,64 \times P^{0,59}) \times GP$

O M1 apresentou menor viés de predição e maior imparcialidade, ou seja, os resíduos não estão correlacionados com as predições (Tabela 7). Considerando as estatísticas de avaliação do resíduo, ao tentar modelar a rLys em função do P, estado fisiológico do animal, o viés de predição aumentou consideravelmente para os modelos M2 (linear), M3 (polinomial quadrático) e M4 (exponencial) em relação ao M1. De modo que o modelo M1 apresenta melhor capacidade preditiva para ingestão de lisina, mesmo considerando o valor de rLys, independente de P.

Os modelos desenvolvidos foram aplicados utilizando os dados de P e GP de alguns dos estudos que compõem a base de dados. Os modelos M2, M3 e M4 subestimaram a iLys, enquanto o M1 apresentou maior aproximação dos valores observados (Tabela 8).

Tabela 8. Predição da ingestão de lisina baseada em estudos publicados

	Siqueira et al. 2021 <sup>1</sup>	Hajkhodadadi et al. 2014 <sup>2</sup>	Corrêa et al. 2010 <sup>3</sup>	Lima et al. 2016 <sup>4</sup>
iLys observada	68,93	326,56	165,76	135,04
Modelos	iLys predita			
M1: $iLys = 135,57 \times P^{0,67} + 32 \times GP$	118,11	248,77	212,39	135,26
M2: $iLys = 135,57 \times P^{0,67} + (13,13 + 0,12 \times P) \times GP$	71,37	137,75	107,27	76,30
M3: $iLys = 135,57 \times P^{0,67} + (9,62 + 0,17 \times P - 0,00014 \times P^2) \times GP$	62,69	117,17	87,75	65,35
M4: $iLys = 135,57 \times P^{0,67} + (1,64 \times P^{0,59}) \times GP$	40,65	65,95	37,87	37,42

1.  $P^{0,67} = 0,29$ ; GP = 2,48 (g/dia);

2.  $P^{0,67} = 0,44$ ; GP = 5,9 (g/dia);

3.  $P^{0,67} = 0,25$ ; GP = 5,58 (g/dia);

4.  $P^{0,67} = 0,26$ ; GP = 3,13 (g/dia).

Os estudos apresentados na tabela 8 foram realizados com aves de ambos os sexos e contemplam diferentes fases do crescimento de codornas: 21 a 35 dias (SIQUEIRA et al., 2021), 24 a 42 dias (HAJKHODADADI et al. 2014), 1 a 21 dias (CORRÊA et al., 2010), e 1 a 40 dias de idade (LIMA et al., 2010).

A capacidade preditiva do modelo M1 também foi testada ao comparar os valores preditos com o modelo apresentado nas Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (2017):  $iLys = 70 \times P^{0,75} + 20 \times GP$  (Tabela 9).

Tabela 9. Predição da ingestão de lisina usando modelo elaborado nesta pesquisa e o modelo da Tabela Brasileira para Aves e Suínos (TBAS)

	Siqueira et al., 2021	Hajkhodadadi et al., 2014	Corrêa et al., 2010	Lima et al., 2016	
Variáveis					
P	153,97	295,98	125,98	133,1	
GP	2,48	5,9	5,58	3,13	
iLys	68,93	326,56	165,76	135,04	
Modelos					
M1	118	249	213	135	
TBAS	67	146	126	78	
Diferença					Erro
M1	-49	78	-47	0	26
TBAS	2	180	39	57	48

M1:  $iLys = 135,57 \times P^{0,67} + 32 \times GP$ , elaborado nesta pesquisa.

TBAS:  $iLys = 70 \times P^{0,75} + 20 \times GP$ , obtido de Rostagno et al. (2017).

Ao avaliar as estatísticas de ajustes e seleção dos modelos, o modelo M1 apresentou melhor capacidade preditiva para iLys, fato comprovado ao comparar os resultados obtidos por esse modelo com o apresentado nas Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (Tabela 9). Ao analisar o erro médio dos resultados obtidos pelos dois modelos, é observado que o erro do modelo das TBAS foi 45,8% maior que o erro do M1.

