

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL - PPGCA

RODERJAN ANDRINO DE SOUZA

NÍVEIS DE LISINA E METIONINA PARA PATOS DE PEQUIM

LAGES

2026

RODERJAN ANDRINO DE SOUZA

NÍVEIS DE LISINA E METIONINA PARA PATOS DE PEQUIM

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-graduação em Ciência Animal, da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), como requisito para obtenção do grau título de Doutor em Ciência Animal.

Orientador: Prof. Clóvis Gewehr

LAGES

2026

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Universitária Udesc,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Souza, Roderjan Andrino de
Níveis de lisina e metionina para patos de pequim /
Roderjan Andrino de Souza. -- 2026.
79 p.

Orientador: Clóvis Eliseu Gewehr
Tese (doutorado) -- Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de
Pós-Graduação em Ciência Animal, Lages, 2026.

1. aminoácidos. 2. avicultura. 3. desempenho zootécnico.
4. lisina. 5. metionina. I. Gewehr, Clóvis Eliseu. II.
Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de
Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Ciência Animal. III. Título.

RODERJAN ANDRINO DE SOUZA

NÍVEIS DE LISINA E METIONINA PARA PATOS DE PEQUIM

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-graduação em Ciência Animal, da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), como requisito para obtenção do grau título de Doutor em Ciência Animal.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Clóvis E. Gewehr

Universidade do Estado de Santa Catarina — UDESC

Membros:

Dr. Juahil Martins de Oliveira Junior

Instituto Federal Catarinense – IFC

Dr^a. Stelamaris Dezen

Instituto Federal Catarinense - IFC

Dr. Thiago El Hadi Perez Fabregat

Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Dr. Vladimir de Oliveira

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Lages, 06 de fevereiro de 2026

Dedico este trabalho à minha mãe,
Irene Maria de Souza.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à Deus inicialmente a oportunidade de participar de uma pós-graduação, com saúde e iluminando o meu caminho a cada dia.

Ao meu orientador Dr. Clóvis Gewehr, o qual aceitou a minha candidatura ao programa de pós-graduação. Tenho profunda admiração por sua dedicação à vida acadêmica e à toda a comunidade.

À minha família, iniciando pela minha esposa Juliana, em quem confio, minha confidente, suporte e pelo amor. Minhas filhas Laura e Isabela, que são a razão de toda luta e são nossos incentivos.

À empresa Villa Germania que é a minha segunda casa, e a qual dedico grande parte do meu tempo, seja trabalhando ou me atualizando para conquistas maiores.

Aos colegas de trabalho que compartilham comigo, momentos de muita força, garra e dedicação.

Agradeço aos colegas das empresas que contribuíram neste trabalho.

À UDESC que proporcionou e continua proporcionando através de sua rede de professores, um vasto conhecimento.

A todos os colegas e amigos da pós-graduação, agradeço a ajuda e os momentos de estudo e descontração.

Ao meu pai (*in memoriam*), sempre me acompanha em orações e sempre exigiu o estudo contínuo de seus filhos.

À minha querida mãe, batalhadora que torce sempre por mim em todos os momentos.

Muito obrigado!

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho zootécnico de patos de pequim, entre 0 e 42 dias de idade, criados em sistema confinado com diferentes níveis nutricionais de metionina e lisina. Dois experimentos dose-resposta com diferentes níveis de metionina e lisina foram realizados. No primeiro, cinco níveis diferentes de lisina (1,08%; 1,18%; 1,28%; 1,38% e 1,48%) em uma ração classificada como “Inicial” de 0 a 21 dias de idade, e na sequência dessa fase, outros cinco níveis também de lisina para uma ração classificada como crescimento (0,78%; 0,85%; 0,93%; 1,00% e 1,08%). No segundo experimento, cinco níveis diferentes de metionina (0,43%; 0,53%; 0,63%; 0,73% e 0,83%) em uma ração classificada como “Inicial” de 0 a 21 dias de idade, e na sequência dessa fase, outros cinco níveis também de metionina para uma ração classificada como crescimento (0,33%; 0,43%; 0,53%; 0,63% e 0,73%). Ambos os experimentos foram conduzidos com patos de pequim do sexo masculino, em delineamento inteiramente casualizado, com 5 e 9 repetições e vinte aves por unidade experimental, e com peso uniformizado. Os patos de pequim foram criados até 42 dias, avaliando-se o desempenho zootécnico (peso vivo, ganho de peso total, consumo de ração e conversão alimentar). Ao término de cada experimento, 50 aves de cada experimento foram avaliadas para rendimento de carcaça e de cortes (peito, coxa e sobrecoxa). Os dados foram submetidos ao teste de normalidade e análise de variância e quando houve diferença significativa ($P < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste Tukey. Os dados também foram submetidos a modelos de regressão quadrática e linear. Entre 0 e 21 dias, a variação nos níveis de lisina entre 1,08% e 1,48% não alterou desempenho (consumo, ganho de peso, conversão alimentar e peso final), permitindo o uso de 1,08% para reduzir custos. Dos 21 aos 42 dias, o consumo e o ganho de peso não mudaram com os níveis de lisina, mas a conversão alimentar melhorou com o aumento, sendo 1,007% o ponto de melhor eficiência. O nível mais baixo (0,78%) foi o menos eficiente para a conversão alimentar, e os rendimentos de carcaça e cortes (peito, coxa e sobrecoxa) permaneceram estáveis em todos os níveis. No Experimento 1 da metionina, não houve diferença significativa no consumo nem no ganho de peso, mas melhorou significativamente a conversão alimentar, com nível ótimo estimado em 0,73%. No Experimento 2, o consumo foi influenciado, porém sem ajuste significativo no modelo de regressão e o ganho de peso não mudou. A conversão alimentar melhorou nos

níveis intermediários e altos (entre 0,43 e 0,73%), sem ponto ótimo definido por modelo quadrático. O rendimento de peito não foi afetado, enquanto o de coxa e sobrecoxa apresentou efeito significativo, com ponto mínimo recomendado de 0,57% de metionina.

Palavras-chave: aminoácidos, avicultura, desempenho zootécnico, lisina, metionina, patos de pequim.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the zootechnical performance of Peking ducks raised in a confined system through different nutritional levels of methionine and lysine to assess the performance of Peking ducks from 1 to 42 days of age. Two dose-response experiments with different levels of methionine and lysine were carried out. In the first, five different levels of lysine (1.08%; 1.18%; 1.28%; 1.38% and 1.48%) were used in a common diet as a "Starter" from 1 to 21 days of age, and subsequently, another five levels of lysine were used in a diet as a growth diet (0.78%; 0.85%; 0.93%; 1.00% and 1.08%). In the second experiment, five different levels of methionine (0.43%; 0.53%; 0.63%; 0.73% and 0.83%) were used in a common "Starter" diet from 0 to 21 days of age, and subsequently, another five levels of methionine were used in a growth diet (0.33%; 0.43%; 0.53%; 0.63% and 0.73%). Both experiments were extended with male Peking ducks, in a completely randomized design, with 5 and 9 replicates and twenty birds per experimental unit, and with standardized weight. The Peking ducks were raised for up to 42 days, and zootechnical performance (live weight, total weight gain, feed intake and feed conversion) was evaluated. At the end of each experiment, 50 birds from each experiment will be evaluated for carcass and cut yield (breast, thigh and drumstick). The data were subjected to normality testing and analysis of variance, and when there was a significant difference ($P < 0.05$), the means were compared using Tukey's test. The data were also subjected to quadratic and linear regression models. Between 0 and 21 days, the variation in lysine levels between 1.08% and 1.48% did not alter performance (consumption, weight gain, feed conversion, and final weight), allowing the use of 1.08% to reduce costs. From 21 to 42 days, consumption and weight gain did not vary with lysine levels, but feed conversion improved with increasing levels, with 1.007% being the point of best efficiency. The lowest level (0.78%) was the least efficient for feed conversion, and the resulting carcass and cut yields (breast, thigh, and drumstick) at all levels. In Experiment 1, methionine showed no significant difference in feed intake or weight gain, but significantly improved feed conversion, with an estimated optimal level of 0.73%. In Experiment 2, feed intake was influenced, but without a significant adjustment in the regression model, and weight gain did not change. Feed conversion improved at intermediate and high levels (between 0.43 and 0.73%), without an optimal point defined by the quadratic model. Breast yield was not affected, while thigh and

drumstick yield showed a significant effect, with an estimated minimum point of 0.57% methionine.

