

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**EXIGÊNCIA DE LISINA DIGESTÍVEL PARA CODORNAS JAPONESAS NA
FASE DE CRESCIMENTO: EFEITOS DA TÉCNICA DE FORMULAÇÃO DA
DIETA E DA MODELAGEM NOS VALORES ESTIMADOS**

TAMIRES MARCELINO DA SILVA FELIX

AREIA-PB
FEVEREIRO 2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**EXIGÊNCIA DE LISINA DIGESTÍVEL PARA CODORNAS JAPONESAS NA
FASE DE CRESCIMENTO: EFEITOS DA TÉCNICA DE FORMULAÇÃO DA
DIETA E DA MODELAGEM NOS VALORES ESTIMADOS**

TAMIRES MARCELINO DA SILVA FELIX

Zootecnista – UNIVASF

Mestre em Zootecnia – PPGZ/UFPB

AREIA-PB
FEVEREIRO 2020

TAMIRES MARCELINO DA SILVA FELIX

**EXIGÊNCIA DE LISINA DIGESTÍVEL PARA CODORNAS JAPONESAS NA
FASE DE CRESCIMENTO: EFEITOS DA TÉCNICA DE FORMULAÇÃO DA
DIETA E DA MODELAGEM NOS VALORES ESTIMADOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal da Paraíba como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

Comitê de avaliação:

Prof. Dr. José Humberto Vilar da Silva - Orientador
Prof. Dr. Fernando Guilherme Perazzo Costa
Prof. Dr^a. Débora Cristine de Oliveira Carvalho

AREIA-PB
FEVEREIRO 2020

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

F316e Felix, Tamires Marcelino da Silva.

Exigência de lisina digestível para codornas japonesas na fase de crescimento: efeitos da técnica de formulação das dietas e da modelagem matemática nos valores estimados / Tamires Marcelino da Silva Felix. - Areia, 2020.
47 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCA.

1. Diluição das dietas. 2. Dose resposta. 3. Modelo matemático. 4. Suplementação gradativa. I. Título

UFPB/CCA-AREIA



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

PARECER DE DEFESA DO TRABALHO DE DISSERTAÇÃO

TÍTULO: "EXIGÊNCIA DE LISINA DIGESTÍVEL PARA CODORNAS JAPONESAS
NA FASE DE CRESCIMENTO: EFEITOS DA TÉCNICA DE FORMULAÇÃO DA
DIETA E DA MODELAGEM NOS VALORES ESTIMADOS"

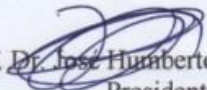
AUTOR: Tamires Marcelino da Silva Felix

ORIENTADOR: José Humberto Vilar da Silva

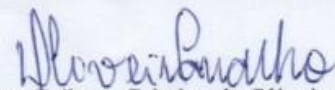
JULGAMENTO

CONCEITO: APROVADO

EXAMINADORES:


Prof. Dr. José Humberto Vilar da Silva
Presidente
Universidade Federal da Paraíba


Prof. Dr. Fernando Guilherme Perazzo Costa
Examinador
Universidade Federal da Paraíba


Profª. Dra. Débora Cristine de Oliveira Carvalho
Examinadora
Universidade Federal Vale do São Francisco

Areia, 17 de fevereiro de 2020.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

TAMIRES MARCELINO DA SILVA FELIX – filha de Ricardo José da Silva e Edlene Marcelino da Silva, nascida em 9 de abril de 1994, na cidade de Recife, Pernambuco. Em 2012 ingressou no curso de Zootecnia na Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), foi bolsista CNPq de Iniciação Científica e trabalhou em diversas áreas, entre elas nutrição animal, também atuou como monitora das disciplinas de anatomia animal e melhoramento genético e foi estagiária na empresa Agrocere Multimix em 2016. Em 2017 obteve o título de Zootecnista. Em 2018 ingressou como aluna regular do Programa de Pós Graduação em Zootecnia da Universidade Federal da Paraíba (PPGZ/UFPB), com formação voltada a produção e nutrição de não ruminantes e sob orientação do Prof. Dr. José Humberto Vilar da Silva, submetendo-se a defesa de dissertação de mestrado no dia 17 de fevereiro de 2020.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me concedido sabedoria e saúde física e mental para realizar o meu mestrado, e por ter me abençoado durante toda a minha vida.

A Universidade Federal da Paraíba pela a oportunidade de realizar o curso.

Aos meus pais Ricardo e Edlene e aos meus irmãos Thayse, Lucas e Raquel, por terem me dado apoio incondicional e amor, nos momentos em que eu precisei sempre estiveram dispostos a me ajudar.

Ao meu orientador, Dr. José Humberto Vilar da Silva, pelos ensinamentos que me fizeram amadurecer como pesquisadora e pela confiança depositada em mim na realização dessa pesquisa.

À banca examinadora composta pelo Dr. Fernando Guilherme Perazzo Costa e a Dr^a Débora Cristine de Oliveira Carvalho, por terem aceitado o convite e pelas contribuições e sugestões neste trabalho.

Aos professores Dr. Edilson Paes Saraiva, Dr. Leonardo Augusto Fonseca Pascoal e Dr. José Jordão Filho pela ajuda e considerações na realização deste trabalho.

Aos componentes da equipe NEPAVES, que trabalharam comigo e me ajudaram na execução deste trabalho, em especial a: Andrew, Aliton, Larissa, Rayanne e Thalís.

Aos amigos que fiz durante o 2 anos de mestrado, pelo companheirismo, por todos os momentos de estudo e momentos de descontração que tivemos juntos.

Aos meus queridos amigos fora do meio acadêmico, pela amizade sincera, em especial ao meu grande amigo, Brício Jorge.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

A todos aqueles que contribuíram de forma direta e indireta para a realização deste trabalho.

Muito Obrigada!

SUMÁRIO

1. Introdução	11
2. Revisão de literatura.....	12
2.1. Nutrição aminoacídica para codornas japonesas na fase de crescimento.....	12
2.2. Lisina e proteína ideal	14
2.3. Métodos utilizados para estimar as exigências de aminoácidos em codornas	15
2.3.1. Técnica de suplementação x Técnica de diluição	16
2.4. Modelagem na predição das exigências de aminoácidos	18
3. Material e métodos	20
3.1 Animais experimentais, instalações e manejo	20
3.2 Delineamento experimental e tratamentos	21
3.3 Dietas experimentais	21
3.4 Variáveis de desempenho	22
3.5 Componentes de carcaça	22
3.6 Ganho de nutrientes	26
3.7 Análises estatísticas	26
4. Resultados	28
4.1 Desempenho	28
4.2 Componentes de carcaça	32
4.3 Ganho de nutrientes	32
5. Discussão	37
6. Conclusões	43
7. Referências	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Relação de proteína ideal para codornas japonesas no período de crescimento. ¹	15
Tabela 2. Composição alimentar e nutricional das dietas formuladas para codornas japonesas na fase de crescimento (10 a 36 dias) utilizando a técnica de suplementação gradativa dos aminoácidos.....	23
Tabela 3. Composição alimentar e nutricional das dietas formuladas para codornas japonesas na fase de crescimento (10 a 36 dias) utilizando a técnica de diluição.	24
Tabela 4. Dietas com níveis crescentes de lisina digestível obtidas pela técnica de diluição para codornas japonesas na fase de crescimento (10 a 36 dias).	25
Tabela 5. Relações entre os aminoácidos nas dietas formuladas para codornas japonesas na fase de crescimento utilizando as técnicas de suplementação e diluição. .	25
Tabela 6. Desempenho de codornas japonesas (10 a 36 dias) em função da técnica de formulação (TF), suplementação (S) e diluição (D), e a diferentes níveis de lisina digestível (Nlys) na dieta.	29
Tabela 7. Equações ajustadas e níveis de lisina digestível estimados com base nos dados de desempenho de codornas japonesas (10 a 36 dias) alimentadas com dietas formuladas a partir da técnica de diluição. ¹	30
Tabela 8. Componentes de carcaça e ganho de nutrientes de codornas japonesas (10 a 36 dias) em função da técnica de formulação (TF), suplementação (S) e diluição (D), e a diferentes níveis de lisina digestível (Nlys) na dieta.	34
Tabela 9. Equações ajustadas e níveis de lisina digestível estimados com base nos dados de peso de carcaça e ganho de nutrientes em codornas japonesas alimentadas com dietas formuladas a partir das técnicas de suplementação e diluição. ¹	35

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Consumo de ração (a), ganho de peso (b) e conversão alimentar (c) de codornas japonesas alimentadas com dietas formuladas pela técnica de diluição, contendo diferentes níveis de lisina digestível.31
- Figura 2.** Peso de carcaça de codornas japonesas alimentadas com dietas formuladas pela técnica de diluição, contendo diferentes níveis de lisina digestível.....35
- Figura 3.** Ganho de proteína bruta de codornas japonesas alimentadas com dietas formuladas pela técnica de suplementação (a) e pela técnica de diluição (b), contendo diferentes níveis de lisina digestível.36
- Figura 4.** Ganho de gordura bruta de codornas japonesas alimentadas com dietas formuladas pela técnica de suplementação (a) e pela técnica de diluição (b), contendo diferentes níveis de lisina digestível.37

EXIGÊNCIA DE LISINA DIGESTÍVEL PARA CODORNAS JAPONESAS NA FASE DE CRESCIMENTO: EFEITOS DA TÉCNICA DE FORMULAÇÃO DA DIETA E DA MODELAGEM NOS VALORES ESTIMADOS

RESUMO GERAL: Objetivou-se com este estudo, estimar a exigência de lisina digestível para codornas japonesas em crescimento avaliando a influência da técnica de formulação da dieta: suplementação e diluição, e dos modelos de regressão: Linear Response Plateau (LRP), Quadrático Polinomial (QP), intersecção do $LRP \cap QP$, Quadrático com Reposta em Plateau (QRP) e Exponencial (EXP). Para isso, foram utilizadas 684 codornas japonesas (10 a 36 dias de idade) com peso inicial de $33,7 \pm 0,42g$, alojadas em gaiolas sobrepostas e distribuídas em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2×7 , sendo duas técnicas de formulação (técnica de suplementação e técnica de diluição) e sete níveis de lisina (0,70; 0,80; 0,90; 1,00; 1,10; 1,20 e 1,30%), compondo assim 14 tratamentos. Foram avaliados parâmetros de desempenho, componentes de carcaça e ganho de nutrientes. Houve interação ($p < 0,05$) entre as técnicas de formulação e os níveis de lisina digestível para consumo de ração (CR), consumo de lisina (CLys), ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA), peso de carcaça (PC), ganho de proteína bruta (GPB) e ganho de gordura bruta (GGB), além de efeito isolado da técnica de formulação sobre percentagem de pernas (PER). A aplicação da técnica de diluição resultou em maior discrepância entre os valores de CR, menores GP e PC, piores CA, e menor eficiência na deposição de nutrientes (GPB e GGB), no entanto apresentaram maior PER. Os valores de exigência de lisina digestível estimados para melhor desempenho e eficiência na deposição de nutrientes foi 0,98% pela técnica de suplementação e 1,15% pela técnica de diluição. As melhores estimativas foram obtidas através da intersecção do $LRP \cap QP$ e do modelo QP, o modelo LRP subestimou os valores enquanto que o modelo EXP superestimou. Conclui-se que a exigência de lisina digestível em codornas japonesas é influenciada pela técnica de formulação e pelo modelo matemático utilizado na interpretação dos dados.

Palavras-chave: Diluição das dietas. Dose resposta. Modelo matemático. Suplementação gradativa.

DIGESIBLE LISINE REQUIREMENT FOR JAPANESE QUAILS IN THE GROWTH PHASE: EFFECTS OF DIET FORMULATION TECHNIQUE AND MATHEMATICAL MODELING ON ESTIMATED VALUES

ABSTRACT: This work aimed to estimate the requirement for digestible lysine for growing Japanese quails by evaluating the influence of the diet formulation technique: supplementation and dilution, and of the regression models: Linear Response Plateau (LRP), Polynomial Quadratic (PQ), intersection of $LRP \cap PQ$, Quadratic with Plateau Response (QPR) and Exponential (EXP). For this, 684 Japanese quails (10 to 36 days old) with initial weight of 33.7 ± 0.42 g were used, housed in overlapping cages and distributed in a completely randomized design in a 2×7 factorial arrangement, two formulation techniques (supplementation technique and dilution technique) and seven levels of lysine (0.70; 0.80; 0.90; 1.00; 1.10; 1.20 and 1.30%), thus composing 14 treatments. Performance parameters, carcass components and nutrient gain were evaluated. There was interaction ($p < 0.05$) between the formulation techniques and the levels of digestible lysine tested for feed intake (FI), lysine intake (ILys), weight gain (WG), feed conversion (FC), carcass weight (CW), crude protein gain (CPG) and crude fat gain (CFG), in addition to the isolated effect of the formulation technique on percentage of legs (LEG). The application of the dilution technique resulted in a greater discrepancy between the values of FI, lower WG and CW, worse FC, and lower efficiency in the deposition of nutrients (CPG and CFG), however they presented higher LEG. The digestible lysine requirement values estimated for better performance and efficiency in nutrient deposition were 0.98% by the supplementation technique and 1.15% by the dilution technique. The best estimates were obtained through the intersection of the $LRP \cap PQ$ and the QP model, the LRP model underestimated the values while the EXP model overestimated. It can be concluded that the requirement for digestible lysine in Japanese quails is influenced by the formulation technique and by the mathematical model used in the interpretation of the data.