O coeficiente de Lys para manutenção do corpo das TBAS é 70 mg/kg  $P^{0,75}$ , sendo relativamente menor que o do modelo M1, que é de 135,57 mg/kg  $P^{0,67}$ . De forma semelhante, o coeficiente para GP é de 20 mg/g de ganho, valor menor que o do modelo desenvolvido nesse estudo, que é de 32 mg/g de ganho. A eficiência de utilização utilizada nas TBAS é de 45,5%, ou seja, maior que a eficiência do M1, de 28,4%. Ao analisar essas informações, verifica-se que os menores valores dos coeficientes de manutenção e ganho de peso do modelo da TBAS proporcionaram maior aproximação quando os valores de P e GP foram menores e, na medida em que os valores de P e GP aumentaram, o erro da predição também aumentou.

#### 4.5 CRESCIMENTO DO CORPO E PENAS

Com base na relação entre peso e idade, foi estimado os parâmetros para crescimento corporal da função Gompertz, apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Parâmetros da função Gompertz ajustados para peso corporal de três linhagens comerciais de codornas japonesas

Parâmetros	Linhagens		
	Vicami	Fujikura	Estrela Gaúcha
Peso ao nascimento, g	6,01	6,06	5,71
Peso à maturidade, g	158,6	167,5	174,6
Taxa de maturação, por dia	0,0694	0,0677	0,0647
Idade de máxima taxa de crescimento, dia	17	18	19

Dentre as linhagens estudadas, a Estrela Gaúcha apresentou  $P_i$  relativamente menor, contrastando com o maior  $P_m$  em relação às demais, o que justifica o menor valor de  $B$ , ou seja, essa linhagem apresenta tempo maior para atingir a maturidade em relação às demais. Os resultados apresentam variação de 9,2% de  $P_m$  entre Vicami e Estrela Gaúcha; 5,3% entre Vicami e Fujikura e 4,1% entre Fujikura e Estrela Gaúcha. O máximo crescimento absoluto ocorre com diferença de 2 dias entre as linhagens Vicami e Estrela Gaúcha, e 1 dia entre Vicami e Fujikura, e Fujikura e Estrela Gaúcha, demonstrando que a última foi mais tardia em relação às demais.

Na Figura 1, estão apresentadas as curvas de crescimento do corpo de codornas de diferentes linhagens, elaboradas com os parâmetros ajustados da função Gompertz. Conforme demonstrado na Figura 1 (b), a taxa de crescimento absoluta aumenta até determinado valor máximo ( $t^*$ ), e posteriormente decresce, tendendo a 0 quando  $P$  se aproxima de  $P_m$ .

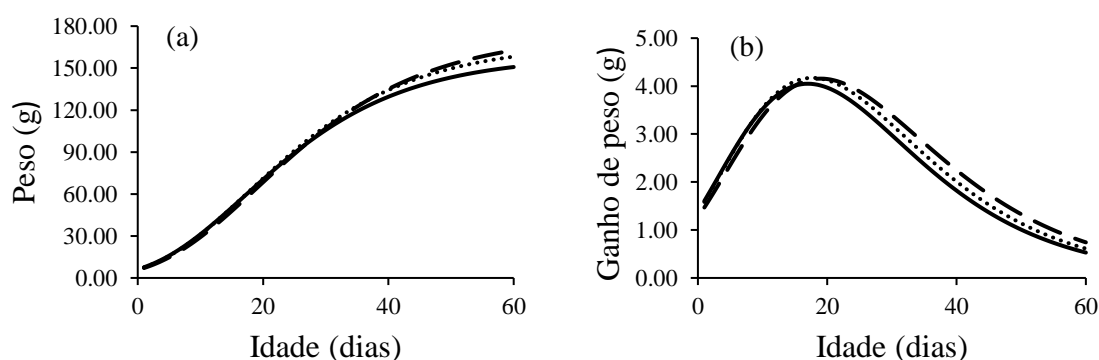


Figura 1. Crescimento do corpo de diferentes linhagens de codorna japonesa. (a): Relação entre peso corporal (g) e idade (dias). (b): Relação entre ganho de peso (g) e idade (dias). Dados: (——) Vicami, (.....) Fujikura e (— —) Estrela Gaúcha.

As diferenças observadas para crescimento de corpo são decorrentes dos genótipos, visto que podem diferir em vários aspectos que podem afetar suas curvas de crescimento, entre

eles, estão tamanho, composição corporal, incluindo teor de gordura e as taxas de maturação dos componentes químicos do corpo.

Com base na relação entre peso de pena e idade, foram estimados os parâmetros para crescimento de penas da função Gompertz, apresentados na Tabela 11.