Keywords: amino acid, lysine, peking ducks, poultry farming, zootechnical performance.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição nutricional das dietas experimentais de 0 a 21 dias.....	44
Tabela 2. Composição nutricional das dietas experimentais de 21 a 42 dias.....	45
Tabela 3. Peso Inicial, consumo de ração, ganho de peso total, conversão alimentar e peso final de 0 a 21 dias*	46
Tabela 4. Peso Inicial, consumo, ganho de peso total, conversão alimentar e peso final de 21 a 42 dias	46
Tabela 5. Rendimento de carcaça, peito e coxa/sobrecoxa de patos aos 42 dias de idade	48
Tabela 6. Composição nutricional das dietas experimentais de 0 a 21 dias.....	64
Tabela 7. Composição nutricional das dietas experimentais de 21 a 42 dias.....	65
Tabela 8. Peso Inicial, consumo, ganho de peso total, conversão alimentar e peso final de 0 a 21 dias	66
Tabela 9. Peso Inicial, consumo de ração, ganho de peso total, conversão alimentar e peso final de 21 a 42 dias.....	67
Tabela 10. Rendimento de carcaça, peito e coxa/sobrecoxa de patos aos 42 dias de idade	69

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Ave anilhada com número de identificação	43
Figura 2. Baías experimentais	63

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Efeito linear da lisina no ganho de peso de 21 a 42 dias.....	47
Gráfico 2. Efeito quadrático da lisina na conversão alimentar de 21 a 42 dias.....	47
Gráfico 3. Resposta de consumo à metionina na dieta de 0 a 21 dias.	66
Gráfico 4. Resposta da conversão alimentar à metionina na dieta de 0 a 21 dias.....	67
Gráfico 5. Resposta linear da conversão alimentar à metionina de 21 a 42 dias	68
Gráfico 6. Resposta do rendimento à metionina de 21 a 42 dias.....	69

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	16
1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 Lisina	19
2.1.1 Estrutura molecular da Lisina	20
2.1.2 Fontes de Lisina para aves	20
2.1.3 Absorção e transporte de Lisina	21
2.1.4 Inter-relação da lisina com outros nutrientes	21
2.1.5 Deficiência de Lisina	22
2.1.6 Lisina para os patos	22
2.2 Metionina	23
2.2.1 Estrutura molecular da Metionina	23
2.2.2 Fontes de Metionina	24
2.2.3 Absorção e transporte de Metionina	24
2.2.4 Inter-relação entre Metionina e outros nutrientes	24
2.2.5 Deficiência de Metionina	25
2.2.6 Metionina em Patos	26
3 HIPÓTESES	27
4 OBJETIVOS	28
4.1 OBJETIVO GERAL	28
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	28
REFERÊNCIAS	29
CAPÍTULO II EXIGÊNCIA NUTRICIONAL DE LISINA PARA PATOS DE PEQUIM	37
5 EXIGÊNCIA NUTRICIONAL DE LISINA PARA PATOS DE PEQUIM	38
5.1 RESUMO	38
5.2 ABSTRACT	39
5.3 INTRODUÇÃO	40
5.5 RESULTADOS	46
5.5.1 PERÍODO DE 0 A 21 DIAS DE IDADE	46
5.5.2 PERÍODO DE 21 A 42 DIAS DE IDADE	46
5.5.3 RENDIMENTO DE CORTES	48
5.6 DISCUSSÃO	48
5.6.1 PERÍODO DE 0 A 21 DIAS	48
5.6.2 PERÍODO DE 21 A 42 DIAS	49
5.6.3 RENDIMENTO DE CORTES	51

5.7 CONCLUSÃO	52
CAPÍTULO III	57
6 EXIGÊNCIA NUTRICIONAL DE METIONINA PARA PATOS DE PEQUIM	58
6.1 RESUMO	58
6.2 ABSTRACT	59
6.3 INTRODUÇÃO	60
6.4 MATERIAL E MÉTODOS	62
6.5 RESULTADOS	66
6.5.1 PERÍODO DE 0 A 21 DIAS	66
6.5.2 PERÍODO DE 21 A 42 DIAS	67
6.5.3 RENDIMENTO DE CARCAÇA	69
6.6 DISCUSSÃO	70
6.6.1 PERÍODO DE 0 A 21 DIAS	70
6.6.2 PERÍODO DE 21 A 42 DIAS	72
6.6.3 RENDIMENTO	73
6.7 CONCLUSÃO	76
REFERÊNCIAS	77

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

Com a melhoria da genética e de técnicas de manejo na avicultura moderna, a evolução na nutrição tem sido considerada um dos principais alicerces no aumento de desempenho e performance das aves principalmente industriais e para o consumo humano (Lutter, 2020; Wambogo et al., 2023).

Apesar de índices zootécnicos cada vez melhores, o estudo especificamente da nutrição avícola ainda continua sendo amplamente aperfeiçoado e nesse contexto, incluem-se os aditivos alimentares, que nada mais são, matérias-primas que favorecem o alcance das recomendações nutricionais das aves, seja ela voltada para crescimento, proteção contra agentes biológicos, aumento da imunidade, redução dos custos de produção refletida pela melhora da performance (Perera e Ravindran, 2025).

Dentre esses aditivos, destacam-se os aminoácidos, os quais possuem diversas funções nos organismos das aves, que vão desde a síntese de proteínas (Navik et al., 2021; Liu et al., 2022), fornecerem energia (Wu 2009; Jian et al., 2021) e sustentam o metabolismo (Anthony et al., 2000; Zang et al., 2017; Chen et al., 2018; Liu et al., 2023), especialmente em situações de estresse. Fortalecem o sistema imunológico (Ebrahimi et al., 2014; Monavvar et al., 2020; Soglia et al., 2021; Scappaticcio et al., 2021; Jian et al., 2021; Liu et al., 2023) e a saúde intestinal, e atuam como antioxidantes (Li et al., 2007; Navik et al., 2021; Liu et al., 2022) e agentes de desintoxicação. Também servem de precursores para hormônios (Gudowska et al., 2022; Salamanca et al., 2021), neurotransmissores (como a serotonina) e participam de reações de metilação essenciais (Navik et al., 2021; Liu et al., 2022).

Aminoácidos como metionina, lisina, treonina e triptofano são considerados limitantes, pois, quando faltam na dieta à base de milho e soja, restringem a síntese proteica mesmo havendo outros aminoácidos em excesso, prejudicando crescimento, desenvolvimento de penas, produção e saúde geral das aves (Adhikari et al., 2025).

Por isso, a suplementação com aminoácidos industriais é essencial para alcançar máximo desempenho, otimizar o uso da ração, reduzir custos, diminuir o impacto ambiental e melhorar diretamente a eficiência produtiva e a economia da avicultura. Na classificação dos aminoácidos para as aves, metionina e lisina são de fundamental importância, visto que são classificados como primeiro e segundo

aminoácidos limitantes, respectivamente, para as aves na formulação das dietas. A adoção de uma formulação com uma fonte sintética de metionina e lisina, combinada com outros aminoácidos pode permitir uma redução de mais de 50% na farinha de soja e mais de 20% na proteína bruta em uma dieta de frangos de corte em crescimento (Kidd et al., 2021).

A produção sustentável no futuro dependerá, em grande parte, de melhorias na eficiência da conversão de proteínas e aminoácidos da dieta em proteína da carne das aves (Maceline et al., 2021) e ainda ajudar cada vez mais na redução do teor de proteína bruta da dieta com aminoácidos balanceados (lisina ou metionina) melhorando inclusive a eficiência alimentar de aves sob estresse térmico (Attia et al., 2011; Awad et al., 2019).

Não seria diferente de outros aditivos, que a metionina e a lisina seriam fonte de estudos nas mais diversas espécies. Em frangos por exemplo, encontra-se estudos em diversas fases, assim como, em diferentes linhagens, já que há possibilidade de diferenças entre as mesmas além da amplitude mundial de manejo, climas, fontes de aminoácidos e outras variáveis que possam influenciar o resultado final de crescimento. Nos patos não é diferente, estudos são realizados, mas ainda em número reduzido quando comparado com frangos de corte. Isso se dá muitas vezes na dificuldade de obtenção dos animais, já que a proporcionalidade dessas aves a nível mundial é menor (4,19 bilhões de patos e 76,25 bilhões de frangos segundo Ritchie e Roser (2023) em relação a frangos, sendo muitas vezes, uma razão cultural de consumo diminuído.

Por esse motivo, esse estudo visa: (1) investigar cinco níveis de lisina na fase inicial de patos de pequim de 0 a 21 dias e cinco níveis de lisina na fase de crescimento de patos de pequim de 21 a 42 dias e sua possível influência no rendimento dos cortes; (2) investigar cinco níveis de metionina na fase inicial de patos de pequim de 0 a 21 dias e de cinco níveis de metionina na fase de crescimento de patos de pequim de 21 a 42 dias e sua possível influência no rendimento dos cortes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Lisina

A lisina exerce funções-chave em aves, atuando na síntese de proteínas (Songuine et al, 2024) como um dos principais blocos de construção de músculos, tecidos conjuntivos e enzimas, o que impulsiona o crescimento. Ela é essencial para o desenvolvimento da musculatura, especialmente do peito, a parte de maior valor comercial da carcaça (Kidd et al., 1998; Mahdavi et al., 2012, Soglia et al., 2021). Além disso, contribui para a eficiência alimentar, evitando o desperdício de outras proteínas e aminoácidos da dieta e melhorando a conversão de ração em carne (Geng et al., 2025).