Keywords: Diets dilution. Dose response. Gradual supplementation. Mathematical model.

1. Introdução

As exigências de aminoácidos para codornas são conhecidas através da aplicação de ensaios de dose resposta, que consistem na avaliação do desempenho do animal mediante as variáveis de desempenho ou de indicadores metabólicos, em resposta ao aumento da concentração de aminoácido na dieta. Por ser de fácil aplicação e baixo custo, este método tem sido escolhido para a realização dos estudos de exigências nutricionais de aminoácidos (D'MELLO, 2003).

As exigências determinadas através de ensaios de dose resposta são influenciadas por muitos fatores ambientais e genéticos (MENDOZA et al. 2001), e por fatores metodológicos como a modelagem matemática e a técnica de formulação da dieta (SIQUEIRA et al. 2013). As dietas utilizadas nos ensaios de exigências nutricionais podem ser formuladas de diversas formas, porém, duas técnicas de formulação vêm sendo mais utilizadas.

A técnica de suplementação gradativa dos aminoácidos baseia-se na formulação de uma dieta deficiente no aminoácido teste e adição gradativa por meio de uma fonte quimicamente pura do aminoácido em deficiência (D'MELLO, 1982). A outra é a técnica de diluição que consiste na formulação de duas dietas, uma dieta isenta de proteína e outra com alto teor de proteína, ambas isoenergéticas, a dieta de alta proteína é diluída sequencialmente com dieta isenta de proteína, obtendo-se assim os níveis intermediários de aminoácidos para aplicação no estudo (FISHER e MORRIS, 1970).

Existem controvérsias acerca da influência da técnica de formulação das dietas experimentais sobre a estimativa das exigências nutricionais dos animais, alguns pontos devem ser considerados, como: relações entre os aminoácidos, níveis dietéticos dos demais aminoácidos (a fim de evitar o surgimento de um segundo aminoácido limitante), e níveis dietéticos de energia metabolizável e proteína bruta. A discussão sobre a influência das técnicas de formulação nas estimativas das exigências é antiga, porém ainda não existe um consenso comum sobre qual técnica é mais apropriada e recomendada, cabendo mais investigações sobre o assunto.

A maioria dos estudos de exigências de aminoácidos foram realizados em codornas na fase de produção e estudos voltados a fase de crescimento foram realizados em segundo plano, existindo poucas recomendações. Silva e Costa (2009) recomendaram 1,10% de lisina digestível para codornas japonesas na idade de 1 a 42

dias, enquanto Rostagno et al. (2017) recomendaram 1,09% e 1,03% de lisina digestível para a idade de 1 a 14 dias e 15 a 35 dias, respectivamente.

O plano nutricional da fase de crescimento tem influência na duração do pique e no ciclo de produtivo das codornas (LIMA, 2019), por isto, o atendimento das exigências nesta fase proporciona peso uniforme do lote e produção de ovos regular e com menor custo.

Da mesma forma que a técnica de formulação, os modelos matemáticos (linear ou não-linear) também podem influenciar os valores estimados de exigências nutricionais e, segundo Sakomura e Rostagno (2016), os modelos mais utilizados são os de natureza linear, uma vez que são mais facilmente aplicados em softwares estatísticos.

Este trabalho foi realizado objetivando estimar a exigência de lisina digestível em codornas japonesas na fase de crescimento avaliando os efeitos da técnica de formulação: suplementação gradativa e diluição, assim como os efeitos da modelagem matemática.

2. Revisão de literatura

2.1. Nutrição aminoacídica para codornas japonesas na fase de crescimento

A criação de codornas para postura ocorre por fases, permitindo o melhor manejo de acordo com a idade da ave, o período de cria e recria (1 a 42 dias) é caracterizado por rápido crescimento e intenso desenvolvimento dos sistemas imunológico, ósseo, muscular das aves, reprodutor e do fígado e rins das aves, preparando a ave para o início da postura (ALBINO e BARRETO, 2012).

Codornas apresentam amadurecimento precoce (35 a 42 dias de idade) induzindo a necessidade de programas alimentares que maximizem a taxa de crescimento, aliando-se desenvolvimento corporal à maturidade sexual. Avanços na nutrição tem contribuído para o desenvolvimento da coturnicultura, o conhecimento das exigências permite ao nutricionista formular dietas que atendam as necessidades de manutenção, crescimento e produção de acordo com cada fase.

O conhecimento das exigências nutricionais na fase de crescimento é importante para estabelecer um plano nutricional que maximize o crescimento das codornas e assegure bom desenvolvimento do sistema reprodutivo (LIMA et al., 2016). Para PINTO et al. (2003) as condições nutricionais estabelecidas durante o período de crescimento influenciam o desempenho das aves na fase de produção.

É conhecido que as codornas japonesas são mais exigentes em proteína e energia quando comparadas as galinhas poedeiras, em função disso, a ração para essa espécie tem custo mais elevado, no entanto, a suplementação com aminoácidos industriais pode reduzir os custos de produção (SILVA et al., 2012).

A principal função dos aminoácidos é a formação de proteínas através de ligações peptídicas, sendo as proteínas formadas pela combinação de 20 aminoácidos diferentes, contudo, os aminoácidos também estão relacionados com diversos outros processos metabólicos (NELSON e COX, 2014). Para as aves, dos 20 aminoácidos protéicos, 10 são essenciais, sendo necessário seu fornecimento via alimentação (D'MELLO, 2003).

Com o avanço das tecnologias para produção de aminoácidos industriais foi possível realizar vários estudos para determinar as exigências de aminoácidos em codornas japonesas, permitindo estudos com metionina, lisina, treonina, triptofano e aminoácidos de cadeia ramificada (valina, leucina e isoleucina), no entanto, a maioria dos estudos são direcionados para a fase de produção, havendo a necessidade de realização de estudos voltados a fase de crescimento.

Dentro do contexto dos estudos para conhecimento das exigências de aminoácidos, as relações de antagonismo e/ou desbalanço entre os aminoácidos deve receber atenção, segundo D'Mello (2003) o desbalanço causa depressão do consumo, redução do consumo de nutrientes e consequente redução do crescimento, o antagonismo por sua vez é decorrente da relação desarmônica entre dois ou mais aminoácidos com efeitos prejudiciais ao animal.

As relações antagônicas clássicas descritas na literatura são a relação entre os aminoácidos de cadeia ramificada (leucina, isoleucina e valina) e a relação entre a lisina e a arginina, essas relações ocorrem principalmente por competição por transportadores durante o processo de absorção no intestino.

Na relação antagônica entre a lisina e arginina, o excesso de lisina diminui os níveis plasmáticos de arginina e estimula a arginase renal a catabolizar a arginina corporal, causando sintomas de deficiência (D'MELLO, 2003). Com isso, a importância da estimativa acurada da exigência desses aminoácidos.

2.2. Lisina e proteína ideal

A lisina é considerada um aminoácido essencial para as codornas, pois não é sintetizado pelo organismo por vias endógenas, sua principal função está relacionada com a formação da matriz óssea, ao crescimento muscular e a síntese de carnitina (MURAKAMI e GARCIA, 2014).

É o segundo aminoácido limitante para as aves e foi adotado como aminoácido de referência na proteína ideal apesar de em dietas práticas formuladas para aves (a base de milho e soja) a metionina ser o primeiro aminoácido limitante, a escolha da lisina foi baseada em algumas razões principais, como: é estritamente essencial; possui metabolismo orientado principalmente para deposição de proteína corporal; a sua análise nos alimentos está em contínuo avanço; e existe ainda quantidade de pesquisas e informações sobre os requisitos de lisina para aves, frente a uma variedade de dietas e condições ambientais (PESSÔA et al., 2012).

Sabe-se que as exigências de um determinado aminoácido estão diretamente relacionadas às exigências dos demais (BUTERI et al., 2009), então, para simplificar a determinação das exigências dos aminoácidos, os pesquisadores têm buscado aplicar o conceito da proteína ideal, de modo que, ao determinar a exigência de um aminoácido em condição de campo, basta ajustar as exigências dos demais aminoácidos essenciais pela relação entre eles.

O conceito de proteína ideal é antigo, Mitchel (1964) define a proteína ideal como balanço teoricamente exato de aminoácidos que é capaz de atender, sem excessos ou deficiências, as necessidades absolutas de todos os aminoácidos exigidos para manutenção e crescimento. Nesse conceito, as exigências dos diferentes aminoácidos essenciais são expressas como porcentagem da exigência de um aminoácido referência.

A aplicação do conceito de proteína ideal traz inúmeros benefícios, sendo vantajoso fazer uso dessa técnica ao invés de se limitar a formulações com base na proteína bruta, a proteína ideal permite dietas mais econômicas e menos poluentes, com redução da excreção de nitrogênio, e promovem menor incremento calórico, trazendo ganhos para o desempenho animal (MOURA, 2004).

Apesar dos fatores dietéticos, ambientais e genéticos afetarem as exigências de aminoácidos, a relação ideal entre a lisina e os outros aminoácidos essenciais permanece, na maioria das vezes inalterada (BAKER e HAN, 1994). Desta forma, o uso

do conceito de proteína ideal permite a fácil adaptação às diferentes condições, facilitando assim os estudos de exigência, uma vez que as exigências dos aminoácidos são estabelecidas como proporção da exigência de lisina.

Apesar da importância da lisina para o desenvolvimento corpóreo e para a aplicação do conceito da proteína ideal, existem poucos trabalhos determinando a exigência de lisina para codornas japonesas na fase de crescimento, esses estudos são importantes para a atualização dos planos nutricionais. Lima et al. (2016) trabalhando com codornas na fase de crescimento (1 a 40 dias de idade) estimaram a exigência de lisina digestível em 1,18%.

As tabelas nacionais com exigências nutricionais para codornas japonesas (Tabela 1) trazem a relação entre os aminoácidos para a proteína ideal (SILVA e COSTA, 2009 e ROSTAGNO et al., 2017). Segundo Oliveira Neto e Oliveira (2009), a metodologia empregada para estimar a exigência de lisina deve ser cuidadosamente avaliada, uma vez que a lisina é o aminoácido referência na proteína ideal.

Tabela 1. Relação de proteína ideal para codornas japonesas no período de crescimento.¹

Aminoácido	PTN ideal Silva e Costa (2009)	PTN ideal Rostagno et al. (2017)
Lis	100	100
Met+Cis	70	67
Met	39	38
Tre	78	71
Trp	14	18
Leu	114	137
Ile	70	71
Val	70	85
Arg	101	106
Fen	76	77
Fen+Tir	109	146
His	27	29

¹Adaptado de Silva e Costa (2009) com base nas informações de aminoácidos digestíveis para 1 a 42 dias. Adaptado de Rostagno et al. (2017) com base nas informações de aminoácidos digestíveis para 15 a 35 dias.

2.3. Métodos utilizados para estimar as exigências de aminoácidos em codornas

Exigência de um nutriente pode ser definida pela quantidade do mesmo a ser fornecido na dieta para atender as necessidades de um indivíduo em determinado nível de produção estando compatível com o ambiente e mantendo a boa saúde (SAKOMURA e ROSTAGNO, 2016).

Métodos que determinam as exigências de aminoácidos de aves podem ser divididos em dois grupos: empírico e fatorial. Métodos empíricos se baseiam diretamente na mensuração da resposta biológica do animal às concentrações crescentes do nutriente em questão, enquanto que pelo método fatorial as exigências dos aminoácidos são determinadas com base no cálculo da soma das exigências de cada componente do corpo, tais como manutenção, crescimento dos tecidos adiposo, muscular, penas e produção de ovos, todos os quais contribuem para variações nas exigências (D'MELLO, 2003).

Vale salientar que os dados gerados nos estudos empíricos, como a eficiência de utilização, frequentemente são usados como base para os cálculos fatoriais. Segundo Gous (1986), estudos empíricos devem ser direcionados para a geração de dados adequados para incorporação em modelos de predição com aplicações práticas na maximização do lucro ou que auxiliam na tomada de decisão nutricional.

O método fatorial é difícil de ser aplicado, em contrapartida, o método empírico é de fácil execução e prático, sendo amplamente aplicado em estudos de exigência, é baseado na resposta do animal ao aumento na ingestão de um determinado nutriente, considerando a exigência como o nível em que se obteve melhor desempenho.

Os estudos empíricos correspondem aos tradicionais estudos de dose-resposta, nos quais as exigências estudadas são utilizadas para elaboração de tabelas nutricionais, tais como as Tabelas para Codornas Japonesas e Europeias (SILVA e COSTA, 2009) e Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (ROSTAGNO et al., 2017).

2.3.1. Técnica de suplementação x Técnica de diluição

Devido à facilidade de aplicação, os ensaios de dose-resposta vêm sendo amplamente utilizados nos estudos de exigência, um aspecto de grande relevância inerente aos estudos de dose-resposta é a técnica de formulação de dietas: técnica de suplementação e técnica de diluição (SAKOMURA e ROSTAGNO, 2016).

A técnica de suplementação consiste na formulação de uma dieta referência, esta é suplementada por uma fonte industrial do aminoácido teste para obtenção dos níveis estudados; é utilizada como técnica de formulação de dietas na maioria dos estudos empíricos (D'MELLO, 1982).

A principal crítica a essa técnica baseia-se no fato de que o aumento gradativo de um aminoácido limitante promove alteração na relação com os demais aminoácidos,

podendo afetar a resposta dos animais, diferentes relações entre os aminoácidos levam a diferentes resultados, que podem ser confundidos com os efeitos dos níveis do aminoácido teste (GOUS e MORRIS, 1985).