Tabela 11. Parâmetros da função Gompertz ajustados para peso de penas de três linhagens comerciais de codornas japonesas

Parâmetros	Linhagens		
	Vicami	Fujikura	Estrela Gaúcha
Peso de pena ao nascimento, g	0,268	0,287	0,186
Peso de pena à maturidade, g	8,95	9	9,10
Taxa de maturação, por dia	0,1031	0,1057	0,1199
Idade de máxima taxa de crescimento, dia	12,18	11,7	11,33

A taxa de maturidade da pena em relação ao corpo foi maior para todas as linhagens. De acordo com a função Gompertz, quanto maior o valor do parâmetro B, maior será a taxa de crescimento absoluta, portanto, espera-se, com base nesse resultado, que a demanda por nutrientes para suportar o potencial genético de crescimento das penas ocorra antes da maior demanda do corpo. O peso da pena na maturidade para a linhagem Vicami representa cerca de 5,6% do peso corporal, enquanto, para as linhagens Fujikura e Estrela Gaúcha, esse peso representa 5,4% e 5,2%, respectivamente. O máximo crescimento absoluto ocorre próximo ao 12º dia de idade, de 5 a 7 dias antes do máximo crescimento do corpo.

Na Figura 2, estão apresentadas as curvas de crescimento de penas de codornas em crescimento de diferentes linhagens, elaboradas com os parâmetros ajustados da função Gompertz. O perfil de crescimento de penas das linhagens foi semelhante.

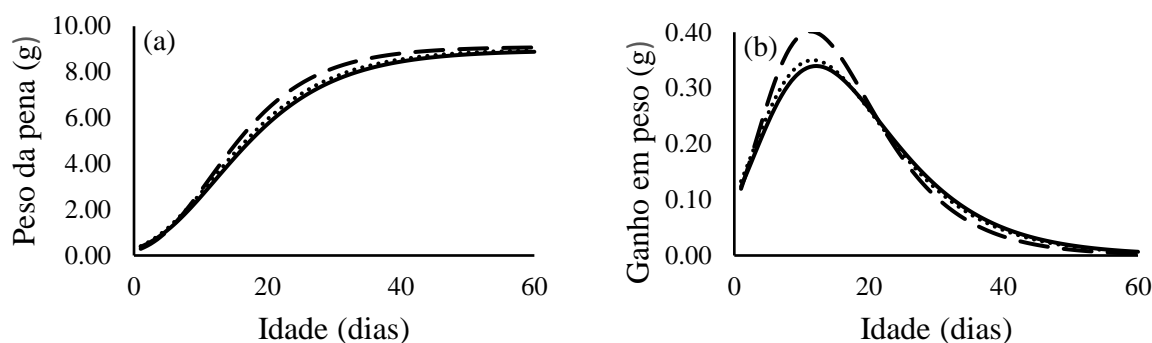


Figura 2. Crescimento de penas de diferentes linhagens de codorna japonesa. (a): Relação entre peso de pena (g) e idade (dias). (b): Relação entre ganho em peso de pena (g) e idade (dias). Dados: (——) Vicami, (.....) Fujikura e (— —) Estrela Gaúcha.

Com base nos parâmetros ajustados obtidos pela função Gompertz para as três linhagens de codornas estudadas, foram ajustados os modelos M1 e o modelo das TBAS, tornando-os dinâmicos, viabilizando a predição da exigência de Lys por dia, e não apenas por fase. Na Tabela 12, é possível observar os valores preditos por ambos os modelos em intervalos de 5 dias durante o período de crescimento.

Tabela 12. iLys predita pelos modelos M1 e modelo da TBAS com base nos dados obtidos pela função Gompertz

Idade	Vicami		Fujikura		Estrela Gaúcha	
	M1	TBAS	M1	TBAS	M1	TBAS
5	89,69	53,48	89,06	53,47	83,37	50,02
10	125,97	75,33	126,61	75,99	120,72	72,43
15	146,56	87,49	149,43	89,38	145,89	87,27
20	149,89	88,98	155,05	92,13	155,18	92,31
25	140,75	82,76	147,51	86,81	151,16	89,15
30	125,32	72,69	132,79	77,12	138,91	80,98
35	108,40	61,76	115,81	66,14	123,20	70,75
40	92,75	51,70	99,63	55,75	107,29	60,51
45	79,59	43,25	85,70	46,84	92,99	51,34
50	69,12	36,55	74,42	39,64	80,99	43,68
55	61,10	31,41	65,64	34,04	71,38	37,54
60	55,10	27,58	58,98	29,80	63,90	32,78

Assim como demonstrado na Tabela 9, o modelo das TBAS estima valores menores para iLys em relação ao M1. De modo geral, os resultados para iLys mostraram que a ingestão aumenta gradativamente até os 25 dias de idade, e decresce após esse período, quando o animal se aproxima da maturidade.