A lisina também apoia a saúde e a imunidade das aves, favorecendo o bom funcionamento do sistema imune e a saúde óssea, e participa da regulação hormonal, auxiliando na produção de hormônios relacionados ao crescimento e à saciedade (Khwatenge et al., 2019; Wang e Bin, 2024).

A lisina é de suma importância na nutrição animal por ser o segundo aminoácido para as aves (Erickson et al., 2007) e limitante em dietas típicas de milho e soja (Liu et al., 2019), o que significa que sua disponibilidade dita a capacidade de construção de proteínas. Sua inclusão precisa na ração é fundamental para o crescimento, promovendo um maior ganho de peso, melhorando o rendimento da carcaça (com mais carne e menos gordura) e aumentando a produção de ovos em poedeiras (Kim et al., 2020). Por essas razões, produtores de aves e nutricionistas calculam criteriosamente os níveis de lisina, muitas vezes suplementando com L-Lisina (frequentemente na forma de cloridrato de L-Lisina), para assegurar o desempenho ideal das aves.

A lisina é um precursor fundamental para a síntese de L-carnitina e exerce função crucial no metabolismo de gorduras (Khan et al., 1979). A inclusão de lisina na alimentação eleva as concentrações de carnitina, influencia a atividade de coenzimas envolvidas no metabolismo lipídico e estimula a β -oxidação de ácidos graxos (Golzar et al., 2011). Trabalhos diversos demonstram que frangos em fase de crescimento, quando recebem dietas com baixo teor de proteína e insuficientes em lisina, apresentam maior acúmulo de gordura no fígado, aumento do colesterol sérico e maior deposição de gordura abdominal (Schmeisser et al., 1983). A deficiência de lisina

pode comprometer a síntese adequada de proteínas, o que afeta o funcionamento dos sistemas enzimáticos responsáveis pelo metabolismo de lipídios e contribui para o acúmulo de lipídeos no fígado (Chathuranga et al., 2025).

2.1.1 Estrutura molecular da Lisina

A lisina é um alfa-aminoácido essencial com fórmula molecular $C_6H_{14}N_2O_2$, caracterizada por um carbono central (alfa) ligado a um grupo carboxila ($-COOH$), um grupo amino ($-NH_2$), um hidrogênio e uma cadeia lateral de quatro metilenos ($-CH_2-$) que termina em outro grupo amino ($-NH_2$), formando um grupo ϵ -amino (NCBI 2025), o que a torna uma base e fundamental para proteínas, sendo a L-lisina a forma biologicamente ativa (Holeček, 2025).

Seu carbono alfa (α -C) é o centro quiral da molécula, por estar ligado a quatro grupos diferentes. O grupo carboxila ($-COOH$) confere caráter ácido ao aminoácido, enquanto o grupo amino alfa ($-NH_2$) está diretamente ligado ao carbono alfa. A cadeia lateral (grupo R) é formada por $(-CH_2)_4-NH_2$, terminando em um segundo grupo amino (ϵ -amino), o que torna a lisina um aminoácido básico e polar, capaz de formar ligações de hidrogênio. Sua representação linear simplificada é $H_2N-(CH_2)_4-CH(NH_2)-COOH$. Além disso, o grupo ϵ -amino pode estar carregado positivamente em pH fisiológico, tornando a lisina uma base importante para interações moleculares, sendo a L-lisina a forma encontrada em sistemas biológicos.

2.1.2 Fontes de Lisina para aves

As principais fontes de lisina para aves incluem ingredientes proteicos naturais e suplementos comerciais. Entre as fontes naturais, destaca-se o farelo de soja, a principal fonte proteica utilizada na indústria avícola brasileira (De Coca-Sinova et al., 2010), subprodutos animais como farinha de carne e de peixe e levedura de cerveja. Para garantir níveis adequados de lisina, especialmente em dietas com menor teor de proteína bruta, recorre-se à suplementação comercial, como a L-lisina cristalina, que é adicionada diretamente à ração para atender às necessidades digestíveis das aves em diferentes estágios de crescimento e que chegam à 99,9% do aminoácido em sua composição.

2.1.3 Absorção e transporte de Lisina

A absorção e transporte de lisina é um processo ativo que ocorre principalmente no intestino delgado e envolve várias etapas (Torras-Llort et al., 1996). A lisina é absorvida ao longo do intestino, com aumento efetivo do duodeno para o íleo inferior, mediado por transportadores específicos de membrana nas células intestinais, como os sistemas b^{0+} e y^+ , que operam de maneira otimizada em pH 6,0.

Existe antagonismo competitivo entre a lisina e o aminoácido arginina para esses transportadores, mas isso afeta mais a captação celular do que a absorção intestinal em si (Balnave e Barke, 2002) sendo a eficiência da absorção influenciada por fatores dietéticos, como o balanço de eletrólitos (Philip et al., 2022).

Uma vez absorvida, a lisina é transportada para a corrente sanguínea e captada pelos tecidos, como fígado e músculo esquelético, onde é utilizada na síntese de proteínas, com presença de transportadores especializados.

2.1.4 Inter-relação da lisina com outros nutrientes

A lisina (Lys) na avicultura tem uma inter-relação importante com outros aminoácidos essenciais, como metionina, treonina e arginina, além da proteína bruta total (PB) da dieta (Abdel-Maksoud, 2010).

O balanceamento adequado dessas relações é vital para otimizar o desempenho das aves e a eficiência alimentar, além de garantir a deposição de proteína muscular, evitando desequilíbrios nutricionais (Chamruspollert et al., 2002).

Aumentar os níveis de lisina requer ajustes correspondentes em outros aminoácidos limitantes, como metionina e treonina, e um desbalanço com arginina pode prejudicar o metabolismo (Balnave e Barke, 2002).

A lisina também é essencial no conceito de proteína ideal, permitindo a redução da PB na dieta sem comprometer o desempenho. Desequilíbrios podem afetar o consumo de ração, pois níveis baixos de lisina reduzem o apetite das aves (Khwatenge et al., 2020).

Além disso, a lisina influencia a deposição de proteína e gordura corporal, com interações significativas com minerais como zinco, dependendo da fase de crescimento da ave (Kidd et al., 2025).

2.1.5 Deficiência de Lisina

A deficiência de lisina em aves, especialmente frangos de corte, traz diversas consequências prejudiciais a seu crescimento e saúde. Carem e colaboradores (2005) demonstraram que a deficiência de lisina reduz o consumo de ração e o ganho de peso, além de elevar os níveis do hormônio T3, sugerindo alterações metabólicas. As flutuações diárias na ingestão de lisina afetam a expressão de genes relacionados à proteólise, indicando que dietas de baixa lisina aumentam a quebra de proteínas musculares (Tesseraud et al., 2009). Tanto a deficiência quanto o excesso de lisina impactam negativamente o crescimento e a expressão de genes lipídicos, diminuindo a deposição de gordura e a taxa de ganho de peso em frangos de crescimento lento (Tian et al., 2022). O efeito combinado de uma dieta com aminoácidos balanceados e a suplementação de protease, constatando que uma razão ideal de lisina melhora o desempenho e as características da carcaça (Maqsood et al., 2022).

2.1.6 Lisina para os patos

A lisina é um aminoácido essencial que desempenha um papel crucial na nutrição de patos. É vital para a síntese de proteínas, crescimento e desenvolvimento geral dessas aves, contribuindo para o desenvolvimento muscular e maximizando o ganho de peso (Fouad et al., 2018). Nas fêmeas por exemplo, níveis adequados de lisina são essenciais para uma produção ideal de ovos e desempenho reprodutivo, pois a deficiência pode levar a uma redução no tamanho dos ovos, taxas de fertilidade mais baixas e pior eclodibilidade (Mejia et al., 2012; Ciacciariello e Tyler, 2013; Mejia et al., 2013). Além disso, uma ingestão suficiente de lisina apoia o sistema imunológico, ajudando os patos a resistirem a infecções e doenças, o que é crítico para a avicultura comercial (Chen et al., 2003).

As dietas dos patos frequentemente incluem ingredientes como milho e farelo de soja, que podem ser baixos em lisina, levando nutricionistas a suplementar esse aminoácido para atender às necessidades dietéticas dos patos. A falta de lisina pode resultar em taxas de crescimento deficientes, menor eficiência alimentar (Bastianelli et al., 2007) e diversos problemas de saúde, como estrutura esquelética enfraquecida e respostas imunológicas reduzidas.