A técnica de diluição foi proposta por Fisher e Morris (1970) e consiste na diluição sequencial de uma dieta com alto teor de proteína e com menor proporção do aminoácido de teste, com outra isoenergética livre de proteína, obtendo-se dietas com níveis diferentes do aminoácido teste. Gous (1980) considera esta técnica melhor que a técnica de suplementação, uma vez que ela proporciona relações aminoacídicas constantes entre os tratamentos.

D'Mello (2003) revisou as duas técnicas de formulação e concluiu que a técnica de diluição promove desbalanço entre os aminoácidos, pois a dieta de alta proteína é formulada com os demais aminoácidos acima da relação de proteína ideal, de forma que podem surgir casos de antagonismo entre os aminoácidos.

Apesar da técnica de diluição promover a mesma relação entre os aminoácidos para todos os tratamentos, justificando seu uso nos estudos de exigência, as diluições sequenciais da dieta de alta proteína resultam em dietas deficientes em proteína bruta nos primeiros níveis avaliados do aminoácido teste, ficando abaixo do recomendado pelas tabelas, como pode ser visto em Siqueira et al. (2013).

Ao se reduzir a proteína bruta, aminoácidos não essenciais passam a se tornar limitantes (OLIVEIRA NETO e OLIVEIRA, 2009); Conforme Hruby (1998), aves alimentadas com dietas deficientes em aminoácidos não essenciais só podem sintetizar proteínas por meio da disponibilização de aminoácidos essenciais oriundos do catabolismo das proteínas corporais.

Com isso, o pesquisador necessita analisar o que deve ser priorizado nos estudos de exigência e quais fatores possuem maiores impactos nos dados para avaliar qual a melhor técnica de formulação. Para Siqueira et al. (2013), em estudo desenvolvido com frangos de corte, a técnica de diluição favorece o potencial produtivo das aves, contrastando com D'Mello (1982) que atribuiu equivalência entre as técnicas de formulação.

Algumas escolas brasileiras têm migrado para o uso da técnica de diluição nos estudos de exigência, no entanto, existem poucos trabalhos comparando as técnicas de formulação, e apesar de a discussão ser antiga as informações ainda são discordantes.

2.4. Modelagem na predição das exigências de aminoácidos

Os dados biológicos oriundos de experimentos de exigência nutricional, devido à natureza quantitativa, devem ser interpretados aplicando-se modelos matemáticos, que permitem quantificar melhor os fenômenos biológicos complexos, podendo ser aplicado modelos lineares e não lineares.

Para o melhor ajustamento de uma equação matemática faz-se necessário a descrição detalhada da curva de resposta com a mudança na ingestão do nutriente teste, o comportamento da resposta de acordo com a ingestão de aminoácidos pode ser dividido em 4 fases: fase inicial ou ausência de resposta, o acréscimo do nutriente garante apenas a sobrevivência do animal; fase resposta, os animais respondem até um nível no qual estabiliza a resposta; fase de estabilidade, os animais não apresentam resposta à produção ou sinais de toxidez; fase de toxidez o nível elevado do nutriente pode causar redução na produção (SAKOMURA e ROSTAGNO, 2016).

Diversos modelos matemáticos de natureza linear ou não-linear podem ser utilizados para descrever as respostas de desempenho animal aos níveis de aminoácidos das dietas. Dentre os de natureza linear, os mais utilizados são o modelo Linear Response Plateau (LRP) e o modelo quadrático, ambos são de fácil aplicação nos softwares estatísticos e de fácil interpretação dos resultados.

O modelo LRP foi desenvolvido com a finalidade de estimar objetivamente requerimentos nutricionais, resultando em uma resposta objetiva e com a dosagem do nutriente adequada. Conforme Robbins (1986), a primeira parte do modelo descreve uma equação linear simples ($Y = a+bx+\epsilon$), a segunda parte é descrita por uma reta horizontal ao eixo das abscissas, dada pelo platô ($Y=P$).

O modelo descreve o crescimento animal (ou outras variáveis) como linear até certo ponto, alcançando um platô, depois desse ponto, o modelo assume que não existem mais respostas nos níveis seguintes do nutriente teste, desta forma a exigência é determinada pelo ponto de interseção da equação linear com o platô.

Este modelo tem recebido críticas, Morris (1989) e Pack (1996) concluíram em seus estudos que o modelo LRP apesar de ser de fácil aplicação e apresentar bom ajuste estatístico, tenderia a subestimar a dose-ótima, pois não atende a lei biológica do retorno decrescente e a interrupção abrupta da curva pelo platô pode levar a deduções falsas

sobre o nível ótimo dos nutrientes, pois podem ser observadas respostas satisfatórias mesmo após o ponto de intersecção.

O modelo polinomial quadrático (QP), cuja equação é dada por: $Y = ax^2 + bx + c + \epsilon$, descreve graficamente uma parábola. O ajuste do modelo deve ser feito com no mínimo quatro pontos, prediz o ganho máximo possível, sendo este ponto a exigência, que é estabelecido pelo valor que anula a primeira derivada da equação quadrática (KRAPS e LAMBERSON, 2004).

Para Morris (1989), esse modelo não apresenta grandes complicações para se estimar o ponto de máximo e é de fácil ajuste, porém, a parábola formada apresenta uma curvatura muito sensível a variações nos intervalos dos tratamentos, podendo estimar valores ótimos fora dos intervalos estudados, além disso, esse modelo é fisiologicamente incorreto, pois pressupõe respostas simétricas para a deficiência e para o excesso de determinado nutriente.

Essa simetria faz com que os valores ótimos estimados pelo modelo QP sejam superestimados, acima da real exigência do animal, com isso, alguns autores propuseram que seja considerado 90 a 95% do valor ótimo estimado pela QP como uma medida corretiva (SAKOMURA e ROSTAGNO, 2016).

O modelo quadrático com resposta plateau (QRP) é pouco aplicado nos estudos de exigência, funciona de forma similar ao LRP, a primeira parte do modelo descreve uma parábola ($Y = ax^2 + bx + c + \epsilon$), e a segunda parte é descrita por uma reta horizontal ao eixo das abscissas, dada pelo platô ($Y=P$), teoricamente corrige a crítica ao modelo LRP, que coloca a desenvolvimento animal como linear o que não é verdade, pois sabe-se que o desenvolvimento animal é curvilíneo.

O QRP considera nenhuma resposta acima do platô desta forma também é possível corrigir a simetria bilateral assumido pelo modelo QP, permitindo estimar níveis mais próximos da real exigência (ARAÚJO et al. 2014).

Alguns pesquisadores têm trabalhado com a junção do LRP ao modelo quadrático, este não é um modelo matemático, mas a junção de dois modelos (LRP e QP), estimando a exigência do nutriente através da primeira intersecção da quadrática com o platô do LRP, sendo proposto inicialmente por Baker et al. (2002), esses autores afirmam que essa junção contorna as críticas feitas inicialmente a cada modelo.

O uso de modelos não lineares, como modelos exponenciais, também vem sendo proposto, pois descrevem melhor as pequenas melhorias no desempenho animal com os incrementos das doses. O modelo exponencial é de difícil aplicação nos softwares estatísticos, mas permite bom ajuste aos dados biológicos, Pack et al. (2003) ressaltam que a utilização de modelos não lineares é cada vez mais requerida, principalmente porque estes modelos descreverem de forma apropriada o significado biológico das respostas dos animais.

A equação exponencial é dada por $Y = a + b[1 - \exp^{-c(x-d)}]$, em que Y é a variável dependente; x é o nível do nutriente; a representa o desempenho do animal com o nível do nutriente da dieta basal; b é a diferença entre a mínima e a máxima resposta à adição do nutriente; c é a inclinação da curva e d é o nível do nutriente na dieta basal (SAKOMURA e ROSTAGNO, 2016). Diferente dos modelos citados anteriormente, os parâmetros da equação exponencial tem interpretação biológica.

Apesar desse modelo apresentar bom ajuste aos dados dos ensaios de dose-resposta, ele apresenta dificuldades no estabelecimento do nível-ótimo, pois a resposta máxima tende ao infinito, por isso, D'Mello e Lewis, 1970 propuseram o uso de 95% da resposta assintótica para determinação do nível ótimo, esse valor pode ser alcançado pela seguinte equação: nível ótimo = $(\ln 0,05 / -c) + d$.

Os pressupostos teóricos de cada modelo podem auxiliar na interpretação empírica das respostas nos diferentes níveis de consumo do nutriente, e afetam diretamente na estimativa do nível de ingestão ótimo (PESTI et al. 2009).

3. Material e métodos

3.1 Animais experimentais, instalações e manejo

O projeto foi submetido à Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA), da UFPB e foi aprovado sob o número 3404220319. O período experimental foi de 26 dias, foram utilizadas 672 codornas japonesas fêmeas (*Coturnix coturnix japonica*) com 10-36 dias de idade e peso vivo médio inicial de $33,7 \pm 0,42$ g, 12 codornas foram abatidas no início do experimento para determinação de ganho de nutrientes.

As codornas foram alojadas em galpão de alvenaria, em gaiolas sobrepostas, de arame galvanizado com 0,25 x 0,50 x 0,40 m. As gaiolas eram equipadas com comedouros e bebedouros individuais. As aves foram alimentadas com rações e água à

vontade durante todo o período experimental e o programa de luz adotado foi de 24 horas diárias com luz natural e artificial.

A temperatura e umidade foram monitoradas por controlador do tipo “*timer*”, os dados de temperatura e umidade relativa do ar dentro da sala foram registrados diariamente, utilizando-se um termo-higrômetro digital, a média da temperatura e umidade relativa do ar registradas no período experimental foram $29,3 \pm 1,20^{\circ}\text{C}$ e $67,6 \pm 6,11\%$, respectivamente.

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

Foram distribuídas 672 codornas seguindo delineamento inteiramente casualizado com 14 tratamentos dispostos em esquema fatorial 7×2 , sendo 7 níveis de lisina digestível e 2 técnicas de formulação, cada tratamento teve 6 repetições com 8 aves.

3.3 Dietas experimentais

Para a formulação das dietas experimentais, foram utilizadas as composições dos ingredientes apresentados por Rostagno et al. (2017) e as exigências nutricionais das codornas de acordo com Silva e Costa (2009).

Técnica da suplementação gradativa de aminoácidos. Foi formulada uma dieta referência para atender as exigências das codornas (SILVA e COSTA, 2009), exceto em lisina digestível. A suplementação da dieta referência com L-lisina HCl (78,4%), foi em substituição ao ácido L-glutâmico e ao inerte, obtendo-se 7 dietas isoenergéticas e isonitrogênicas com níveis crescentes de 0,70; 0,80; 0,90; 1,00; 1,10; 1,20 e 1,30% de lisina digestível (Tabela 2).

Técnica de diluição de dietas. Inicialmente foram formuladas duas dietas, a primeira de alto teor de proteína bruta, excedendo em 18% a exigência de lisina digestível, e os outros aminoácidos excedendo cerca de 80% as exigências (SILVA e COSTA, 2009), de forma que mesmo no nível mais deficiente (0,70% de lisina digestível), apenas a lisina ficou deficiente, não havendo deficiência de outro aminoácido essencial (Tabela 3). A segunda dieta foi isenta de proteína (DIP), formulada para diluir sequencialmente a dieta de alta proteína (FISHER e MORRIS, 1970). Embora isenta de proteína, a DIP foi isoenergética, isocalórica e isofosfórica com dieta de alta proteína, possibilitando a

obtenção de níveis crescentes de lisina digestível semelhantes àqueles da técnica de suplementação de aminoácidos (Tabela 4).

As relações aminoacídicas obtidas pela técnica de suplementação e pela técnica de diluição são apresentadas na Tabela 5.

3.4 Variáveis de desempenho

A quantidade de ração consumida pela parcela durante o período experimental foi dividida pelo número de aves em cada parcela, sendo expresso em gramas de ração consumida/ave. O consumo de lisina digestível foi calculado utilizando-se a relação entre a quantidade de ração consumida e a quantidade de lisina presente na dieta, sendo expresso em mg/ave.

As aves de cada parcela experimental foram pesadas ao início e ao término do experimento, para a determinação do ganho de peso ocorrido durante o período experimental. O ganho de peso da parcela foi dividido pelo número de aves em cada parcela para obtenção do ganho de peso médio, sendo expresso em gramas/ave. A conversão alimentar foi calculada utilizando-se a quantidade de ração consumida pela parcela dividida pelo ganho de peso da mesma parcela.

3.5 Componentes de carcaça

Para avaliação das características de carcaça, no 36° dia de idade, três aves de cada parcela foram selecionadas aleatoriamente, estes animais foram submetidos a jejum de sólidos por 12 horas, em seguida pesados, abatidos, depenados, eviscerados e avaliados quanto aos pesos e rendimentos de peito e pernas. O rendimento de carcaça, expresso em percentagem, foi obtido pela relação entre o peso da carcaça eviscerada e o peso ao abate, enquanto que o rendimento de peito e pernas, expresso em percentagem, foi calculado pela relação entre o peso dos cortes e o peso da carcaça eviscerada.

Tabela 2. Composição alimentar e nutricional das dietas formuladas para codornas japonesas na fase de crescimento (10 a 36 dias) utilizando a técnica de suplementação gradativa dos aminoácidos.