Os objetivos propostos nesta pesquisa foram atendidos. A base de dados foi composta por artigos publicados nas últimas três décadas, totalizando 135 observações de ganho de peso

oriundas de 12.774 codornas em crescimento, que fizeram parte de 17 estudos dose-resposta sobre exigência de Lys. Dois artigos não apresentaram informações sobre peso corporal, inviabilizando a extração de dados dos estudos (SVACHA et al., 1970; ABBAS et al., 2016). O estudo de Corrêa et al. (2009) consistiu em uma reanálise, portanto, foram incluídos apenas os dados Corrêa et al. (2007) e Corrêa et al. (2010) para evitar duplicidade de informação na base de dados.

A revisão mostrou que, apesar do Brasil ter expressão no setor de produção de ovos usando codornas japonesas, a produção científica sobre a exigência de lisina tem sido desenvolvida com aves melhoradas para corte. Muito embora as conclusões dos estudos realizados com aves de corte ou postura resultem em recomendações para crescimento, espera-se que a composição do ganho de peso seja diferente para as aves de corte e postura, conseqüentemente, a exigência do aminoácido também. Um limitante para compreender as diferenças entre as aves de corte e postura tem sido a falta de estudos sobre composição corporal. Nesta pesquisa, foi encontrado apenas um estudo (TON et al., 2011) que foi utilizado como base para os calcular deposição de proteína e lisina. Para concentração de lisina na proteína, o valor médio foi de 9,10 mg Lys por g de proteína (NASR et al., 2017; SABOW, 2019; NASR et al., 2019), este valor é maior do que o relatado para frangos e poedeiras de 7,5 mg/g (EMMANS, 1989; MARTIN et al., 1994).

A eficiência de utilização é o componente do modelo que exerce maior impacto sobre o cálculo da ingestão do aminoácido e, nesta pesquisa, foi de 28,4%, menor do que o valor de Siqueira et al. (2021), que foi de 46%. De acordo com estudos realizados com codornas, esses animais são menos eficientes na utilização de recursos nutricionais, como energia (SILVA et al., 2020b) e aminoácidos (SARCINELLI et al., 2020; SILVA et al., 2019). A diferença da eficiência de utilização entre codornas japonesas e poedeiras comerciais para aminoácidos (ROSTAGNO et al., 2017), foi de mais de 50%. Apesar do baixo valor encontrado nesta pesquisa (28,4%), quando utilizado para predizer as respostas da base de dados, foi o modelo que teve melhor precisão. O modelo exponencial apresentou maior valor de eficiência (33,2%), entretanto, não foi o que teve o melhor desempenho quando analisado os resíduos da predição. Acredita-se que o aumento do número de estudos analisando o conteúdo de aminoácidos das dietas experimentais possa contribuir para estabelecer uma interpretação mais apropriada sobre a eficiência de utilização. Neste estudo, a validação foi baseada unicamente na capacidade preditiva do modelo, portanto, o valor de 23% ou 32 mg/g possibilitou maior aproximação entre observação e predição. Para o atual estado da arte, foi o resultado possível, mas, para a



interpretação biológica, pode ser considerado como um problema a ser resolvido por estudos futuros.

Para modelar as exigências de aminoácidos para aves, são necessárias informações confiáveis sobre a digestibilidade de aminoácidos, exigências para manutenção e eficiências de utilização (EDWARDS et al., 1999). Para codornas, ainda é preciso consolidar digestibilidade de aminoácidos e exigências de manutenção. Imprecisões ao estimar a eficiência da utilização tem grande impacto nos programas de alimentação, visto que a ave e as exigências para ganho de proteína corporal são diretamente afetadas por tais valores (NOGUEIRA et al., 2021).

O modelo fatorial foi estruturado usando a exigência de Lys para manutenção de Silva et al. (2019), eficiência de utilização obtida no estudo meta-analítico e nas curvas de crescimento das principais linhagens do codornas japonesas utilizadas no Brasil. Esta pesquisa foi a primeira a descrever o crescimento das linhagens utilizadas no Brasil e, quando integrado ao modelo fatorial elaborado nesta pesquisa, possibilitou calcular a ingestão de lisina diariamente.