2.2 Metionina

A metionina é um aminoácido essencial contendo enxofre, fundamental em rações de aves por participar da síntese de proteínas (músculos e penas), do funcionamento do sistema imune, de importantes vias metabólicas e da formação de compostos como taurina e glutatona, que sustentam a defesa antioxidante (Bunchasak, 2009; Courtney-Martim e Peccharz, 2016).

Em dietas à base de milho e farelo de soja, costuma ser o primeiro aminoácido limitante, tornando necessária a suplementação com fontes sintéticas, como DL-metionina ou seu análogo hidroxianálogo,

A suplementação adequada melhora o ganho de peso, a conversão alimentar, a produção de ovos, permite reduzir o teor global de proteína da ração (diminuindo a excreção de nitrogênio e o impacto ambiental) e ajuda a atenuar os efeitos do estresse térmico (Attia et al., 2022).

2.2.1 Estrutura molecular da Metionina

A metionina é um aminoácido essencial com a fórmula molecular $C_5H_{11}NO_2S$, caracterizado por uma cadeia lateral que inclui um átomo de enxofre, formando um grupo metílico (Chemidplus, 2017), que a torna hidrofóbica (Aledo, 2019) e um precursor fundamental na síntese de proteínas e doadores de metila (Vaccaro e Naser, 2022). Sua estrutura consiste em um carbono alfa ($C\alpha$), que está ligado a um grupo amino ($-NH_2$), um grupo carboxila ($-COOH$), um hidrogênio e uma cadeia lateral ($CH_2CH_2SCH_3$).

Como um aminoácido essencial, a metionina deve ser obtida pela dieta e, ao contrário da cisteína, seu enxofre não forma ligações dissulfeto, mas é vital para a metilação e o início da síntese proteica (Pokoo-Aikins, 2021).

A natureza hidrofóbica da metionina também contribui para sua baixa solubilidade em água, e sua fórmula linear é representada como $CH_3SCH_2CH_2CH(NH_2)CO_2H$.

2.2.2 Fontes de Metionina

Atualmente as principais fontes de metionina em rações de aves são a DL-metionina (DL-Met; 98% de metionina), em pó, e seu análogo, o análogo hidroxil de DL-metionina (DL-HMTBA; 88% de metionina), em forma líquida (Zhang et al., 2018). Para sua fabricação, DL-Metionina é produzida principalmente por síntese química a partir de metilmercaptano, acroleína e cianeto de hidrogênio (Lüssling et al., 1981; Willke, 2014). Muito se discute sobre a eficácia entre L-Met e DLM, porém, ambas têm se mostrado muito semelhantes.

2.2.3 Absorção e transporte de Metionina

A absorção e o transporte de metionina em aves, como frangos e patos, ocorrem principalmente no intestino delgado por meio de transporte ativo, com algumas variações na eficiência dependendo da espécie e da fonte do aminoácido (Brandsch e Brandsch, 2003; Becquet et al., 2023).

A metionina, especificamente na forma L, é absorvida nos enterócitos por sistemas de transporte que utilizam cotransporte ativo de sódio (Soriano-Garcia et al., 1999). A avicultura frequentemente utiliza fontes sintéticas como a DL-metionina e o hidroxil-análogo da metionina (MHA), ambos absorvidos, sendo que a L-metionina é diretamente assimilada, enquanto a D é convertida em L no organismo (Dibner e Knight, 1984). O MHA, utilizado de forma líquida ou em pó, tem um mecanismo de absorção diferente, menos eficiente (Drew et al., 2003). Após a absorção, a metionina é transportada para o fígado e distribuída a outros tecidos, onde desempenha funções metabólicas cruciais, incluindo a síntese de proteínas e a produção de S-adenosil metionina (Fagundes et al., 2020). Embora os mecanismos de digestão e absorção sejam semelhantes entre frangos e patos, diferenças sutis em eficiência e exigências podem ocorrer devido a fatores como manejo e genética (Zhang et al., 2019).

2.2.4 Inter-relação entre Metionina e outros nutrientes

A metionina desempenha um papel crucial na avicultura, inter-relacionando-se com outros nutrientes, como aminoácidos sulfurados, colina, betaína e lisina, devido

à sua função como aminoácido essencial e doador de grupos metil (Savaram et al., 2022). Ela é a principal precursora da cisteína, a qual é vital para a síntese de queratina, que é importante para manter a resistência e a estrutura das penas e da pele (Brede et al., 2018), portanto, é comum se observar em dietas avícolas as exigências frequentemente expressas como "metionina + cistina". A lisina é geralmente o segundo aminoácido limitante, e a relação ideal entre metionina + cistina e lisina é fundamental para otimizar o desempenho das aves e a eficiência alimentar (Hickling et al., 1990). Além disso, o equilíbrio com outros aminoácidos, como treonina e triptofano, é importante para evitar a redução do consumo alimentar e melhorar a utilização de nutrientes (Maroufyan et al., 2010; Ojano-Dirain e Waldroup, 2002; Lee et al., 2020). A metionina também contribui para a síntese de colina e betaína, além de ser precursora de antioxidantes como glutathiona e taurina (Pillai et al., 2006; Seidel et al., 2019). Embora a relação com minerais seja menos documentada, a eficiência do metabolismo de aminoácidos depende de um fornecimento adequado desses nutrientes pois melhoraram a resposta imune adaptativa e inata em frangos de corte e ajudam na redução da inflamação intestinal em pintinhos (Richards et al., 2010; Bun et al., 2011; Li et al., 2015).

2.2.5 Deficiência de Metionina

A deficiência de metionina na dieta impõe consequências severas e abrangentes para as aves, afetando múltiplos sistemas biológicos, assim como a progênie. Em frangos de corte, a carência de metionina resulta em crescimento e desenvolvimento muscular reduzidos, com diminuição do peso corporal e da síntese proteica absoluta no músculo *Pectoralis major*, além de um aumento significativo na degradação proteica e na expressão de genes associados à proteólise (Conde-Aguilera et al., 2025). Adicionalmente, essa deficiência compromete a eficiência alimentar e altera a expressão de transportadores de aminoácidos em diversos tecidos, como íleo, rim, músculo *Pectoralis major* e hipotálamo, indicando mecanismos compensatórios celulares (Fagundes et al., 2020). A saúde renal é particularmente afetada, com um aumento na apoptose de células renais e parada do ciclo celular, evidenciado pela modulação de genes pro e anti-apoptóticos, sugerindo danos nos rins (Song et al., 2021). Mais complexamente, a deficiência de metionina influencia vias metabólicas como o ciclo do citrato, a sinalização de cálcio e o citoesqueleto de actina, levando a um crescimento muscular que, embora aumente o volume, é

predominantemente sarcoplasmático, com menor concentração de fibras contráteis e capacidade de contração (Zhai et al., 2012). Em matrizes de patos, a deficiência materna de metionina, mesmo sem afetar o desempenho da postura da mãe, prejudica severamente a qualidade dos ovos e influencia a programação nutricional da progênie, resultando em patinhos com peso reduzido ao nascer e alterações no metabolismo hepático e lipídico (Bodin et al., 2019).

2.2.6 Metionina em Patos

A metionina é um aminoácido essencial na nutrição de patos, crucial para o crescimento rápido, a boa formação das penas, o desempenho produtivo e o suporte à saúde hepática e imunidade (Albrecht et al., 2017; Wen et al., 2017; Carvalho et al., 2018; Liu et al., 2020). Ela desempenha funções importantes, como a síntese de proteínas e construção de tecidos, prevenindo problemas como mau empenamento e canibalismo, além de fortalecer a resposta imune em períodos de estresse e melhorar a eficiência alimentar (Picard et al., 1993; Bunchasak, 2009).

Como um aminoácido limitante em dietas avícolas, suas necessidades variam conforme a idade, raça, sexo e tipo de produção (Helva, 2023), o que torna sua suplementação comum e necessária, geralmente disponível em formas líquidas ou em pó também para a espécie pato.

3 HIPÓTESES

Os capítulos seguintes foram desenvolvidos a partir das seguintes hipóteses:

- As doses de lisina para as fases iniciais e crescimento dos patos de pequim sejam diferentes das preconizadas por outros autores (Capítulo II).
- As doses de metionina para as fases iniciais e de crescimento dos patos de pequim sejam diferentes das preconizadas por outros autores (Capítulo III).