Ingredientes (%)	Composição alimentar
Milho grão (7,86%)	65,0000
Soja farelo (45%)	20,5709
Farelo de glúten de milho (60%)	6,0000
Fosfato bicálcico	1,2718
Calcário	1,2450
L-Lisina HCl (78,4%)	0,0000 --- 0,7656
DL-Metionina (98%)	0,2200
L-Treonina (99%)	0,2500
L-Isoleucina (99%)	0,0869
L-Arginina (99%)	0,1400
L-Valina (99%)	0,0067
Ácido L-Glutâmico (99%)	4,0000 --- 2,7616
Sal comum	0,2347
Bicarbonato de sódio	0,5000
Cloreto de colina	0,1500
Premix vitamínico-mineral ¹	0,1000
Inerte ²	0,2241 --- 0,6968
Nutrientes calculados (%)	Composição nutricional ³
EM (kcal/kg)	3.026,00
Proteína bruta	21,0555
Cálcio	0,8000
Fósforo disponível	0,3100
Sódio	0,2400
Cloro	0,2117
Potássio	0,6024
Metionina+Cistina	0,7704
Metionina	0,5057
Lisina	0,7000 --- 1,3000
Treonina	0,8604
Triptofano	0,1755
Leucina	1,8564
Isoleucina	0,7700
Valina	0,7700
Arginina	1,1104
Fenilalanina	0,8798
Fenilalanina+Tirosina	1,5575
Histidina	0,4315
Glutamato	3,9800 --- 2,7536

¹Níveis dietéticos: Vit A 3.600,00 UI, Vit D3 1.000,00 UI, Vit E 8,00 UI, Vit K3 1,00 mg, Vit B1 0,80 mg, Vit B2 2,40 mg, Ácido pantotênico 4,80 mg, Vit B6 1,20 mg, Vit B12: 6,00 mcg, Ácido nicotínico 0,014 g, Ácido fólico: 0,60 mg, Biotina 0,040 mg, Colina 0,087 g, Ferro 0,016 g, Cobre 3,33 mg, Manganês 0,021 g, Zinco 0,021 g, Iodo 0,33 mg, Selênio 0,10 mg, Enramicina 3,33 mg, Salinomicina sódica 0,022 g.

²Caulim.

³Número de Mogin: 198,76 mEq/kg.

Tabela 3. Composição alimentar e nutricional das dietas formuladas para codornas japonesas na fase de crescimento (10 a 36 dias) utilizando a técnica de diluição.

Ingredientes (%)	Isenta de PB	Alta PB
	Composição alimentar	
Milho grão (7,86%)	-	48,0000
Soja farelo (45%)	-	36,5803
Farelo Glúten Milho (60%)	-	8,6590
Óleo de soja	1,8337	-
Fosfato bicálcico	1,7222	1,1520
Calcário	1,2176	1,1708
DL-Metionina (98%)	-	0,6983
L-Lisina HCl (78,4%)	-	0,2573
L-Treonina (99%)	-	0,7543
L-Arginina (99%)	-	0,6050
L-Isoleucina (99%)	-	0,4268
L-Valina (99%)	-	0,3409
L-Fenilalanina (99%)	-	0,2998
L-Triptofano (99%)	-	0,0357
Amido	80,0000	-
Casca de arroz	12,3330	-
Inerte ¹	-	0,2000
Sal comum	-	0,5697
Sulfato de potássio	0,9031	-
Bicarbonato de sódio	0,8889	-
Cloreto de potássio	0,8515	-
Cloreto de colina	0,1500	0,1500
Premix vitamínico-mineral ²	0,1000	0,1000
Nutrientes calculados (%)	Composição nutricional ³	
EM (kcal/kg)	2.991,10	2.991,10
Proteína bruta	-	28,2811
Cálcio	0,8000	0,8000
Fósforo disponível	0,3100	0,3100
Metionina+Cistina	-	1,4300
Metionina	-	1,0729
Lisina	-	1,3000
Treonina	-	1,6000
Triptofano	-	0,3000
Leucina	-	2,4780
Isoleucina	-	1,4300
Valina	-	1,4300
Arginina	-	2,0600
Fenilalanina	-	1,5600
Fenilalanina+Tirosina	-	2,2300
Histidina	-	0,5957

¹Caulim.

²Níveis dietéticos: Vit A 3.600,00 UI, Vit D3 1.000,00 UI, Vit E 8,00 UI, Vit K3 1,00 mg, Vit B1 0,80 mg, Vit B2 2,40 mg, Ácido pantotênico 4,80 mg, Vit B6 1,20 mg, Vit B12: 6,00 mcg, Ácido nicotínico 0,014 g, Ácido fólico: 0,60 mg, Biotina 0,040 mg, Colina 0,087 g, Ferro 0,016 g, Cobre 3,33 mg, Manganês 0,021 g, Zinco 0,021 g, Iodo 0,33 mg, Selênio 0,10 mg, Enramicina 3,33 mg, Salinomicina sódica 0,022 g.

³Número de Mogin: 207,19 mEq/kg, Sódio 0,2400%, Cloro 0,4053% e Potássio 0,8490%.

Tabela 4. Dietas com níveis crescentes de lisina digestível obtidas pela técnica de diluição para codornas japonesas na fase de crescimento (10 a 36 dias).

Dietas	Níveis de lisina digestível						
	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30
Isenta de PB (%)	46,1538	38,4615	30,7692	23,0769	15,3845	7,6923	-
Alta PB (%)	53,8462	61,5385	69,2308	76,9231	84,6155	92,3077	100,00
Total (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Nutrientes calculados ¹ (%)							
EM (kcal/kg)	2.991,10	2.991,10	2.991,10	2.991,10	2.991,10	2.991,10	2.991,10
Proteína bruta	15,2283	17,4038	19,5792	21,7547	23,9302	26,1056	28,2811
Cálcio	0,8000	0,8000	0,8000	0,8000	0,8000	0,8000	0,8000
Fósforo disp.	0,3100	0,3100	0,3100	0,3100	0,3100	0,3100	0,3100
Sódio	0,2400	0,2400	0,2400	0,2400	0,2400	0,2400	0,2400
Cloro	0,4053	0,4053	0,4053	0,4053	0,4053	0,4053	0,4053
Potássio	0,8490	0,8490	0,8490	0,8490	0,8490	0,8490	0,8490
Met+Cis	0,7700	0,8800	0,9900	1,1000	1,2100	1,3200	1,4300
Met	0,5777	0,6602	0,7428	0,8253	0,9078	0,9904	1,0729
Lis	0,7000	0,8000	0,9000	1,0000	1,1000	1,2000	1,3000
Tre	0,8615	0,9846	1,1077	1,2308	1,3538	1,4769	1,6000
Trp	0,1615	0,1846	0,2077	0,2308	0,2538	0,2769	0,3000
Leu	1,3343	1,5249	1,7155	1,9062	2,0968	2,2874	2,4780
Ile	0,7700	0,8800	0,9900	1,1000	1,2100	1,3200	1,4300
Val	0,7700	0,8800	0,9900	1,1000	1,2100	1,3200	1,4300
Arg	1,1092	1,2677	1,4262	1,5846	1,7431	1,9015	2,0600
Fen	0,8400	0,9600	1,0800	1,2000	1,3200	1,4400	1,5600
Fen+Tir	1,2008	1,3723	1,5438	1,7154	1,8869	2,0585	2,2300
His	0,3208	0,3666	0,4124	0,4582	0,5041	0,5499	0,5957

¹Número de Mogin: 207,19 mEq/kg.

Tabela 5. Relações entre os aminoácidos nas dietas formuladas para codornas japonesas na fase de crescimento utilizando as técnicas de suplementação e diluição.

Aminoácidos	Suplementação							Diluição
	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	0,70 --- 1,30
Lisina	100	100	100	100	100	100	100	100
Metionina+Cistina	110	96	86	77	70	64	59	110
Metionina	71	63	56	50	45	42	38	83
Treonina	123	108	96	86	78	72	66	123
Triptofano	24	21	19	17	15	14	13	23
Leucina	264	231	206	185	168	154	142	190
Isoleucina	110	96	86	77	70	64	59	110
Valina	110	96	86	77	70	64	59	110
Arginina	159	139	123	111	101	93	85	158
Fenilalanina	126	110	98	88	80	73	68	120
Fenilalanina+Tirosina	221	194	172	155	141	129	119	172
Histidina	61	54	48	43	39	36	33	46

3.6 Ganho de nutrientes

Foram determinados os ganhos de proteína e gordura corporal por meio de abates comparativos ao início (grupo referência) e ao final do experimento. O grupo referência foi constituído por aves com peso $\pm 5\%$ do peso médio inicial ($33,7 \pm 0,42\text{g}$), representando 2,0% do grupo total de aves. Ao término do experimento, três aves de cada parcela, foram selecionadas aleatoriamente e submetidas a jejum de sólidos por 12 horas para o esvaziamento completo do trato digestório, em seguida as aves foram pesadas, insensibilizadas por eletrocussão e abatidas, sendo seguidamente depenadas e pesadas novamente. As aves depenadas e as respectivas amostras de penas foram devidamente identificadas e congeladas.

Posteriormente, as aves referentes a cada parcela foram moídas em moinho de carne industrial, homogeneizadas e secas em estufa, em seguida processadas em moinho refrigerado. As amostras de penas foram moídas em moinho de bola, e juntamente com as amostras das aves, foram analisadas a fim de obterem-se os teores de extrato etéreo (AOCS, 2017) e nitrogênio total (AOAC, 2016: método 981.10).

3.7 Análises estatísticas

A normalidade e homocedasticidade foram verificadas utilizando-se o teste de Shapiro-Wilk, sendo atendidas para todas as variáveis avaliadas. Os dados de desempenho, componentes de carcaça e deposição de nutrientes corporais foram submetidos a análises de variância e posteriormente submetidos ao teste de Tukey.

O modelo estatístico utilizado foi: $Y_{ij(k)} = \mu + Nlys_i + T_j + Nlys \times T_{ij} + \varepsilon_{ij(k)}$, em que $Y_{ij(k)}$ é o valor observado para a variável estudada; μ é o efeito da média geral; $Nlys_i$ é o efeito do i-ésimo nível de lisina digestível da ração, T_j é o efeito da j-ésima técnica de formulação, $Nlys \times T_{ij}$ é o efeito da interação entre os níveis de lisina digestível da ração e a técnica de formulação e $\varepsilon_{ij(k)}$ é o erro experimental.

Os dados foram submetidos a análises de regressão, considerando-se o nível de lisina da ração como variável independente, os modelos utilizados foram:

Linear Response Plateau (LRP). Empregou-se a equação geral:

$$Y = a + bx + \varepsilon, \text{ para } X \leq X_0$$

$$Y = \text{platô}, \text{ para } X > X_0$$

Onde: a representa o coeficiente linear e b o intercepto da reta com o eixo Y. O nível ótimo foi obtido pela intersecção da reta com o platô, sendo calculado por: $(\text{platô} - a)/b$.

Polinomial Quadrático (QP). Empregou-se a equação geral:

$$Y = ax^2 + bx + c + \varepsilon$$

Onde: a representa o coeficiente quadrático; b o coeficiente linear e c o ponto que corta o eixo Y. O nível ótimo foi obtido pela primeira derivada da função igualada a zero, sendo calculado por: $-b/2a$.

Quadrático Response Plateau (QRP). Empregou-se a equação geral:

$$Y = ax^2 + bx + c + \varepsilon, \text{ para } X \leq X_0$$

$$Y = \text{platô}, \text{ para } X > X_0$$

Neste modelo a equação quadrática é semelhante ao modelo polinomial quadrático, que descreve uma parábola e, posteriormente, forma platô como na LRP. O nível ótimo foi obtido pelo valor do eixo das abscissas na intersecção da parábola com o platô, sendo calculado por: $(-b + (b^2 - 4*a*(c - \text{platô}))^{0,5})/(2*a)$.

Exponencial (EXP). Empregou-se a equação geral:

$$Y = a + b*(1 - e^{-c*(N_{lys} - d)}) + \varepsilon$$

Neste modelo os coeficientes possuem interpretação biológica, no qual a é a resposta da variável estimada para a dieta contendo o nível mais baixo de lisina (basal), b é a diferença estimada entre a mínima e a máxima resposta obtida com a adição de lisina, c é o coeficiente de inclinação da curva e d é o nível de lisina da dieta basal. O nível ótimo foi obtido por 95% da resposta máxima, sendo calculado por: $(\ln 0,05/-c) + d$ (D'MELLO e LEWIS, 1970).

Combinação do LRP com o Polinomial Quadrático ($LRP \cap QP$). Empregou-se a equação geral:

$$Y = ax^2 + bx + c = \text{platô do LRP}$$

Esse não é um modelo matemático, mas sim a combinação de dois modelos, o LRP e o polinomial quadrático. O nível ótimo foi obtido pela primeira intersecção da parábola com o platô do LRP, sendo calculado por: $(-b + (b^2 - 4*a*(c - \text{platô}))^{0,5})/(2*a)$.

Para as variáveis que se ajustaram ao modelo QP, realizou-se a estimativa de 90% do nível ótimo estimado por esse modelo. Para verificar o ajuste das equações obtidas com o uso dos diferentes modelos levou-se em consideração os coeficientes de determinação ($R^2 = \text{SQ regressão} / \text{SQ total}$).