Diferentemente, de frangos e poedeiras, os estudos com linhagens de codornas japonesas ainda são recentes e escassos. De acordo com a revisão sistemática de Carvalho et al. (2020), o perfil da codorna japonesa utilizada no Brasil tem sido diferente dos demais países que tem tradição da criação dessas aves. No Brasil, a codorna japonesa vem sendo melhorada para consolidar um tipo de ave especializada para postura, enquanto nos demais países, especialmente, na Ásia, a tendência tem sido em produzir uma ave com aptidão para ovos e carne, o que ratifica a necessidade de conhecer o crescimento das linhagens utilizadas no Brasil para ser assertivo no cálculo da ingestão de lisina. Nesse sentido, a linhagem Vicami foi a mais precoce e tem o menor peso corporal na maturidade. Por outro lado, a idade de máxima taxa de crescimento se aproximou entre as três linhagens (Vicami, Fujikura e Estrela Gaúcha) por volta dos 18 dias idade. Tal informação é importante, porque quanto maior o valor do parâmetro B, maior será a taxa de crescimento absoluta, acarretando maior atenção no cálculo da ingestão de aminoácido.

Em relação ao crescimento de penas, Emmans (1989) descreve que a partição em exigência de manutenção para penas existe e que é necessário distinguir o crescimento do corpo do crescimento das penas. À medida que a ave se desenvolve, a proporção de proteína da pena no ganho total de proteína muda, e isso precisa ser levado em consideração no cálculo das exigências de aminoácidos. Muito embora tenha sido apresentado o crescimento de penas, nesta pesquisa, não foi utilizado como variável de entrada no modelo para prever a ingestão de lisina pela ausência de informações na literatura para validar o as estimativas.

## 5 CONCLUSÃO

Ao caracterizar os ensaios de exigências para codornas em crescimento, foi possível perceber que há diversidade entre os estudos. A eficiência de utilização de Lys para codornas em crescimento foi calculada em 28,4%. A exigência de 32 mg/g de ganho de peso, juntamente com a constante para manutenção  $135,57 \text{ mg por kg}^{0,67}$ , pode ser usada para determinação direta da ingestão de lisina para codornas em crescimento. A descrição do crescimento mostrou que as linhagens Fujikura, Vicami e Estrela Gaúcha apresentaram diferenças que devem ser consideradas na elaboração de programa alimentares.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBAS, Y. et al. Effect of different dietary lysine regimens on the growth performance and economic efficiency of japanese quails. **The Journal of Animal & Plant Sciences**, v. 26, n. 2, p.315-319, 2016.
- AHMADI, H.; RODEHUTSCORD, M. A meta-analysis of responses to dietary nonphytate phosphorus and phytase in laying hens. **Poultry Science**, v. 91, n. 8, p. 2072–2078, 2012.
- ANDRETTA, I. et al. Meta-analysis of the relationship between ractopamine and dietary lysine levels on carcass characteristics in pigs. **Livestock Science**, v. 143, p. 91–96, 2012.
- ANVARI, D. et al. The global status of *Dirofilaria immitis* in dogs: a systematic review and meta-analysis based on published articles. **Research in Veterinary Science**, v. 131, p. 104–116, 2020.
- ATTIA, A.A., et al. Lysine requirements of growing japanese quails under egyptian conditions 1-winter season. **Zagazig J. Agric. Res.**, v. 41, n.2, p. 285-290, 2014.
- BAKER, D. H. Problems and pitfalls in animal experiments designed to establish dietary requirements for essential nutrients. **The Journal of Nutrition**, v. 116, n. 12, p. 2339- 2349, 1986.
- BAKER, D.H.: HAN, Y. Ideal amino acid profile for chickens during the first three weeks posthatching. **Poultry Science**, v. 73, p. 1441-1447, 1994.
- BARBOUR, G.W., NESTOR, K.E. and LILBURN, M.S. The effect of different levels of dietary lysine on growth and development of a random-bred population of japanese quail (rl) and a subline of rl selected for increased body weight (hw). **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology**, v. 105, n. 1, p. 183-186, 1993.
- BARRETO, S.L.T. et al. Exigência nutricional de lisina para codornas européias machos de 21 a 49 dias de idade. **R. Bras.de Zootec.**, v. 35, n. 3, p.750-753, 2006.
- BERTECHINI, A. G. **Nutrição de monogástricos**. Lavras: Editora UFLA, 2012.
- BOEMO, L. S. et al. Estudo meta-analítico de diferentes níveis de aflatoxinas no desempenho de frangos de corte de 1 a 21 dias alojados em baterias. **Acta Scientiae Veterinariae**, v. 43, n. 1317, p. 1–4, 2015.
- BORENSTEIN, M. et al. **Introduction to Meta-Analysis**. John Wiley and Sons, 2009.
- BURNHAM, D., GOUS, R. M. Isoleucine requirements of the chicken: requirement for maintenance. **British Poultry Science**, Abington, v.33, p.59-69, 1992.
- CARVALHO, L. C., et al. Genetic growth potential characterization in the Japanese quail: a meta-analysis. **Animal**, v. 14, p. 341-347, 2020.
- CHAMPE, P.C et al. **Bioquímica ilustrada**. 4ª Edição. Porto Alegre: Artmed, 2009. 510p.