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os diferentes níveis de lisina e metionina na ração de patos nas fases iniciais e de crescimento e o rendimento dos cortes aos 42 dias de idade.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Avaliar os índices zootécnicos (consumo de ração, peso médio vivo, ganho de peso total e conversão alimentar) de patos de pequim recebendo rações com 1,08%; 1,18%; 1,28%; 1,38% e 1,48% de lisina/kg na fase inicial e de 0,78%; 0,85%; 0,93%; 1,00% e 1,08% na fase de crescimento, todas criadas confinadas.

b) Avaliar o rendimento das carcaças e de cortes comerciais (peso do peito, coxa e sobrecoxa) das aves aos 42 dias de idade recebendo rações com 1,08%; 1,18%; 1,28%; 1,38% e 1,48% de lisina/kg na fase inicial e de 0,78%; 0,85%; 0,93%; 1,00% e 1,08% na fase de crescimento, todas criadas confinadas.

c) Avaliar os índices zootécnicos (consumo de ração, peso médio vivo, ganho de peso total e conversão alimentar) de patos de pequim recebendo rações com 0,43%; 0,53%; 0,63%; 0,73% e 0,83% de Metionina/kg na fase inicial e de 0,33%; 0,43%; 0,63% e 0,73% na fase de crescimento, todas criadas confinadas.

d) Avaliar o rendimento de carcaças e de cortes comerciais (peito, coxa e sobrecoxa) das aves aos 42 dias de idade recebendo rações com 0,43%; 0,53%; 0,63%; 0,73%; e 0,83% de Metionina/kg na fase inicial e de 0,33%; 0,43%; 0,63% e 0,73% na fase de crescimento, todas criadas confinadas.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-MAKSoud, A.; FENGLONG, Y.; CERRATE, S.; COTO, C.; WANG, Z.; WALDROUP, P. W. Effect of dietary crude protein, lysine level and amino acid balance on performance of broilers 0 to 18 days of age. *International Journal of Poultry Science*, v. 9, p. 21–27, 2010. DOI: 10.3923/ijps.2010.21.27.
- ADHIKARI, R.; ROCHELL, S. J.; KRISSELDI, R.; SILVA, M.; GREINER, L.; WILLIAMS, C.; MATTON, B.; ANDERSON, A.; ERF, G. F.; PARK, E.; HAYDON, K.; LEE, J. Recent advances in protein and amino acid nutritional dynamics in relation to performance, health, welfare, and cost of production. *Poultry Science*, v. 104, n. 3, e104852, 2025. DOI: 10.1016/j.psj.2025.104852.
- ALBRECHT, A. et al. Effect of methionine supplementation in chicken feed on the quality and shelf life of fresh poultry meat. *Poultry Science*, v. 96, p. 2853–2861, 2017. DOI: 10.3382/ps/pex071.
- ALEDO, J. C. Methionine in proteins: the Cinderella of the proteinogenic amino acids. *Protein Science*, v. 28, n. 10, p. 1785–1796, 2019. DOI: 10.1002/pro.3698.
- ANTHONY, J. C. et al. Orally administered leucine stimulates protein synthesis in skeletal muscle of postabsorptive rats in association with increased eIF4F formation. *The Journal of Nutrition*, v. 130, p. 139–145, 2000.
- ATTIA, Y. A. et al. Amino acids supplementation affects sustainability of productive and meat quality, survivability and nitrogen pollution of broiler chickens during the early life. *Life*, v. 12, p. 2100, 2022. DOI: 10.3390/life12122100.
- ATTIA, Y. et al. Effect of ascorbic acid or increasing metabolizable energy level with or without supplementation of some essential amino acids on productive and physiological traits of slow-growing chicks exposed to chronic heat stress. *Animal Physiology and Animal Nutrition*, v. 95, p. 744–755, 2011. DOI: 10.1111/j.1439-0396.2010.01104.x.
- AWAD, E. et al. Response of broilers to reduced-protein diets under heat stress conditions. *World's Poultry Science Journal*, v. 75, p. 583–598, 2019. DOI: 10.1017/S0043933919000576.
- BALNAVE, D.; BARKE, J. Re-evaluation of the classical dietary arginine:lysine interaction for modern poultry diets: a review. *World's Poultry Science Journal*, v. 58, n. 3, p. 275–289, 2002. DOI: 10.1079/wps20020021.
- BASTIANELLI, D. et al. Early lysine deficiency in young broiler chicks. *Animal*, v. 1, n. 4, p. 587–594, 2007. DOI: 10.1017/S1751731107685073.
- BECQUET, P.; VAZQUEZ-ANON, M.; MERCIER, Y.; BATONON-ALAVO, D. I.; YAN, F.; WEDEKIND, K.; MAHMOOD, T. Absorption of methionine sources in animals—is there more to know? *Animal Nutrition*, v. 12, p. 159–170, 2023. DOI: 10.1016/j.aninu.2022.09.004.

BODIN, L. et al. Dietary methionine deficiency reduces laying performances of female common ducks and impacts traits of interest of their mule ducklings. *Poultry Science*, v. 98, n. 11, p. 5590–5600, 2019. DOI: 10.3382/ps/pez315.

BRANDSCH, M.; BRANDSCH, C. Intestinal transport of amino acids, peptides, and proteins. In: PROGRESS IN RESEARCH ON ENERGY AND PROTEIN METABOLISM. Rostock-Warnemünde: EAAP, 2003. p. 667–680.

BREDE, A.; WECKE, C.; LIEBERT, F. Does the optimal dietary methionine to cysteine ratio in diets for growing chickens respond to high inclusion rates of insect meal from *Hermetia illucens*? *Animals*, v. 8, n. 11, p. 187, 2018. DOI: 10.3390/ani8110187.

BUNCHASAK, C. Role of dietary methionine in poultry production. *Journal of Poultry Science*, v. 46, p. 169–179, 2009.

BUN, S. D. et al. Influence of organic zinc supplementation on the antioxidant status and immune responses of broilers challenged with *Eimeria tenella*. *Poultry Science*, v. 90, n. 6, p. 1220–1226, 2011. DOI: 10.3382/ps.2010-01308.

CARVALHO, T. S. M. et al. Digestible methionine + cysteine in the diet of commercial layers and its influence on the performance, quality, and amino acid profile of eggs and economic evaluation. *Poultry Science*, v. 97, p. 2044–2052, 2018. DOI: 10.3382/ps/pey036.

CAREW, L.; MCMURTRY, J.; ALSTER, F. Effects of lysine deficiencies on plasma levels of thyroid hormones, insulin-like growth factors I and II, liver and body weights, and feed intake in growing chickens. *Poultry Science*, v. 84, n. 7, p. 1045–1050, 2005.

CHAMRUSPOLLERT, M.; PESTI, G. M.; BAKALLI, R. I. Dietary interrelationships among arginine, methionine, and lysine in young broiler chicks. *British Journal of Nutrition*, v. 88, n. 6, p. 655–660, 2002.

CHATHURANGA, N. C.; HEO, J. M. The impact of dietary protein intake of laying hens on production performance, health and nitrogen excretion: a review. *Korean Journal of Poultry Science*, v. 52, n. 3, p. 151–167, 2025. DOI: 10.5536/KJPS.2025.52.3.151.

CHEN, Y.; ZHANG, H.; CHENG, Y.; LI, Y.; WEN, C.; ZHOU, Y. Dietary L-threonine supplementation attenuates lipopolysaccharide induced inflammatory responses and intestinal barrier damage of broiler chickens at an early age. *British Journal of Nutrition*, v. 119, p. 1254–1262, 2018.

CHEN, C.; SANDER, J. E.; DALE, N. M. The effect of dietary lysine deficiency on the immune response to Newcastle disease vaccination in chickens. *Avian Diseases*, v. 47, n. 4, p. 1346–1351, 2003. DOI: 10.1637/7008.

CIACCIARIELLO, M.; TYLER, N. C. The effects of maternal dietary lysine intake on offspring performance to 21 days of age. *Journal of Applied Poultry Research*, v. 22, p. 238–244, 2013.

CONDE-AGUILERA, J. A.; MÉTAYER-COUSTARD, S.; MERCIER, Y.; VAN MILGEN, J.; TESSERAUD, S. Effects of a methionine deficiency on chicken tissue protein

turnover: comparative analysis of methionine source. *Poultry Science*, v. 104, n. 9, 2025. DOI: 10.1016/j.psj.2025.105410.

COURTNEY-MARTIN, G.; PENCHARZ, P. B. Sulfur amino acids metabolism from protein synthesis to glutathione. In: *THE MOLECULAR NUTRITION OF AMINO ACIDS AND PROTEINS*. Boston: Academic Press, 2016. p. 265–286.

DE COCA-SINOVA, A.; JIMÉNEZ-MORENO, E.; GONZÁLEZ-ALVARADO, J. M.; FRIKHA, M.; LÁZARO, R.; MATEOS, G. G. Influence of source of soybean meal and lysine content of the diet on performance and total tract apparent retention of nutrients in broilers from 1 to 36 days of age. *Poultry Science*, v. 89, n. 7, p. 1440–1450, 2010. DOI: 10.3382/ps.2010-00648.