As análises estatísticas foram realizadas considerando-se 5% de probabilidade utilizando-se o PROC GLM, o PROC REG para o modelo polinomial quadrático e para os demais modelos de regressão foi utilizado o PROC NLIN (Gauss-Newton) do SAS (Version 9.1, SAS Inst. Inc., Cary, NC).

4. Resultados

4.1 Desempenho

Houve efeito de interação da técnica de formulação com os níveis de lisina digestível para o consumo de ração ($p=0,0009$), consumo de lisina digestível ($p=0,0012$), ganho de peso ($p<0,0001$) e conversão alimentar ($p=0,498$), conforme a Tabela 6. Não houve ajustamento de nenhum modelo aos dados de desempenho pela técnica de suplementação.

Os menores consumo de ração e ganho de peso foram observados na dieta com 0,7% de lisina digestível pela técnica de diluição, no entanto, nas dietas com 1,2% e 1,3% de lisina digestível a aplicação da técnica de diluição resultou em maior consumo de ração e, conseqüentemente, maior consumo de lisina em comparação com a técnica de suplementação. A pior conversão alimentar observada foi com 0,8% de lisina digestível pela técnica de diluição.

A aplicação dos modelos LRP e QRP permitiu estimar a exigência de lisina digestível em 1,14% e 1,29%, respectivamente, com base no consumo de ração (Tabela 7), os modelos EXP e QP extrapolaram os valores acima dos níveis de lisina testados, 1,72 e 1,31%, respectivamente, no entanto, pode-se chegar ao valor de 1,18% considerando 90% da resposta do modelo QP (Figura 1a).

O consumo de lisina digestível (Clys) apresentou efeito linear em ambas as técnicas de formulação com as seguintes equações: $\text{Clys} = -0,004 + 3,36\text{Nlys}$ ($R^2=0,95$ e $p=0,0002$) pela técnica de suplementação e $\text{Clys} = -0,70 + 4,10\text{Nlys}$ ($R^2=0,97$ e $p=0,0006$) pela técnica de diluição.

Tabela 6. Desempenho de codornas japonesas (10 a 36 dias) em função da técnica de formulação (TF), suplementação (S) e diluição (D), e a diferentes níveis de lisina digestível (Nlys) na dieta.

Efeitos principais	Consumo de ração (g/ave) ¹	Consumo de lisina (mg/ave) ¹	Ganho de peso (g/ave) ¹	Conversão alimentar (g/g/ave) ¹
TF				
S	336,05	3,36	99,40 ^a	3,35 ^b
D	336,00	3,39	97,39 ^b	3,42 ^a
EPM ²	0,02	0,01	1,00	0,03
P valor	0,9850	0,2830	0,0377	0,0041
Nlys				
0,7%	318,49	2,22	92,44	3,39
0,8%	330,31	2,64	93,81	3,50
0,9%	334,74	3,01	99,56	3,34
1,0%	340,80	3,40	100,62	3,34
1,1%	339,62	3,73	100,66	3,34
1,2%	347,43	4,16	100,13	3,45
1,3%	340,78	4,45	101,52	3,33
EPM ²	3,55	0,30	1,38	0,02
P valor	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0009
TF x Nlys				
S 0,7%	328,85 ^{bc}	2,30 ^g	98,43 ^{bc}	3,30 ^{bc}
S 0,8%	336,35 ^{ab}	2,69 ^{ef}	97,91 ^{bc}	3,40 ^{ab}
S 0,9%	339,58 ^{ab}	3,05 ^e	101,22 ^{ab}	3,34 ^{bc}
S 1,0%	342,70 ^{ab}	3,42 ^d	102,29 ^{ab}	3,33 ^{bc}
S 1,1%	332,50 ^{bc}	3,65 ^{cd}	99,81 ^{ab}	3,28 ^{bc}
S 1,2%	340,70 ^{ab}	4,08 ^b	97,16 ^{bc}	3,47 ^{ab}
S 1,3%	331,66 ^{bc}	4,31 ^b	98,95 ^{ab}	3,32 ^{bc}
D 0,7%	308,12 ^c	2,15 ^g	86,45 ^d	3,49 ^{ab}
D 0,8%	324,20 ^{bc}	2,59 ^f	89,72 ^{cd}	3,59 ^a
D 0,9%	329,89 ^{bc}	2,96 ^e	97,89 ^{bc}	3,35 ^{ab}
D 1,0%	338,89 ^{ab}	3,38 ^d	98,95 ^{ab}	3,35 ^{ab}
D 1,1%	346,75 ^{ab}	3,80 ^{cd}	101,51 ^{ab}	3,40 ^{ab}
D 1,2%	354,16 ^a	4,25 ^b	103,10 ^{ab}	3,43 ^{ab}
D 1,3%	349,89 ^a	4,60 ^a	104,08 ^{ab}	3,33 ^{ab}
EPM ²	3,11	0,20	1,30	0,02
P valor	0,0009	0,0012	<0,0001	0,0498

^{a-b} Médias com letras distintas na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey com $p < 0,05$.

¹ Cada valor representa a média de 6 repetições com 8 aves.

² EPM = erro padrão da média.

As exigências de lisina digestível pelo ganho de peso das codornas alimentadas com dietas formuladas através da técnica de diluição pelos modelos LRP, QP, QRP e LRP∩QP foram respectivamente: 0,98; 1,30; 1,27 e 1,10% (Tabela 7), o modelo EXP extrapolou a estimativa com o valor de 1,31%. Considerando 90% da resposta do QP estima-se a exigência em 1,17% de lisina digestível (Figura 1b).

A partir dos resultados de conversão alimentar (CA) pela técnica de diluição estimou-se a exigência de lisina digestível em 1,23% pelo modelo QP, 1,09% pelo modelo QRP, e 1,18% pelo modelo EXP (Tabela 8). Não houve ajustamento do modelo LRP aos resultados de CA, pois o platô não foi atingido dentro do limite dos níveis estudados (0,70-1,30%), com isso, também não foi possível estimar a exigência pela LRP∩QP. Considerando 90% da resposta do QP para essa variável, estimou-se exigência de 1,11% de lisina digestível, aproximando dos valores alcançados pelos modelos QRP e EXP (Figura 1c).

Tabela 7. Equações ajustadas e níveis de lisina digestível estimados com base nos dados de desempenho de codornas japonesas (10 a 36 dias) alimentadas com dietas formuladas a partir da técnica de diluição.¹

Modelo	Equação	R ²	p	Nlyso (%)
LRP	CR = 91,89Nlys+246,90 Platô = 352,0	0,75	<0,0001	1,14
QRP	CR = -113,6Nlys ² +299,4Nlys+154,8 Platô = 352,0	0,70	0,0004	1,29
LRP	GP = 45,60Nlys+57,18 Platô = 101,9	0,92	<0,0001	0,98
QP	GP = -49,22Nlys ² +128,2Nlys+20,40	0,70	<0,0001	1,30
QRP	GP = -49,22Nlys ² +128,2Nlys+20,40 Platô = 103,9	0,70	0,0008	1,27
LRP∩QP	GP = -49,22Nlys ² +128,2Nlys+20,40 = 101,9	-	-	1,10
QP	CA = 0,54Nlys ² -1,35Nlys+4,21	0,41	0,0230	1,23
QRP	CA = 1,03Nlys ² -2,26Nlys+4,61 Platô = 3,38	0,42	0,0331	1,09
EXP	CA = 3,97-0,63[1-exp ^{(-3,6297(Nlys-0,3620))}]	0,99	0,0238	1,18

¹LRP = Linear Response Plateau (equações válidas para $X \leq X_0$); QP = Quadrático Polinomial; QRP = Quadrático com resposta em Plateau (equações válidas para $X \leq X_0$); EXP = Exponencial; LRP∩QP = intersecção do LRP com QP; R² = coeficiente de determinação; p = probabilidade; Nlyso = nível ótimo de lisina digestível; GP = Ganho de peso; CR = Consumo de ração; CA = Conversão alimentar.

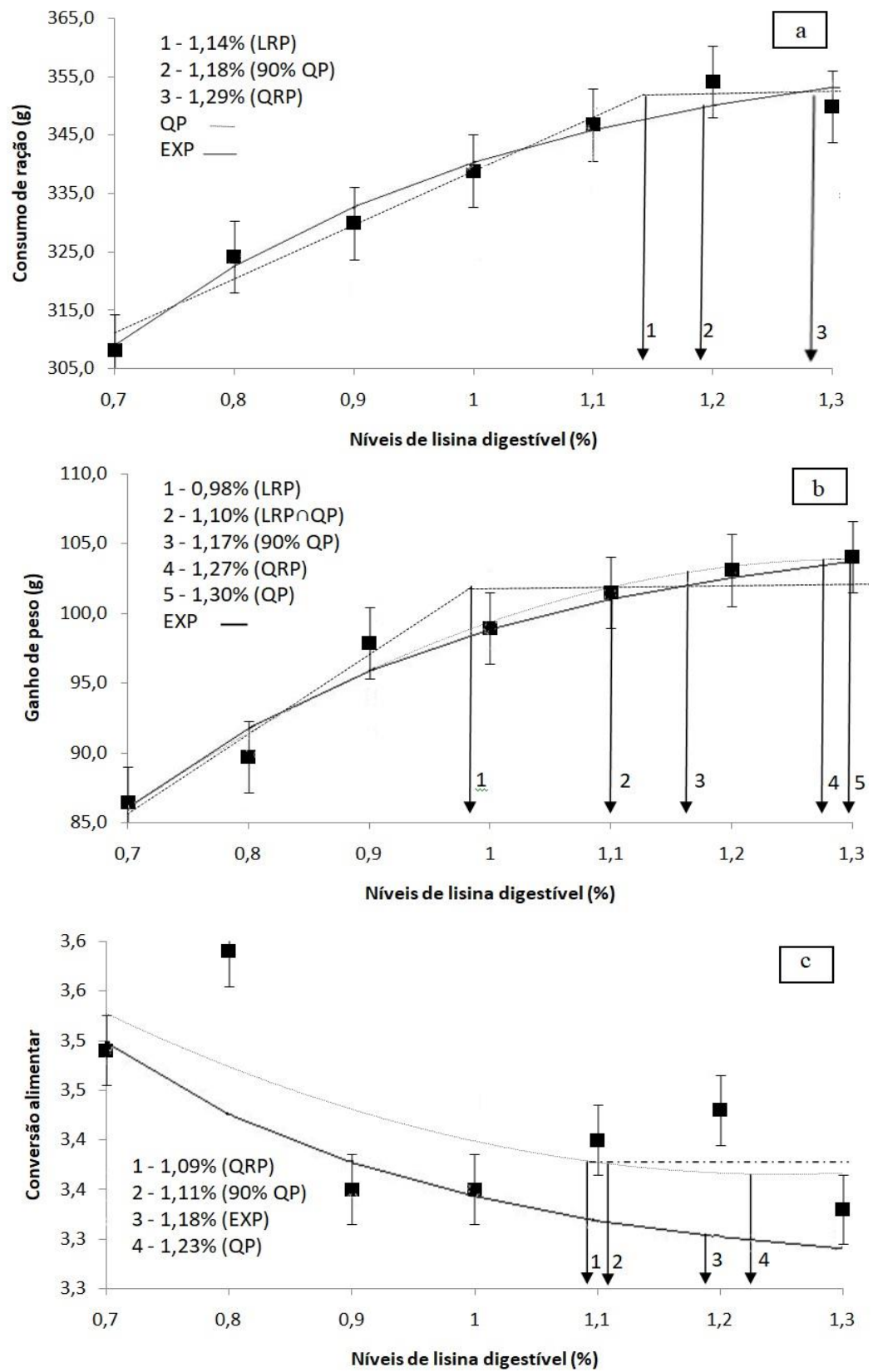


Figura 1. Consumo de ração (a), ganho de peso (b) e conversão alimentar (c) de codornas japonesas alimentadas com dietas formuladas pela técnica de diluição, contendo diferentes níveis de lisina digestível.

4.2 Componentes de carcaça

Ocorreu efeito de interação das técnicas de formulação com os níveis de lisina digestível para o peso de carcaça ($p=0,0006$). Não houve efeito de nenhuma das fontes de variação ($p>0,05$) para o rendimento de carcaça e percentagem de peito, a percentagem de pernas foi maior em codornas alimentadas pela técnica de diluição ($p=0,0111$) (Tabela 8).

Pela técnica de suplementação, dietas com 0,9% de lisina digestível resultaram em carcaças mais pesadas enquanto que pela técnica de diluição carcaças mais pesadas foram observadas em dietas com 1,0% de lisina digestível, além disso, a técnica de diluição proporcionou menor peso de carcaça no nível 0,7% de lisina digestível (Tabela 8).

Os resultados de peso de carcaça de codornas pela técnica de diluição possibilitaram estimar as exigências de lisina digestível em 1,15% pelo modelo QP (Tabela 9), sucedendo 90% da resposta do QP correspondente a 1,03% de lisina digestível (Figura 2). O modelo EXP extrapolou a estimativa com valor correspondente a 1,31%.

4.3 Ganho de nutrientes

Houve efeito de interação entre as técnicas de formulação e os níveis de lisina digestível para o ganho de proteína bruta ($p=0,0154$) e ganho de gordura bruta ($p<0,0001$), conforme descrito na Tabela 9, logo, os ganhos de proteína bruta e gordura bruta pelas codornas foram diferentes dependendo da técnica de formulação empregada. Não foi possível ajustar os modelos QRP e EXP aos dados de ganho de nutrientes.