CORRÊA, G.S.S., et al. Desempenho de codornas de corte EV1 alimentadas com diferentes níveis de lisina na dieta. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v. 59, n.6, p.1545-1553, 2007.

CORRÊA, G.S.S. et al. Efeito da interação grupo genético x nível de lisina sobre características de desempenho de codornas Coturnix coturnix de corte no período de crescimento. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.61, n.6, p.1382-1390, 2009.

CORRÊA, G.S.S., et al. Relação entre os níveis de lisina da dieta e as características de desempenho de codornas de corte EV2, durante o período de crescimento. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v. 62, n.4, p. 930-939, 2010.

DORIGAM, J. C. P. D. et al. Alternative procedure for determining lysine maintenance requirement in poultry. **R. Bras. Zootec.**, v. 49, 2020.

EDWARDS, H.M.; FERNANDEZ, S.R.; BAKER, D.H. Maintenance lysine requirement and efficiency of using lysine for accretion of whole-body lysine and protein in Young chicks. **Poultry Science**, Savoy, v.78, p.1412-1417, 1999.

EMMANS, C. G. The growth of turkeys. In: NIXEY, C. G., T.C., Recent Advances in Turkey Science, 1989. London, Butterworths. Poultry Science Symposium. p.135-66.

EMMANS, G.C. Problems in modeling the growth of poultry. **World's Poultry Science Journal**. v. 51, p76-89. 1995.

FAGERLAND, M. W. Evidence-Based Medicine and Systematic Reviews. In: LAAKE, P.; BENESTAD, H. B.; OLSEN, B. R. **Research in Medical and Biological Sciences**. 2 ed. Academic press, 2015. p. 431-461.

FALCONE, D. B. et al. Meta-análise como ferramenta para estimar a viabilidade de coprodutos utilizados em dietas para coelhos. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.3, p. 30608-30615, 2021.

FARUK, M. U.; ROOS, F. F.; CISNEROS-GONZALEZ, F. A meta-analysis on the effect of canthaxanthin on egg production in brown egg layers. **Poultry Science**, v. 97, n. 1, p. 84-87, 2018.

GLASS, G. V. Primary, secondary and meta-analysis of research. **American Educational Research Association**, vol. 5, n. 10, p. 3-8, 1976.

GOUS, R. et al. Evaluation of the parameters needed to describe the overall growth, the chemical growth, and the growth of feathers and breast muscles of broilers. **Poultry Science**, v. 78, n. 6, p. 812-821, 1999.

HAJKHODADADI, I., et al. Effect of dietary lysine on performance and immunity parameters of male and female Japanese quails. **African Journal of Agricultural Research**, 8(1):113-118, 2013.

HAJKHODADADI, I., et al. Lysine requirements of female Japanese quails based on performance and carcass variables from twenty-one to forty-two days of age. **Iranian Journal of Applied Animal Science**, v. 4, n.3, p. 629-635, 2014.

HASANVAND, S., et al. Estimation of lysine requirements for growing Japanese quails. **J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.**, v.100, n. 2, p.557-563, 2017.

HAUPTLI, L.; LOVATTO, P. A.; HAUSCHILD, L. Comparação da adição de extratos vegetais e antimicrobianos sintéticos para leitões na creche através de meta-análise. **Ciência Rural**, v. 37, n. 4, p. 1084–1090, 2007.