DIBNER, J. J.; KNIGHT, C. D. Conversion of 2-hydroxy-4-(methylthio)butanoic acid to L-methionine in the chick: a stereospecific pathway. *The Journal of Nutrition*, v. 114, n. 9, p. 1716–1723, 1984. DOI: 10.1093/jn/114.9.1716.

DREW, M. D.; VAN KESSEL, A. G.; MAENZ, D. D. Absorption of methionine and 2-hydroxy-4-methylthiobutanoic acid in conventional and germ-free chickens. *Poultry Science*, v. 82, n. 7, p. 1149–1153, 2003. DOI: 10.1093/ps/82.7.1149.

EBRAHIMI, M. et al. The effect of feeding excess arginine on lipogenic gene expression and growth performance in broilers. *British Poultry Science*, v. 55, p. 81–88, 2014.

ERICKSON, A.; LI, X.; ZABALA-DÍAZ, I.; RICKE, S. Potential for measurement of lysine bioavailability in poultry feeds by rapid microbiological assays: a review. *Journal of Rapid Methods and Automation in Microbiology*, v. 10, p. 1–8, 2007. DOI: 10.1111/j.1745-4581.2002.tb00004.x.

FAGUNDES, N. S.; MILFORT, M. C.; WILLIAMS, S. M.; DA COSTA, M. J.; FULLER, A. L.; MENTEN, J. F.; REKAYA, R.; AGGREY, S. E. Dietary methionine level alters growth, digestibility, and gene expression of amino acid transporters in meat-type chickens. *Poultry Science*, v. 99, n. 1, p. 67–75, 2020. DOI: 10.3382/ps/pez588.

FOUAD, A. M.; RUAN, D.; WANG, S.; CHEN, W.; XIA, W.; ZHENG, C. Nutritional requirements of meat-type and egg-type ducks: what do we know? *Journal of Animal Science and Biotechnology*, v. 9, n. 1, 2018. DOI: 10.1186/s40104-017-0217-x.

GENG, Y.; WU, X.; GAO, X.; ZHANG, T.; JIANG, Q. Effect of lysine supplementation in low-protein diets on nutrients digestion, growth performance, serum biomarkers, and production performance of female blue foxes (*Alopex lagopus*) in fur-growing phase. *Animals*, v. 15, p. 1559, 2025. DOI: 10.3390/ani15111559.

GOLZAR ADABI, S.; COOPER, R. G.; CEYLAN, N.; CORDUK, M. L-carnitine and its functional effects in poultry nutrition. *World's Poultry Science Journal*, v. 67, n. 2, p. 277–296, 2011. DOI: 10.1017/S0043933911000304.

GUDOWSKA, A.; JANAS, K.; WIECZOREK, J.; WOZNICKA, O.; PŁONKA, P. M.; DROBNIĄK, S. M. Canalised and plastic components of melanin-based colouration: a

diet-manipulation experiment in house sparrows. *Scientific Reports*, v. 12, p. 18484, 2022.

HELVA, I. B. Effects of breeder age and dietary methionine level on growth performance, carcass traits and breast meat properties of broiler chickens. *European Poultry Science*, v. 87, p. 1–12, 2023. DOI: 10.1399/eps.2023.380.

HOLEČEK, M. Lysine: sources, metabolism, physiological importance, and use as a supplement. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 26, p. 8791, 2025. DOI: 10.3390/ijms26188791.

HICKLING, D.; GUENTER, W.; JACKSON, M. E. The effects of dietary methionine and lysine on broiler chicken performance and breast meat yield. *Canadian Journal of Animal Science*, v. 70, n. 2, p. 673–678, 1990. DOI: 10.4141/cjas90-079.

JIAN, H.; MIAO, S.; LIU, Y.; LI, H.; ZHOU, W.; WANG, X.; DONG, X.; ZOU, X. Effects of dietary valine levels on production performance, egg quality, antioxidant capacity, immunity, and intestinal amino acid absorption of laying hens during the peak lay period. *Animals*, v. 11, p. 1972, 2021.

KHAN, L.; BAMJI, M. S. Tissue carnitine deficiency due to dietary lysine deficiency: triglyceride accumulation and concomitant impairment in fatty acid oxidation. *The Journal of Nutrition*, v. 109, p. 24–31, 1979.

KHWATENG, C. N.; KIMATHI, B. M.; TAYLOR-BOWDEN, T.; NAHASHON, S. N. Expression of lysine-mediated neuropeptide hormones controlling satiety and appetite in broiler chickens. *Poultry Science*, v. 99, n. 3, p. 1409–1420, 2020. DOI: 10.1016/j.psj.2019.10.053.

KIDD, M. T.; KERR, B. J.; HALPIN, K. M.; MCWARD, G. W.; QUARLES, F. C. L. Lysine levels in starter and grower-finisher diets affect broiler performance and carcass traits. *Journal of Applied Poultry Research*, v. 7, p. 351–358, 1998.

KIDD, M. T.; MAYNARD, C. W.; MULLENIX, G. J. Progress of amino acid nutrition for diet protein reduction in poultry. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, v. 12, n. 1, 2021. DOI: 10.1186/s40104-021-00568-0.

KIDD, M. T.; WELLS, S. C.; SLICK, V. G.; ORLOWSKI-WORKMAN, S. K.; NELSON, K. B.; SHAFER, K. M.; JASEK, A. Dietary lysine-centered amino acid density tested across zinc levels in Ross male broilers. *Journal of Applied Poultry Research*, v. 34, n. 2, e100538, 2025. DOI: 10.1016/j.japr.2025.100538.

KIM, E.; WICKRAMASURIYA, S. S.; SHIN, T. K.; CHO, H. M.; KIM, H. B.; HEO, J. M. Estimating total lysine requirement for optimised egg production of broiler breeder hens during the early-laying period. *Journal of Animal Science and Technology*, v. 62, n. 4, p. 521–532, 2020. DOI: 10.5187/jast.2020.62.4.521.

LEE, J.; SUNG, Y. K.; KONG, C. Ideal ratios of standardized ileal digestible methionine, threonine, and tryptophan relative to lysine for male broilers at the age of 1 to 10 days. *Animal Feed Science and Technology*, v. 262, e114427, 2020. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114427.

LI, P.; YIN, Y. L.; LI, D.; KIM, S. W.; WU, G. Amino acids and immune function. *British Journal of Nutrition*, v. 98, p. 237–252, 2007.

LI, C. et al. Maternal high-zinc diet attenuates intestinal inflammation by reducing DNA methylation and elevating H3K9 acetylation in the A20 promoter of offspring chicks. *Journal of Nutritional Biochemistry*, v. 26, n. 2, p. 173–183, 2015. DOI: 10.1016/j.jnutbio.2014.10.005.

LIU, H.; SUN, J.; JIANG, S.; JIAO, N.; HUANG, L.; YUAN, X.; GUAN, Q.; LI, Y.; YANG, W. Effects of dietary isoleucine supplementation on the production performance, health status and cecal microbiota of Arbor Acre broiler chickens. *Microorganisms*, v. 11, p. 236, 2023.

LIU, R. et al. Maternal dietary methionine supplementation influences egg production and the growth performance and meat quality of the offspring. *Poultry Science*, v. 99, p. 3550–3556, 2020. DOI: 10.1016/j.psj.2020.03.043.

LIU, S. Y.; ROCHELL, S. J.; MAYNARD, C. W.; CALDAS, J.; KIDD, M. T. Digestible lysine concentrations and amino acid densities influence growth performance and carcass traits in broiler chickens from 14 to 35 days post-hatch. *Animal Feed Science and Technology*, v. 255, e114216, 2019. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2019.114216.

LIU, Y.; WANG, D.; ZHAO, L.; ZHANG, J.; HUANG, S.; MA, Q. Effect of methionine deficiency on the growth performance, serum amino acids concentrations, gut microbiota and subsequent laying performance of layer chicks. *Frontiers in Veterinary Science*, v. 9, e878107, 2022.

LÜSSLING, T.; MÜLLER, K. P.; SCHREYER, G.; THEISSEN, F. Process for the recovery of methionine and potassium bicarbonate. US4303621(A), 1981.

LUTTER, C. K. Building the evidence base around poultry production for nutrition. *The Journal of Nutrition*, v. 150, n. 10, p. 2617–2618, 2020. DOI: 10.1093/jn/nxaa247.

MACELLINE, S. P.; CHRYSTAL, P. V.; LIU, S. Y.; SELLE, P. H. The dynamic conversion of dietary protein and amino acids into chicken-meat protein. *Animals*, v. 11, p. 2288, 2021.