O ganho de proteína bruta pela técnica de suplementação foi superior ao obtido pela técnica de diluição em dietas 0,7% de lisina digestível, as codornas alimentadas com dietas formuladas com base na técnica de suplementação foram mais eficientes na deposição de PB; a técnica de diluição promoveu menores ganhos de gordura bruta em comparação com a técnica de suplementação com menor ganho no nível 1,0% de lisina digestível (Tabela 8).

Os modelos LRP e QP ajustaram-se aos dados de ganho de proteína bruta (GPB) em ambas as técnicas utilizadas (Tabela 9), o LRP obteve valores de R^2 elevados, 0,91 para a técnica de suplementação e 0,93 para a técnica de diluição, evidenciando que as

equações obtidas descrevem de forma eficiente os valores observados. As estimativas de exigências de lisina digestível foram próximas, sendo 0,89% pela técnica de suplementação e 0,88% pela técnica de diluição, mas o platô pela técnica de suplementação foi ligeiramente mais alto, correspondendo a 0,77 g/d, enquanto o platô pela técnica de diluição correspondeu a 0,75 g/d (Figura 3a e 3b).

Quanto à aplicação do modelo QP aos dados de GPB, a técnica de suplementação proporcionou menor estimativa de exigência de lisina digestível e menor ganho máximo de proteína bruta calculado, a saber: 1,02% de lisina digestível e 0,75 g/d, quando comparada a técnica de diluição que proporcionou a estimativa de 1,05% de lisina digestível e o ganho máximo de proteína bruta calculado em 0,78 g/d (Figura 3a e 3b).

Atendendo-se 90% da estimativa do QP pelo ganho de proteína bruta, obtêm-se a estimativa de 0,92% e 0,94% de lisina digestível pela técnica de suplementação e diluição, respectivamente (Figura 3a e 3b). Ainda foi possível estimar a exigência de lisina digestível pela $LRP \cap QP$ em 1,06% com base na técnica de suplementação (Figura 3a), pela técnica de diluição não houve intersecção entre a parábola do QP e o platô do LRP.

Os resultados de ganho de gordura bruta (GGB) possibilitaram estimar a exigência de lisina digestível pelo modelo QP em ambas as técnicas utilizadas, a técnica de suplementação apresentou maior estimativa de exigência com valor de 1,06% de lisina digestível e 0,29 g/d de ganho mínimo de gordura calculado, enquanto a técnica de diluição permitiu a estimativa de 0,97% de lisina digestível e 0,20 g/d de ganho mínimo de gordura calculado (Tabela 9).

Considerando-se 90% da resposta do QP, obteve-se a estimativa de exigência em 0,96% de lisina digestível pela técnica de suplementação e 0,87% de lisina digestível pela técnica de diluição (Figura 4a e 4b).

Tabela 8. Componentes de carcaça e ganho de nutrientes de codornas japonesas (10 a 36 dias) em função da técnica de formulação (TF), suplementação (S) e diluição (D), e a diferentes níveis de lisina digestível (Nlys) na dieta.

Efeitos principais	Peso de carcaça (g/ave) ¹	Rendimento de carcaça (%) ¹	Peito (%) ¹	Pernas (%) ¹	Ganho de proteína bruta (g/d/ave) ¹	Ganho de gordura bruta (g/d/ave) ¹
TF						
S	87,64	67,27	39,86	21,34 ^b	0,76 ^a	0,32 ^a
D	86,90	66,97	40,56	22,09 ^a	0,73 ^b	0,24 ^b
EPM ²	0,37	0,15	0,35	0,37	0,01	0,04
P valor	0,5174	0,7555	0,2025	0,0111	<0,0001	<0,0001
Nlys						
0,7%	83,11	66,85	39,32	22,67	0,68	0,31
0,8%	85,55	69,24	41,05	20,76	0,72	0,30
0,9%	91,32	67,53	40,21	21,16	0,76	0,27
1,0%	90,27	67,90	40,57	21,74	0,79	0,24
1,1%	85,22	66,14	40,01	22,32	0,79	0,23
1,2%	88,87	66,10	40,03	21,73	0,75	0,30
1,3%	86,55	66,08	40,26	21,63	0,73	0,31
EPM ²	1,12	0,44	0,20	0,24	0,01	0,01
P valor	0,0038	0,5401	0,7685	0,0159	<0,0001	<0,0001
TF x Nlys						
S 0,7%	85,89 ^{bc}	66,01	38,31	22,73	0,71 ^{bc}	0,35 ^{ab}
S 0,8%	87,13 ^{ab}	66,22	41,10	19,52	0,74 ^{ab}	0,36 ^a
S 0,9%	97,79 ^a	70,40	40,58	20,05	0,79 ^a	0,32 ^{abc}
S 1,0%	87,77 ^{ab}	67,22	40,80	21,93	0,82 ^a	0,31 ^{bc}
S 1,1%	83,76 ^{bc}	66,21	39,73	22,21	0,77 ^{ab}	0,25 ^{cd}
S 1,2%	86,74 ^{bc}	66,74	39,15	21,56	0,76 ^{ab}	0,32 ^{abc}
S 1,3%	84,42 ^{bc}	68,12	39,31	21,41	0,74 ^{ab}	0,33 ^{ab}
D 0,7%	80,33 ^c	67,70	40,33	22,62	0,65 ^c	0,27 ^{cd}
D 0,8%	83,98 ^{bc}	72,27	41,00	22,01	0,70 ^{bc}	0,23 ^{de}
D 0,9%	84,84 ^{bc}	64,67	39,84	22,28	0,73 ^b	0,22 ^{de}
D 1,0%	92,77 ^{ab}	68,58	40,34	21,56	0,77 ^{ab}	0,18 ^e
D 1,1%	86,67 ^b	66,06	40,28	22,43	0,81 ^a	0,21 ^{de}
D 1,2%	91,01 ^{ab}	65,46	40,90	21,90	0,73 ^b	0,28 ^{cd}
D 1,3%	88,67 ^{ab}	64,04	41,21	21,85	0,71 ^{bc}	0,29 ^{cd}
EPM ²	1,16	0,58	0,22	0,24	0,01	0,01
P valor	0,0006	0,0515	0,6672	0,0500	0,0154	<0,0001

^{a-b} Médias com letras distintas na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey com p<0,05.

¹Cada valor representa a média de 4 repetições com 3 aves.

²EPM = erro padrão da média.

Tabela 9. Equações ajustadas e níveis de lisina digestível estimados com base nos dados de peso de carcaça e ganho de nutrientes em codornas japonesas alimentadas com dietas formuladas a partir das técnicas de suplementação e diluição.¹

SUPLEMENTAÇÃO				
Modelo	Equação	R ²	p	Nlyso (%)
LRP	GPB = 0,30Nlys+0,50 Platô = 0,77	0,91	0,0067	0,89
QP	GPB = -0,73Nlys ² +1,50Nlys-0,02	0,59	0,0001	1,02
LRP∩QP	GPB = -0,73Nlys ² +1,50Nlys-0,02 = 0,77	-	-	0,90
QP	GGB = 0,55Nlys ² -1,18Nlys+0,93	0,40	0,0125	1,06
DILUIÇÃO				
Modelo	Equação	R ²	p	Nlyso (%)
QP	PC = -48,34Nlys ² +111,3Nlys+25,87	0,71	0,0018	1,15
LRP	GPB = 0,53Nlys-0,27 Platô = 0,75	0,93	0,0011	0,88
QP	GPB = -1,06Nlys ² +2,24Nlys-0,40	0,75	<0,0001	1,05
QP	GGB = 0,95Nlys ² -1,84Nlys+1,10	0,79	<0,0001	0,97

¹LRP = Linear Response Plateau (equações válidas para $X \leq X_0$); QP = Quadrático Polinomial; LRP∩QP = intersecção do LRP com QP; R² = coeficiente de determinação; p = probabilidade; Nlyso = nível ótimo de lisina; GPB = Ganho de proteína bruta; GGB = Ganho de gordura bruta e PC = Peso de carcaça.

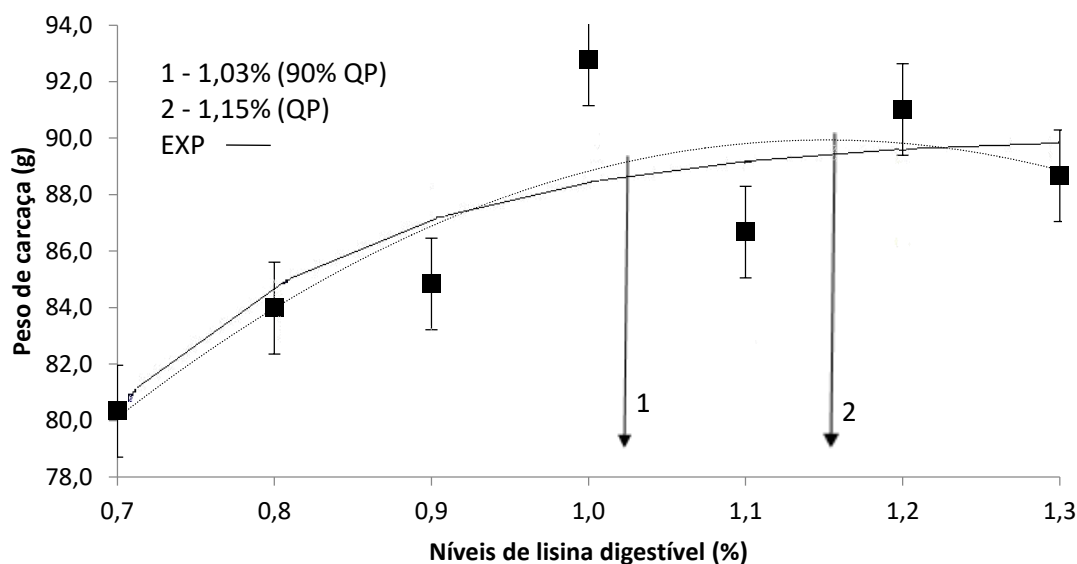


Figura 2. Peso de carcaça de codornas japonesas alimentadas com dietas formuladas pela técnica de diluição, contendo diferentes níveis de lisina digestível.

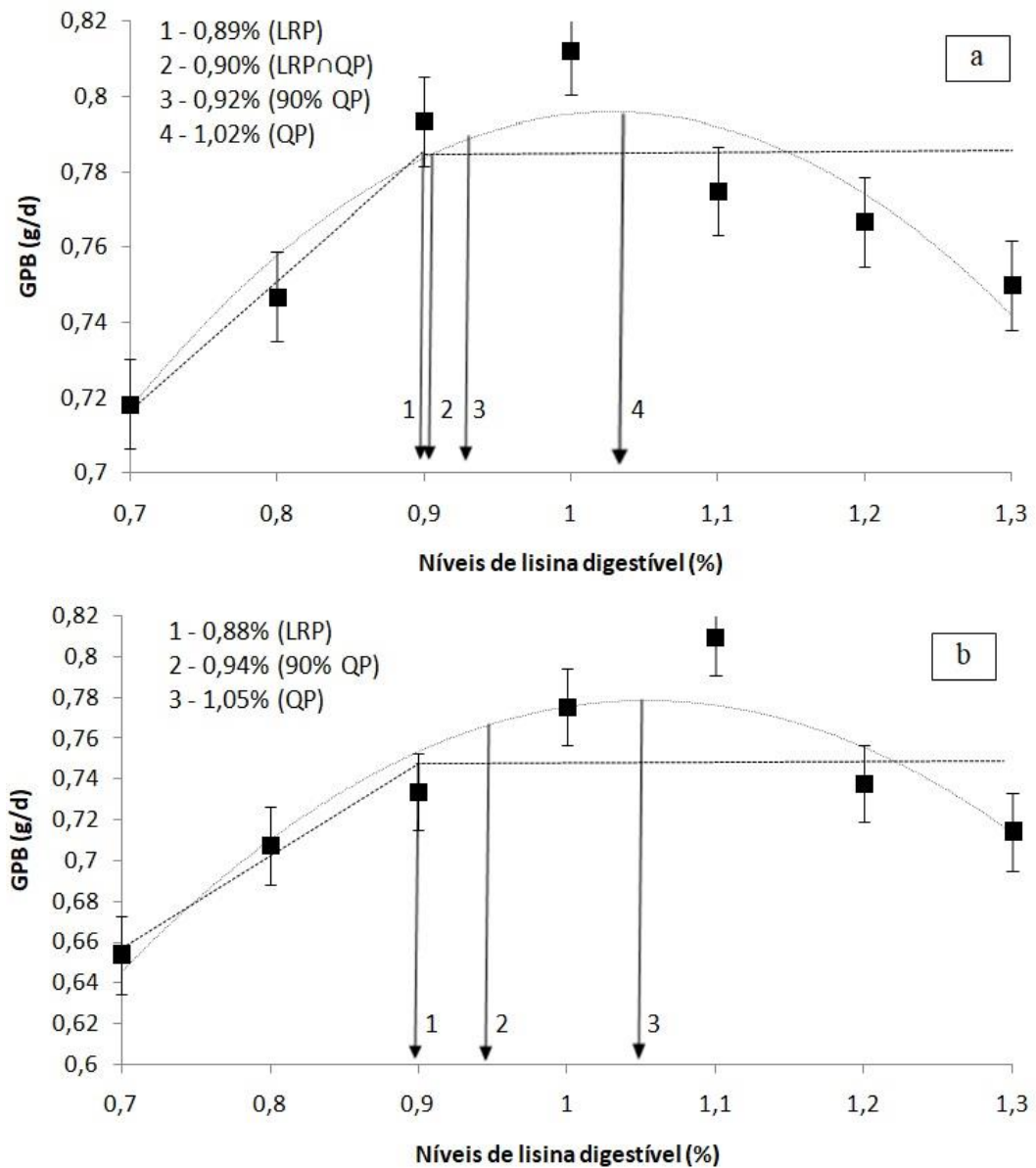


Figura 3. Ganho de proteína bruta de codornas japonesas alimentadas com dietas formuladas pela técnica de suplementação (a) e pela técnica de diluição (b), contendo diferentes níveis de lisina digestível.