HAUSCHILD, L. et al. Systematic comparison of the empirical and factorial methods used to estimate the nutrient requirements of growing pigs. **Animal**, v. 4, n. 05, p. 714- 723, 2010.

IONITA, L., et al. Study on the influence of lysine and methionine essential amino acid supplementation of compound feed recipes on growth and slaughter performance in jumbo meat quails between 1 and 56 days. **Animal Science and Biotechnologies**, v. 53, n. 2, p. 8-16, 2020.

LEVEILLE, G.A.; FISHER, H. Amino acid requirements for maintenance in the adult rooster II. The requirements for glutamic acid, histidine, lysine and arginine. **The Journal of Nutrition**, Bethesda, v.69, p.289-294, 1959.

LEVEILLE, G. A.; FISHER, H. Amino acid requirement for maintenance in the adult rooster: III. The requirements for leucine, isoleucine, valine and threonine, with reference also to the utilization of the d-isomers of valine, threonine and isoleucine. **The Journal of Nutrition**, v. 70, n. 2, p. 135-140, 1960.

LIMA, et al. Digestible lysine requirement for growing Japanese quails. **J. Appl. Poult. Res.**, v. 25, p. 483–491, 2016.

LIU, L. et al. Heat stress impacts on broiler performance: a systematic review and meta-analysis. **Poultry Science**, v. 99, p.6205–6211, 2020.

LOVATTO, P. A et al. Meta-análise em pesquisas científicas - enfoque em metodologias. **R. Bras. Zootec.**, v.36, p.285-294, 2007.

MARTIN, P. A. et al. A formal method of determining the dietary amino acid requirements of laying type pullets during their growing period. **British Poultry Science**, v. 35, n. 5, p. 709-724, 1994.

MARTINEZ-GARCIA, E. et al. A meta-analysis approach to the effects of fish farming on soft bottom polychaeta assemblages in temperate regions. **Marine Pollution Bulletin**, v. 69, p. 165–171, 2013.

MEHRI, M., et al. Estimation of optimal lysine in quail chicks during the second and third weeks of age. **Italian Journal of Animal Science**, v. 12, n.84, p. 518-522, 2013.

MEHRI, M., BAGHERZADEH-KASMANI, F., and ASGHARI-MOGHADAM, M. Estimation of lysine requirements of growing Japanese quail during the fourth and fifth weeks of age. **Poultry Science**, v. 94, n. 8, p.1923–1927, 2015.

MIGNON-GRASSTEAU, S. et al. Robustness to chronic heat stress in laying hens: A meta-analysis. **Poultry Science**, v. 94, n. 4, p. 586–600, 2014.

MOURA, A. M. A. et al. Exigência de lisina para codornas japonesas (*coturnix japonica*) na fase de cria. **Ciênc. agrotec.**, 31(4):1191-1196, 2007.

NASCIMENTO, G. A. J. et al. Equações de predição para estimar valores da energia metabolizável de alimentos concentrados energéticos para aves utilizando meta-análise. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.63, n.1, p.222-230, 2011.

NASR, M. A. F., ALI, E.M.R. AND HUSSEIN, M.A. J. Performance, carcass traits, meat quality and amino acid profile of different Japanese quails strains. **Food Sci. Technol.** v. 54, n.13, p. 4189–4196, 2017.

NASR, M. A. F., et al. Does light intensity affect the behavior, welfare, performance, meat quality, amino acid profile, and egg quality of Japanese quails?. **Poultry Science**, v. 98, n.8, p. 3093–3102, 2019.

NOGUEIRA, B. R. F. et al. Modelling Broiler Requirements for Lysine and Arginine. **Animals**, v. 11, n.10, p.2914-2931, 2021.

NONIS, M. K., GOUS, R. M. Threonine and lysine requirements for maintenance in chickens. **South African Journal of Animal Science**, v. 38, n. 2, p. 75-82, 2008.

OVIEDO-RONDÓN, E. O.; WALDROUP, P. W. Models to estimate amino acid requirements for broiler chickens: A Review. **International Journal of Poultry Science**, v. 5, p. 106-113, 2002.

PESTI, G. M. et al. A comparison of methods to estimate nutritional requirements from experimental data. **British Poultry Science**, Abington, v. 50, p. 16 - 32, 2009.

PETITTI, D. B. Approaches to heterogeneity in meta-analysis. **Statistics in Medicine**, v. 20, p. 3625–3633, 2001.