MAHDAVI, A.; SHIVAZAD, M.; ALEMI, F.; ZAGHARI, M.; MORAVEJ, H.; DARABIGHANE, B. Digestible lysine requirement of broilers based on practical diet. *Italian Journal of Animal Science*, v. 11, p. 68–76, 2012.

MAQSOOD, M. A.; KHAN, E. U.; QAISRANI, S. N.; RASHID, M. A.; SHAHEEN, M. S.; NAZIR, A.; TALIB, H.; AHMAD, S. Interactive effect of amino acids balanced at ideal lysine ratio and exogenous protease supplemented to low CP diet on growth performance, carcass traits, gut morphology, and serum metabolites in broiler chicken. *Tropical Animal Health and Production*, v. 54, n. 3, 2022. DOI: 10.1007/s11250-022-03184-w.

MAROUFYAN, E.; KASIM, A.; HASHEMI, S. R. Change in growth performance and liver function enzymes of broiler chickens challenged with infectious bursal disease

virus to dietary supplementation of methionine and threonine. *American Journal of Animal and Veterinary Sciences*, v. 5, p. 20–26, 2010.

MEJIA, L.; MCDANIEL, C. D.; CORZO, A. Dietary influence of digestible lysine concentration on Cobb 500 hen broiler breeder reproductive performance. *Poultry Science*, v. 91, p. 426–431, 2012.

MEJIA, L.; MCDANIEL, C. D.; KIDD, M. T.; LOPEZ, K.; CORZO, A. Evaluation of carryover effects of dietary lysine intake by Cobb 500 broiler breeder hens. *Poultry Science*, v. 92, p. 709–718, 2013.

MONAVVAR, H.; MOGHADDAM, G.; EBRAHIMI, M. A review on the effect of arginine on growth performance, meat quality, intestine morphology, and immune system of broiler chickens. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, v. 10, p. 587–594, 2020.

NAVIK, U.; SHETH, V. G.; KHURANA, A.; JAWALEKAR, S. S.; ALLAWADHI, P.; GADDAM, R. R.; BHATTI, J. S.; TIKOO, K. Methionine as a double-edged sword in health and disease: current perspective and future challenges. *Ageing Research Reviews*, v. 72, e101500, 2021. DOI: 10.1016/j.arr.2021.101500.

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION (NCBI). PubChem compound summary for CID 5962, L-lysine. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/L-Lysine>. Acesso em: 19 jan. 2025.

OJANO-DIRAIN, C. P.; WALDROUP, P. W. Evaluation of lysine, methionine and threonine needs of broilers three to six week of age under moderate temperature stress. *International Journal of Poultry Science*, v. 1, p. 16–21, 2002.

PICARD, M. L.; UZU, G.; DUNNINGTON, E. A.; SIEGEL, P. B. Food intake adjustments of chicks: short term reactions to deficiencies in lysine, methionine and tryptophan. *British Poultry Science*, v. 34, p. 737–746, 1993.

PILLAI, P. B.; FANATICO, A. C.; BEERS, K. W.; BLAIR, M. E.; EMMERT, J. L. Homocysteine remethylation in young broilers fed varying levels of methionine, choline, and betaine. *Poultry Science*, v. 85, n. 1, p. 90–95, 2006. DOI: 10.1093/ps/85.1.90.

PHILIP, A. J. P. et al. Dietary electrolyte balance of Atlantic salmon (*Salmo salar*) freshwater feeds: impact on osmoregulation, mineral metabolism and performance in seawater. *Aquaculture*, v. 546, e737305, 2022.

POKOO-AIKINS, A.; TIMMONS, J. R.; MIN, B. R.; LEE, W. R.; MWANGI, S. N.; CHEN, C. Effects of feeding varying levels of DL-methionine on live performance and yield of broiler chickens. *Animals*, v. 11, n. 10, p. 2839, 2021. DOI: 10.3390/ani11102839.

RICHARDS, J. D.; ZHAO, J.; HARRELL, R. J.; ATWELL, C. A.; DIBNER, J. J. Trace mineral nutrition in poultry and swine. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, v. 23, n. 11, p. 1527–1534, 2010. DOI: 10.5713/ajas.2010.r.07.

RITCHIE, H.; ROSER, M. Meat production. Disponível em: <https://ourworldindata.org/meat-production#number-of-animals-slaughtered>. Acesso em: 2026.

SALAMANCA, N.; GIRÁLDEZ, I.; MORALES, E.; DE LA ROSA, I.; HERRERA, M. Phenylalanine and tyrosine as feed additives for reducing stress and enhancing welfare in gilthead seabream and meagre. *Animals*, v. 11, p. 45, 2021.

SAVARAM, V. R. R. et al. Effect of methyl donors supplementation on performance, immune responses and anti-oxidant variables in broiler chicken fed diet without supplemental methionine. *Animal Bioscience*, v. 35, n. 3, p. 475–483, 2022. DOI: 10.5713/ab.20.0812.

SEIDEL, U.; HUEBBE, P.; RIMBACH, G. Taurine: a regulator of cellular redox homeostasis and skeletal muscle function. *Molecular Nutrition & Food Research*, v. 63, n. 16, 2019. DOI: 10.1002/mnfr.201800569.

SCAPPATICCIO, R.; GARCÍA, J.; FONDEVILA, G.; DE JUAN, A.; CÁMARA, L.; MATEOS, G. G. Influence of the energy and digestible lysine contents of the diet on performance and egg quality traits of brown-egg laying hens from 19 to 59 weeks of age. *Poultry Science*, v. 100, e101211, 2021.

SCHMEISSER, D. D.; KUMMEROW, F. A.; BAKER, D. H. Effect of excess dietary lysine on plasma lipids of the chick. *The Journal of Nutrition*, v. 113, p. 1777–1783, 1983. DOI: 10.1093/jn/113.9.1777.

SOGLIA, F. et al. Lysine depletion during different feeding phases: effects on growth performances and meat quality of broiler chickens. *Animals*, v. 11, p. 1499, 2021. DOI: 10.3390/ani11061499.

SONG, B.; ZENG, Q.; LIU, Y.; WU, B. Effect of methionine deficiency on the apoptosis and cell cycle of kidney in broilers. *Research in Veterinary Science*, v. 135, p. 228–236, 2021. DOI: 10.1016/j.rvsc.2019.09.013.

SONGUINE, T.; FETEKE, L.; KPOMASSE, C. C.; YARKOA, T.; PAROBALI, T.; KAROU, S.; PITALA, W. Lysine supplementation to low-protein diet improves growth performance, thermotolerance and welfare of broiler chickens reared under hot humid climate. *European Poultry Science*, v. 88, p. 1–15, 2024. DOI: 10.1399/eps.2024.394.

SORIANO-GARCÍA, J. F.; TORRAS-LLORT, M.; MORETÓ, M.; FERRER, R. Regulation of L-methionine and L-lysine uptake in chicken jejunal brush-border membrane by dietary methionine. *American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, v. 277, n. 6, p. R1654–R1661, 1999. DOI: 10.1152/ajpregu.1999.277.6.R1654.

TESSERAUD, S.; BOUVAREL, I.; COLLIN, A.; AUDOUIN, E.; CROCHET, S.; SEILIEZ, I.; LETERRIER, C. Daily variations in dietary lysine content alter the expression of genes related to proteolysis in chicken *pectoralis major* muscle. *The Journal of Nutrition*, v. 139, n. 1, p. 38–43, 2009. DOI: 10.3945/jn.108.095752.

TIAN, D. L. et al. Effects of lysine deficiency or excess on growth and the expression of lipid metabolism genes in slow-growing broilers. *Poultry Science*, v. 98, n. 7, p. 2927–2932, 2019. DOI: 10.3382/ps/pez041.

TORRAS-LLORT, M.; FERRER, R.; SORIANO-GARCÍA, J. F.; MORETÓ, M. L-lysine transport in chicken jejunal brush border membrane vesicles. *Journal of Membrane Biology*, v. 152, n. 3, p. 183–193, 1996. DOI: 10.1007/s002329900096.

VACCARO, J. A.; NASER, S. A. The role of methyl donors of the methionine cycle in gastrointestinal infection and inflammation. *Healthcare*, v. 10, p. 61, 2022. DOI: 10.3390/healthcare10010061.

WAMBOGO, E. A.; ANSAI, N.; TERRY, A.; FRYAR, C.; OGDEN, C. Dairy, meat, seafood, and plant sources of saturated fat: United States, ages two years and over, 2017–2020. *The Journal of Nutrition*, v. 153, n. 9, p. 2689–2698, set. 2023. DOI: 10.1016/j.tjnut.2023.06.040. PMID: 37419252; PMCID: PMC10517229.