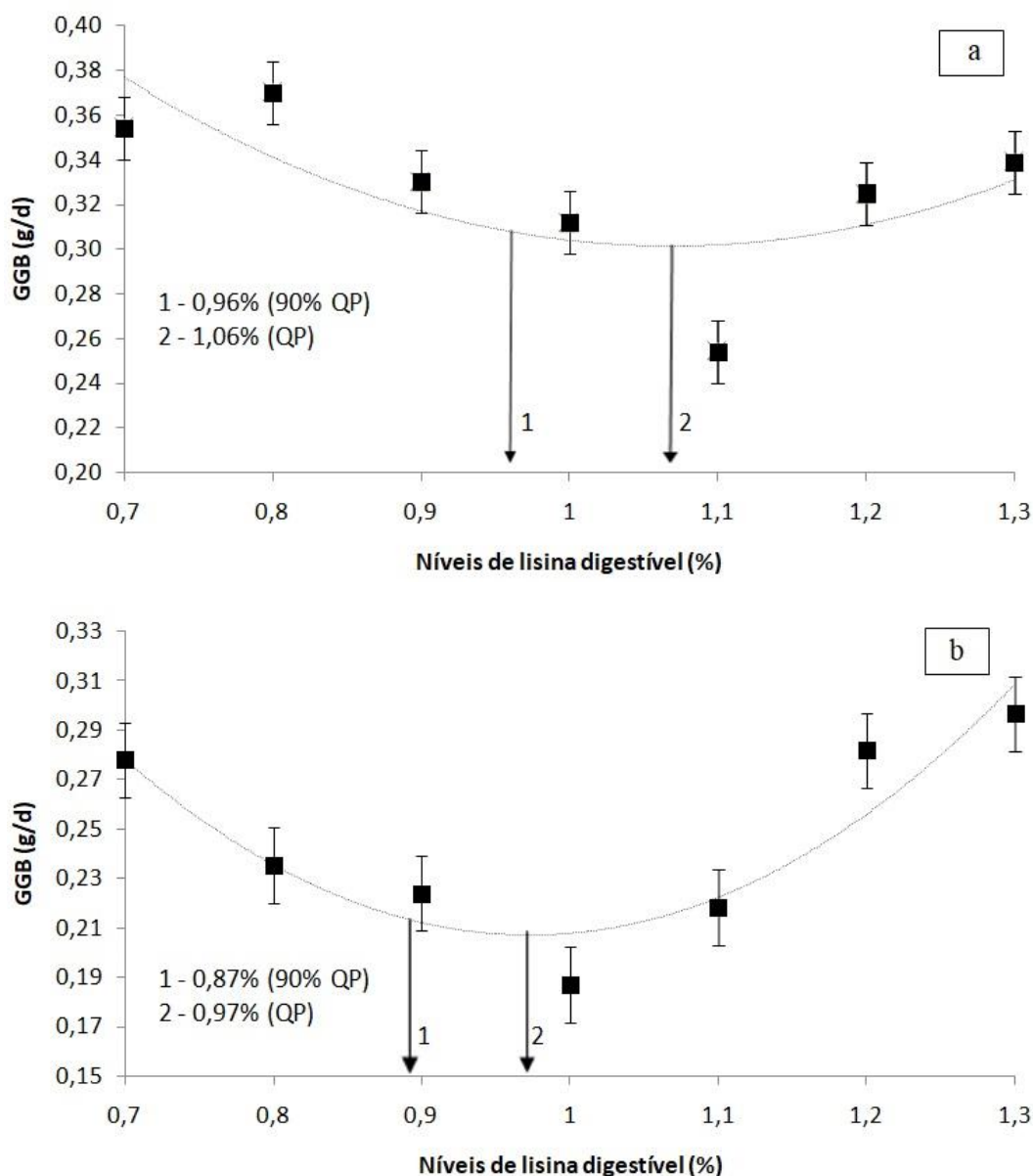


Figura 4. Ganho de gordura bruta de codornas japonesas alimentadas com dietas formuladas pela técnica de suplementação (a) e pela técnica de diluição (b), contendo diferentes níveis de lisina digestível.

5. Discussão

O consumo de ração é influenciado pela relação proteína:energia (Silva et al. 2004), as aves regulam o consumo de forma a atender as necessidades principalmente de energia, os excessos de energia e proteína aumentam os gastos de energia pelo decorrente do processo de catabolização e excreção dos aminoácidos excedentes. Situações com baixos teores de proteína e altos teores de energia resultam em menor consumo de ração e vice versa (OMIDIWURA et al. 2016).

Nas dietas obtidas pela técnica de diluição, não houve diferença no nível de energia metabolizável, porém houve diferença nos níveis de proteína bruta (Tabela 4), resultando na alteração da relação energia:proteína, ao contrário da técnica de suplementação (Tabela 2).

Dietas formuladas através da técnica de diluição com 0,7% e 1,3% de lisina continham cerca de 15% e 28% de proteína bruta, respectivamente, e mesmo teores de energia metabolizável, em decorrência disso, as codornas alimentadas com 1,3% de lisina digestível apresentaram maior consumo de ração e consequentemente, alto consumo de lisina, e menor consumo de ração quando alimentadas com dietas com 0,7% de lisina digestível.

Existe grande discussão sobre os efeitos das diferentes relações entre os aminoácidos sobre a resposta dos animais nos estudos de exigência, a técnica de suplementação proporciona diferentes relações ao passo que na técnica de diluição a relação entre os aminoácidos não se altera (GOUS 1980; D'MELLO 2003; SIQUEIRA et al. 2013).

Neste estudo, as codornas demonstraram ser mais sensíveis aos níveis reduzidos de proteína promovidos pela técnica de diluição do que as diferentes relações aminoacídicas promovidas pela técnica de suplementação (Tabela 5). Para a técnica de diluição, houve redução de cerca de 33% do nível de PB recomendado por Silva e Costa (2009), devido as diluições sucessivas.

Em dietas com 0,7% de lisina digestível, as condições nutricionais eram semelhantes entre as técnicas de formulação, com deficiência para lisina e demais aminoácidos na exigência (ou próximos), no entanto, as aves pela técnica de suplementação apresentaram desempenho superior quando comparadas com as aves pela técnica de diluição.

Mosaad e Iben (2009), trabalhando com codornas japonesas na fase de crescimento e início de postura, verificaram que codornas que receberam 21% de proteína bruta apresentaram pior consumo e ganho de peso. Sabe-se que é necessário um pool de nitrogênio disponível para a síntese dos aminoácidos não essenciais que também são importantes para o desenvolvimento do animal. Aftab et al. (2006) recomendam que a redução de proteína não seja maior que 10% das recomendações, mesmo com a suplementação dos aminoácidos essenciais.

A conversão alimentar é uma importante variável econômica resultante da relação entre o consumo de ração e o ganho de peso, as aves alimentadas com dietas formuladas pela técnica de diluição com 0,8% de lisina digestível foram menos eficientes, apresentando alto consumo de ração e baixo ganho de peso, por conseguinte, pior conversão alimentar.

A lisina é o principal aminoácido relacionado com a deposição muscular, havendo a relação positiva entre aumento de lisina e crescimento muscular (LIMA et al. 2016). A maior deposição muscular ocorre na região do peito e das coxas, no entanto, não houve alteração na percentagem de peito e pernas com o aumento dos níveis de lisina digestível.

Mehri et al. 2015 também não encontraram diferenças para percentagem de peito com o aumento do nível de lisina. Contudo, houve diferença para percentagem de pernas dependendo da técnica utilizada, a técnica de diluição promoveu maior desenvolvimento das pernas.

Além disso, a técnica de diluição proporcionou menor peso de carcaça ao nível 0,7% de lisina digestível, sabe-se que quanto maior o ganho de peso, maior o peso final da ave, este possui correlação positiva acima de 85% com o peso da carcaça (AKBARNEJAD et al. 2015); logo, o menor ganho de peso na técnica de diluição ao nível 0,7% de lisina resultou em menor peso de carcaça devido a alta correlação entre essas características.

A técnica de suplementação proporcionou maior eficiência no ganho de proteína bruta, e apresentaram maior teor de gordura corporal, Siqueira et al. (2013), trabalhando com frangos de corte na fase de 8 a 22 dias, também observaram os mesmos efeitos, no qual a deposição de proteína e gordura foi maior pela técnica de suplementação.

A técnica de diluição promoveu pior ganho de PB e menores teores de gordura corporal, sendo explicado pela alteração da relação de energia:proteína, nos primeiros níveis de lisina digestível havia alto teor de energia e baixo teor de proteína ocasionando redução do consumo e consequentemente, redução no ganho de nutrientes, no últimos níveis havia alto teor de proteína e baixo teor de energia, acarretando em maior gasto de energia devido ao catabolismo dos aminoácidos excedentes, resultando em menores ganhos de nutrientes.

Esses resultados reforçam a evidência que os níveis dietéticos de energia metabolizável e proteína bruta promovidos pela técnica de diluição afetam mais o desenvolvimento das aves do que as diferentes relações aminoacídicas promovidas pela técnica de suplementação. Além disto, considerando a fase de crescimento das aves, baixas reservas corporais de proteína e energia sucederão em início de postura tardia e deficiente.

Não foi possível ajustar nenhum dos modelos matemáticos testados aos dados de desempenho e composição de carcaça, obtidos a partir de codornas alimentadas com dieta formuladas com base na técnica de suplementação devido à baixa variação entre os dados dentro dos níveis de lisina digestível testados, fazendo com que os dados se comportassem de forma paralela ao eixo das abscissas. As extrapolações dadas pela aplicação dos modelos QP e EXP aos resultados de GP e PC, com valores acima de 1,3%, foram desconsideradas na obtenção do valor médio de exigência, assim como as estimativas obtidas pelo CR.

Morris (1983) comenta que a parábola formada pelo modelo QP apresenta uma curvatura muito sensível a variações nos intervalos dos tratamentos, podendo estimar valores ótimos fora dos intervalos estudados, além disso, esse modelo pressupõe respostas simétricas para a deficiência e para o excesso de determinado nutriente, frequentemente superestimando as estimativas. Pesti et al. (2009) comentam que os modelos não lineares não possuem sensibilidade para distinguir concentrações tóxicas do nutriente, cabendo melhoria aos modelos existentes.

No entanto, pela conversão alimentar através da técnica de diluição, os modelos QP e EXP tiveram boa aplicabilidade com estimativa mais coerente pelo modelo EXP, para Pack et al. (2003) a utilização de modelos não lineares é cada vez mais requerida, principalmente porque estes modelos descreverem de forma apropriada o significado biológico das respostas dos animais.

Porém, o modelo QP resultou em estimativa mais alta que o recomendado por Lima et al. (2016) em 1,18% e por Silva e Costa (2009) em 1,10%, entretanto, realizando a correção de 90% da resposta do QP, comentado por Sakomura e Rostagno (2016), é possível obter resultados com maior respaldo. Ainda assim, pelo peso de carcaça foi possível obter estimativa coerente utilizando o modelo QP, próximo ao recomendado pelos autores anteriormente citados.

O modelo QRP através dos dados de ganho de peso e consumo de ração pela técnica de diluição, derivou resultados próximos aos alcançados pelo modelo QP, esperava-se que este modelo possibilitasse estimativas mais ponderadas através da correção da simetria bilateral assumido pelo modelo QP, mas Araújo et al. (2014) também não encontrou resultados satisfatórios aplicando este modelo.

Apesar disso, a estimativa obtida com a aplicação do modelo QRP aos dados de conversão alimentar pela técnica de diluição, permitiram estimativas coerentes ao recomendado por Silva e Costa (2009) e Rostagno et al. (2017).

O modelo LRP quando aplicado aos dados de consumo de ração pela técnica de diluição, permitiu estimativa coerente com o proposto por Lima et al. (2016) e por Silva e Costa (2009), mas subestimou a exigência de lisina digestível quando aplicado aos dados de ganho de peso pela técnica de diluição, em comparação com o proposto por Lima et al. (2016) e por Silva e Costa (2009).

Morris (1983) e Pack (1996) concluíram em seus estudos que o modelo LRP apesar de ser de fácil aplicação e apresentar bom ajuste estatístico, tende a subestimar a dose-ótima, pois ignora a lei biológica do retorno decrescente e a interrupção abrupta da curva pelo platô pode levar a deduções falsas sobre o nível ótimo dos nutrientes.

O ajuste da LRP com intersecção no QP proposto por Baker et al. (2002), possibilitou estimativa coerente com o encontrado na literatura quando aplicado aos dados de consumo de ração pela técnica de diluição. No entanto, existe a dificuldade de se conseguir aplicar dois modelos (LRP e QP) e nem sempre é possível obter-se a intersecção entre os modelos.