REDA, F.M., et al. Effects of dietary protein, energy and lysine intake on growth performance and carcass characteristics of growing japanese quails. **Asian Journal of Poultry Science**, v. 9, n. 3, p. 155-164, 2015.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos: Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais**. Viçosa: UFV, 4 ed., 488 pp, 2017.

SABOW, A. B. Carcass characteristics, physicochemical attributes, and fatty acid and amino acid compositions of meat obtained from different Japanese quail strains. **Tropical Animal Health and Production**, 2019.

SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S. **Métodos de Pesquisas em Nutrição de Monogástricos**. Funep, 2 ed., 262 pp, 2016.

SAMADI; LIEBERT, F. Modeling of threonine requirement in fast-growing chickens, depending on age, sex, protein deposition, and dietary threonine efficiency. **Poultry Science**, v. 85, n. 11, p. 1961-1968, 2006.

SARCINELLI, M. F. et al. Modelling Japanese quail responses to methionine + cystine, threonine and tryptophan intake. *Animal Feed Science and Technology*, v. 263, 2020.

SAUVANT, D. et al. Meta-analyses of experimental data in animal nutrition. **Animal**, v. 2, n. 8, p. 1203-1214, 2008.

SAUVANT, D. et al. Review: Use and misuse of meta-analysis in Animal Science. **Animal**, 14:S2, p. 207–222, 2020.

SILVA, E. P., et al. A procedure to evaluate the efficiency of utilization of dietary amino acid for poultry. **Acta Scientiarum Animal Science**, v. 36, n.2, p.163–169, 2014.

SILVA, E. P., et al. Modeling the response of Japanese quail hens to lysine intake. **Livestock Science**, v. 224, p. 69-74, 2019.

SILVA, C. M., et al. Exigência de lisina digestível para codornas japonesas. **Ciência Animal**, v. 30, n. 2, p. 58-67, 2020.

SILVA, E. P., et al. Weight gain responses of laying-type pullets to methionine plus cystine intake. **Animal**, v. 14, p. 294-302, 2020a.

SILVA, E. P. et al. Metabolisable energy partition for Japanese quails. **Animal**, v. 14, p. 1–11, 2020b.

SILVA, E. P., et al. Sulfur amino acid requirements for pullets in growth and pre-laying trials. **Animal Production Science**, v. 61, n.15, p. 1526-1533, 2021.

SIQUEIRA J. C, et al. Efficiency of lysine utilization by growing meat quail. **Poultry Science**, v. 100, n. 4, p. 1-10, 2021.

SOUSA, M. R.; RIBEIRO, A. L. P. Revisão Sistemática e Meta-análise de Estudos de Diagnóstico e Prognóstico: um Tutorial. **Arq. Bras. Cardiol.**, v. 92, n. 3, p. 241-251, 2009.

ST-PIERRE, N. R. *Invited Review: Integrating Quantitative Findings from Multiple Studies Using Mixed Model Methodology*. **J. Dairy Sci.**, v. 84, p. 741–755, 2001.

ST-PIERRE, N. R. Reassessment of biases in predicted nitrogen flows to the duodenum by NRC 2001. **J. Dairy Sci.** v. 86, p. 344–350, 2003.

SVACHA, A. et al. Lysine, methionine and glycine requirements of Japanese quail to five weeks of age. **Poult. Sci.** v. 49, n. 1, p. 54-59, 1970

TAVANIELLO, S., et al. Growth performance, meat quality traits, and genetic mapping of quantitative trait loci in 3 generations of Japanese quail populations (*Coturnix japonica*). **Poult. Sci.**, v. 93, p. 2129–2140, 2014.

TESSERAUD, S. et al. Dietary lysine deficiency greatly affects muscle and liver protein turnover in growing chickens. **British Journal of Nutrition**, v. 75, p. 853-865, 1996.

TON, A. P. S., et al. Exigências de lisina digestível e de energia metabolizável para codornas de corte em crescimento. **R. Bras. Zootec.**, v. 40, ed. 3, p.593-601, 2011.

ZELENKA, J. et al. Allometric growth of protein, amino acids, fat and minerals in slow and fast-growing young chickens. **Czech Journal of Animal Science**, v. 56, n. 3, p. 127-135, 2011.

ZOUAOUI, M. et al. Comparative meta-analysis of broiler and piglet response to dietary valine taking into account isoleucine and leucine interactions. **Animal Feed Science and Technology** v. 282, 2021.