As variáveis de ganho de nutrientes permitiram comparação entre as técnicas de formulação, os valores observados apresentaram comportamento coerente com o descrito na literatura, com o aumento dos níveis de lisina digestível ocorreu maior GPB até o atendimento da exigência (LIMA et al. 2015). O ganho de proteína e o ganho de gordura foram inversamente correlacionados em ambas as técnicas, o aumento de um resultou em diminuição do outro.

As estimativas através do ganho de proteína e gordura em ambas as técnicas de formulação aplicando o modelo QP foram próximas as recomendações tabeladas (SILVA e COSTA, 2009 e ROSTAGNO et al. 2017), 90% da resposta do QP e o $LRP \cap QP$ subestimaram a exigência de lisina.

Ao propor a técnica de diluição, Fisher e Morris (1970) colocam que as estimativas obtidas através desta técnica são mais confiáveis por serem baseadas na proteína intacta e, portanto, representam de forma mais eficaz as situações de campo, no entanto, na atualidade, é possível suplementar com os principais aminoácidos essenciais sem grandes diferenças de custo não havendo a necessidade de aplicação de estudos com base na proteína intacta.

Para Gous (1980) a técnica de diluição proposta por Fisher e Morris (1970) é um “método melhorado” pelo fato que ela proporciona relações aminoacídicas constantes entre os tratamentos, produzindo resultados mais confiáveis que a técnica da suplementação. Com a não alteração da relação entre os aminoácidos dentro dos níveis testados é possível isolar o efeito do aminoácido teste.

D’Mello (1982) comparou o ganho de peso de frangos de corte recebendo níveis crescentes de lisina em dietas formuladas pela técnica de suplementação dos aminoácidos (BOOMGAARDT e BAKER, 1973) e pela diluição das dietas (GOUS, 1980). O autor chegou à conclusão que não existem diferenças entre as técnicas devido à proximidade das respostas e que o excesso dos demais aminoácidos em relação ao aminoácido teste pode levar ao realce de reações antagônicas.

Gous e Morris (1985) reforçaram que a técnica de diluição supera as principais limitações da técnica de suplementação, mas que é necessário ter atenção no estudo de aminoácidos que são antagonizados, como a arginina, isoleucina e valina. Sterling et al. (2003) não encontraram diferença no uso das duas técnicas de formulação para estimativa da exigência de lisina para frangos de corte .

Neste estudo, as dietas formuladas pela técnica de diluição necessitaram de maior suplementação com aminoácidos industriais, o que pode gerar aumento nos custos dos ensaios de exigência. Além disso, a técnica de diluição acarretou em piora das variáveis avaliadas, resultando em estimativas de exigência de lisina digestível mais elevadas comparadas aos valores estimados pela técnica de suplementação.

Conforme D’Mello (2003) situações de desbalanço entre os aminoácidos levam ao aumento da exigência dos mesmos. Dietas com perfil de aminoácidos equilibrado levam a estimativas mais baixas (MORRIS et al. 1999). Apesar dos bons ajustes aos modelos matemáticos alcançados pela técnica de diluição, é preciso ponderar as questões matemáticas e as questões biológicas.

Novas evidências com este trabalho sugerem que o comportamento dos dados dentro das técnicas de formulação interferem nos ajustes aos modelos matemáticos; a técnica de diluição possibilita melhores estimativas com o linear response com platô com intersecção no quadrático polinomial ou 90% quadrático polinomial, enquanto a técnica de suplementação possibilita melhores estimativas pelo modelo quadrático polinomial. O modelo linear response platô subestima o nível ótimo e o modelo exponencial superestima.

6. Conclusões

A exigência de lisina digestível recomendada para maior ganho de peso e ganho de proteína, e menor conversão alimentar e ganho de gordura de codornas japonesas na fase de crescimento com base na técnica de suplementação é 0,98% correspondendo a 126mg/dia e pela técnica de diluição é 1,15% correspondendo a 148mg/dia.

A técnica de formulação influencia na estimativa da exigência, sendo recomendada a técnica de suplementação. Os modelos matemáticos utilizados para determinação de exigência também influenciam nos níveis ótimos estimados, recomendando-se o $LRP \cap QP$ ou quando não for possível obter a intersecção entre esses modelos, utilizar 90% da resposta do QP.

7. Referências

- AFTAB, U.; ASHRAF, M.; JIANG, Z. Low protein diets for broilers. **World's Poultry Science Journal**, v. 62, p. 688-701, 2006.
- AKBARNEJAD, S., ZEREHDARAN, S., HASSANI, S. et al. Genetic evaluation of carcass traits in Japanese quail using ultrasonic and morphological measurements. **British Poultry Science**, v. 56, p. 293-298, 2015.
- ALBINO, L.F.T.; BARRETO, S.L.T. **Criação de codornas para produção de ovos e carne**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil Editora, 2012. 268p.
- AOAC. 2016. Official methods of analysis. 20th ed. AOAC Int., Washington, D.C.
- AOCS. 2017. Official methods and recommended practices of the American Oil Official Method Chemists' Society. 7th. ed.
- ARAÚJO, J.A.; SAKOMURA, N.K.; SILVA, E.P. et al. Response of pullets to digestible lysine intake. **Czech Journal of Animal Science**, v. 59, n. 5, p. 208–218, 2014.
- BAKER, D.H.; BATAL, A.B.; PARR, T.M. et al. Ideal Ratio (Relative to Lysine) of Tryptophan , Threonine , Isoleucine , and Valine for Chicks During the Second and Third Weeks Posthatch. **Poultry Science**, v. 81, p. 485-494, 2002.
- BAKER, D.H; HAN, Y. Ideal amino acid profile for chicks during the first three weeks posthatching. **Poultry Science**, v.73, p.1441-1447, 1994.
- BOOMGAARDT J.; BAKER D.H. The lysine requirement of growing chicks feed sesame meal-gelatin diets at three protein levels. **Poultry Science**, v.52, p.586-595, 1973.
- BUTERI, C. B.; TAVERNARI, F. D. C.; ROSTAGNO, H. S. et al. Exigências de lisina, planos nutricionais e modelos matemáticos na determinação de exigências. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 3, n. 2, p. 48–61, 2009.
- D'MELLO, J.P.F. A comparison of two empirical methods of determining amino acid requirements. **World's Poultry Science Journal**, v. 38, p. 114-119, jun, 1982.
- D'MELLO, J.P.F. **Amino Acids in Farm Animal Nutrition**. 2 ed. Wallingford, Oxon, UK: CAB International, 2003. 526p.
- D'MELLO, J.P.F; LEWIS, D. Amino acids interactions in chick nutrition. 3. Interdependence in amino acids requirements. **British Poultry Science**, v. 11, p. 367-385, 1970.
- FISHER C.; MORRIS, T.R. The determination of the methionine requirement of laying pullets by a diet dilution technique. **British Poultry Science**, v. 11, n. 1, p. 67-82, 1970.
- GOUS, R.M. An improved method for measuring the response of broiler chickens to increasing dietary concentrations of an amino acid. In: **European Poultry Conference, Proceedings...**Hanburg: World's Poultry Science Association, v.3, p.32–39, 1980.

GOUS, R.M. Measurement of response in nutritional experiments. In: Fisher C.; Boorman, K.N. (eds) **Nutrient Requirements of Poultry and Nutritional Research**. p. 41-57. 1986.

GOUS, R.M.; MORRIS, T.R. Evaluation of a diet dilution technique for measuring the response of broiler chickens to increasing concentrations of lysine. **British Poultry Science**, v. 26, n. 2, p. 147-161, 1985.

HRUBY, M. **The amino acid maintenance and growth requirements of male broilers**. 144f. Thesis (Ph.D. in Animal Science). University of Minnesota, Minnesota, 1998.

KAPS, M.; LAMBERSON, W.R. **Biostatistics for animal science**. Wallingford: CABI Publishing, 2004. 445p.

LIMA, H.J.D.; BARRETO, S.L.T.; DONZELE, J.L. et al. Digestible lysine requirement for growing Japanese quails. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 25, p. 483-491, Jun, 2016.

LIMA, H.J.D.; BARRETO, S.L.T.; DONZELE, J.L. et al. Ideal ratio of digestible methionine plus cystine to digestible lysine for growing Japanese quails. **Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias**, v. 28, p. 313-322, 2015.

LIMA, M.C. **Influência do plano nutricional e da temperatura ambiente no desempenho produtivo e econômico de codornas japonesas**. 2019. 45f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Zootecnia), Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2019.

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

MENDOZA, M.O.B.; COSTA, P.T.C.; KATZER, L.H. et al. Desempenho de frangos de corte, sexados, submetidos a dietas formuladas pelos conceitos de proteína bruta versus proteína ideal. **Ciência Rural**, v. 31, n. 1, p. 111-115, 2001.

MITCHELL, H.H. **Comparative nutrition of man and domestic animals**. 1 Ed. New York, NY: Academic Press, 1964. 720p.

MORRIS, T. R. **The interpretation of response data from animal feeding trials**. Pages 13-23 in Recent Developments in Poultry Nutrition. eds DJA Cole and W Haresign. London: Butterworths. 1983.

MORRIS, T. R., GOUS, R. M., FISHER, C. An analysis of the hypothesis that amino acid requirements for chicks should be stated as a proportion of dietary protein. **Worlds Poultry Science Journal**, v. 55, p. 7-22, 1999.

MORRIS, T.R.; The interpretation of response data from animal feeding trials. In: **Recent Developments in Poultry Nutrition** (eds DJA Cole and W Haresign), pp.1- 11. Butterworths, London. 1989.

MOURA, A.M.A. Conceito da proteína ideal aplicada na nutrição de aves e suínos. **Revista Eletrônica Nutritime**, v.1, n. 1, p.31-34, 2004.

MURAKAMI, A.E.; GARCIA, E.R.M. 2014. Nutrição de codornas japonesas. P. 621-641 in **Nutrição de não ruminantes**. Jaboticabal, SP: Funep, 2014. 678p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrient Requirements of Poultry**. National Academic Press, Washington, D.C, 1994. 176p.

NELSON, D.; COX, M.M. **Princípios de bioquímica de Lehninger** [recurso eletrônico]. 6. ed., Porto Alegre: Artmed, 2014. 1250p.

OLIVEIRA NETO, A.R.; OLIVEIRA, W.P. Aminoácidos para frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 205-208, 2009 (supl. especial).

OMIDIWURA, B. R. O., ODU, O., AGBOOLA, A.F., et al 2016. Crude protein and energy requirements of japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) during rearing period. **Journal World Poultry Research**, v. 6, p.99-104, 2016.

PACK, M.; HOEHLER, D.; LEMME, A.; Economic assessment of amino acid responses in growing poultry. In: D'MELLO, J.P.F., **Amino acids in animal nutrition**. CAB International, 2 ed., p. 459-483, 2003.

PACK, M.; Models use to estimate nutrient requirements with emphasis in economic aspects. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE AVES E SUÍNOS. 1996, Viçosa, **Anais**. Viçosa-MG: Universidade Estadual de Viçosa, p.43-54, 1996.

PESSÔA, G.B.S.; TAVERNARI, F.C.; VIEIRA, R.A.; ALBINO, L.F.T. Novos conceitos em nutrição de aves. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, n. 3, p. 755-774, 2012.

PESTI G.M.; VEDENOV D.; CASON J.A.; BILLARD L. A comparison of methods to estimate nutritional requirements from experimental data. **British Poultry Science**, v. 50, n. 1, p. 16-32, 2009.

PINTO, R; FERREIRA, A.S.; DONZELE, J.L. et al. Exigências de metionina mais cistina para codornas japonesas em crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 5, p. 1174-1181, 2003.

ROBBINS, K.L; **A method, SAS program, and example for fitting the broken-line to growth data**. Tennessee: University of Tennessee, Agricultural Experiment Station, 8p. (Research Report 86/09), 1986.

ROSTAGNO, H.S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos (composição de alimentos e exigências nutricionais)**. 4. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2017. 488p.

SAKOMURA, N.K.; ROSTAGNO, H.S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. 2. Ed. Jaboticabal, SP: Funep, 2016. 262p.

SILVA, J.H.V.; ALBINO, L.F.T.; NASCIMENTO, A.H. Níveis de energia e relações energia:proteína para frangos de corte de 22 a 42 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 6, p. 1791-1800, 2001.

SILVA, J.H.V.; COSTA, F.G.P. **Tabelas para codornas japonesas e européias**. Jaboticabal, São Paulo, SP: FUNEP, 2009. 107p.

SILVA, J.H.V.; JORDÃO FILHO, J.; SILVA, E.L. et al. Exigência de metionina+cistina de poedeiras semipesadas mantendo ou não relação aminoácidos sulfurosos:lisina. In. Conferência APINCO de Ciência e Tecnologias Avícolas. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Suplemento 4, Campinas-SP, p. 69, 2002.

SILVA, J.H.V.; JORDÃO FILHO, J.; COSTA, F.G.; LACERDA, P.B.; VARGAS, D.G.V.; LIMA, M.R. Exigências nutricionais de codornas. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, n. 3 p. 775–790, 2012.

SIQUEIRA, J.C.; SAKOMURA, N.K.; DOURADO L.R.B. et al. Diet formulation techniques and lysine requirements of 1- to 22-day-old broilers Two experiments were carried out to compare two techniques. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 15, n. 2, p. 123-134, 2013.

STERLING, K. G., PESTI, G. M., BAKALLI, R. I. Performance of Broiler Chicks Fed Various Levels of Dietary Lysine and Crude Protein. *Poultry Science*, v. 82, p. 1939–1947, 2003.