WANG, S. et al. Effects of “bioactive” amino acids leucine, glutamate, arginine and tryptophan on feed intake and mRNA expression of relative neuropeptides in broiler chicks. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, v. 3, n. 1, 2012. DOI: 10.1186/2049-1891-3-27.

WEN, C.; JIANG, X. Y.; DING, L. R.; WANG, T.; ZHOU, Y. M. Effects of dietary methionine on growth performance, meat quality and oxidative status of breast muscle in fast- and slow-growing broilers. *Poultry Science*, v. 96, p. 1707–1714, 2017. DOI: 10.3382/ps/pew432.

WILLKE, T. Methionine production: a critical review. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 98, n. 24, p. 9893–9914, 2014. DOI: 10.1007/s00253-014-6156-y.

PERERA, W. N. U.; RAVINDRAN, V. Role of feed additives in poultry nutrition: historical, current and future perspectives. *Animal Feed Science and Technology*, v. 326, e116371, 2025. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2025.116371.

WU, G. Amino acids: metabolism, functions, and nutrition. *Amino Acids*, v. 37, p. 1–17, 2009.

ZHAI, W.; ARAUJO, L. F.; BURGESS, S. C.; COOKSEY, A. M.; PENDARVIS, K.; MERCIER, Y.; CORZO, A. Protein expression in *pectoralis* skeletal muscle of chickens as influenced by dietary methionine. *Poultry Science*, v. 91, n. 10, p. 2548–2555, 2012. DOI: 10.3382/ps.2012-02213.

ZHANG, Y. N. et al. Effects of L-methionine on growth performance, carcass quality, feather traits, and small intestinal morphology of Pekin ducks compared with conventional DL-methionine. *Poultry Science*, v. 98, n. 12, p. 6866–6872, 2019. DOI: 10.3382/ps/pez438.

ZHANG, Q.; CHEN, X.; EICHER, S.; AJUWON, K.; APPLEGATE, T. Effect of threonine on secretory immune system using a chicken intestinal ex vivo model with lipopolysaccharide challenge. *Poultry Science*, v. 96, p. 3043–3051, 2017.

ZHANG, S.; GILBERT, E. R.; SAREMI, B.; WONG, E. A. Supplemental methionine sources have a neutral impact on oxidative status in broiler chickens. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2018. DOI: 10.1111/jpn.12946.

CAPÍTULO II EXIGÊNCIA NUTRICIONAL DE LISINA PARA PATOS DE PEQUIM

5 EXIGÊNCIA NUTRICIONAL DE LISINA PARA PATOS DE PEQUIM

5.1 RESUMO

Dois experimentos foram conduzidos para estimar as necessidades nutricionais de lisina digestível. No experimento 1, 500 patos foram alojados em 25 baias sobre cama em um delineamento inteiramente casualizado, alimentados com cinco dietas com níveis crescentes de lisina de 0 a 21 dias e com 5 repetições (Exp. 1). No experimento 2, 900 patos foram alojados em 45 baias sobre cama em um delineamento inteiramente casualizado, alimentados com cinco dietas com níveis crescentes de lisina de 21 a 42 dias e com 9 repetições (Exp. 2).

Os níveis crescentes de lisina no Exp. 1 foram 1,08%; 1,18%; 1,28%; 1,38% e 1,48 % e no Exp. 2 foram 0,78%; 0,85%; 0,93%; 1,00% e 1,08 %. Ao final do Exp. 2, uma ave por unidade experimental foi selecionada aleatoriamente em cada repetição para avaliar o rendimento de carcaça, peito e coxa e sobrecoxa. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade e análise de variância e quando houve diferença significativa ($P < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste Tukey. Os dados também foram submetidos a modelos de regressão quadrática e linear. O aumento de lisina nas dietas entre 0 e 21 dias não afetaram o consumo de ração, ganho de peso total, conversão alimentar e peso final, indicando que a variação entre 1,08% e 1,48% não influenciou no desempenho. No Exp. 2, o consumo de ração e o ganho de peso não foram afetados, mas houve diferença na conversão alimentar e peso final, no qual o menor nível (0,78%) teve pior eficiência. A conversão alimentar melhorou com o aumento dos níveis de lisina, com um ponto de melhor eficiência estimado em 1,007%. No entanto, os rendimentos de peito, coxa, sobrecoxa e carcaça não mostraram diferença entre os níveis de lisina. Conclui-se que níveis de lisina entre 1,08% e 1,48% atendem as necessidades dos patos de 0 a 21 dias, optando-se pelo menor nível para redução de custos na formulação, enquanto que de 21 a 42 dias o nível mais indicado é 1,007%, proporcionando o melhor equilíbrio entre ganho de peso e conversão alimentar, enquanto os rendimentos de carcaça e dos cortes se mantiveram estáveis independentemente dos níveis dietéticos.

Palavras-chave: desempenho, lisina, patos de pequim, rendimento

5.2 ABSTRACT

Two experiments were conducted to estimate the nutritional requirements for digestible lysine. In experiment 1, 500 ducks were housed in 25 bedding pens in a completely randomized design, fed five diets with increasing levels of lysine from 0 to 21 days with 5 replicates (Exp. 1). In experiment 2, 900 ducks were housed in 45 bedding pens in a completely randomized design, fed five diets with increasing levels of lysine from 21 to 42 days with 9 replicates (Exp. 2).

The increasing levels of lysine in Exp. 1 were 1.08%; 1.18%; 1.28%; 1.38% and 1.48% and in Exp. 2 were 0.78%; 0.85%; 0.93%; 1.00% and 1.08%. At the end of Exp. 2, one bird per experimental unit was randomly selected in each replicate to evaluate carcass, breast, and thigh and drumstick yield. The data were subjected to normality testing and analysis of variance, and when a significant difference was found ($P < 0.05$), the means were compared using Tukey's test. The data were also subjected to quadratic and linear regression models. The increase in lysine in the diets between 0 and 21 days did not affect feed intake, total weight gain, feed conversion, and final weight, indicating that the variation between 1.08% and 1.48% did not influence performance. In Exp. 2, feed intake and weight gain were not affected, but there was a difference in feed conversion and final weight, where the lowest level (0.78%) had the worst efficiency. Feed conversion improved with increasing lysine levels, with an estimated best efficiency point of 1.007%. However, breast, thigh, drumstick, and carcass yields did not show a difference between lysine levels. It is concluded that lysine levels between 1.08% and 1.48% meet the needs of ducks from 1 to 21 days old, with the lower level being chosen to reduce formulation costs. From 21 to 42 days old, the most suitable level is 1.007%, providing the best balance between weight gain and feed conversion, while carcass and cut yields remained stable regardless of dietary levels.

Keywords: lysine, peking ducks, performance, yield

5.3 INTRODUÇÃO

A lisina é reconhecida como o segundo aminoácido limitante nas dietas de aves, desempenhando um papel fundamental na síntese de proteínas, produção de hormônios, enzimas e anticorpos (Ekmay et al., 2013; Shimomura et al., 2014; Zhai et al., 2016; Scappaticcio et al., 2021; Soglia et al., 2021).

Sua deficiência resulta em uma diminuição significativa na taxa de crescimento, consumo de ração e rendimento muscular em frangos (Cordero et al., 2025), enquanto a suplementação de lisina pode melhorar o desempenho de crescimento e reduzir a mortalidade em frangos de corte (Liu et al., 2012; Lessire et al., 2013; Songuine et al., 2024).

Nos patos, a lisina também se mostra essencial (Myunghwan et al., 2025), pois a deficiência desse aminoácido está associada a um crescimento deficiente (Soglia et al., 2021), embora a pesquisa sobre as necessidades de lisina em patos de pequim ainda seja limitada (Wang et al., 2006; Xie et al., 2009).

As recomendações anteriores para lisina em patos de pequim, como a de 0,9% (até 2 semanas) e 0,65% (de 2 semanas em diante) segundo o NRC (1994), foram fundamentadas em estudos envolvendo diferentes espécies de patos. Estudos mais recentes sugerem que as necessidades de lisina para ganho de peso são superiores a essas recomendações, com níveis intermediários de 0,96% (Kim et al., 2021) e com níveis ainda mais superiores variando entre 1,10% e 1,17% (Bons et al., 2002; Wang et al., 2006).

É importante ressaltar que as exigências de lisina podem variar de acordo com condições ambientais, limitações nutricionais e o potencial genético dos animais (Bendezu et al., 2015), tornando essencial a formulação adequada das dietas para otimizar o desempenho e a qualidade da carne (Han e Baker, 1993; Kong e Adeola, 2013).

Nesse contexto, a lisina é utilizada como referência para a formulação do perfil ideal de aminoácidos (Lee et al., 2023), sendo necessária para uma produção avícola eficiente (Boling e Firman, 1998; Ruan et al., 2019).

Além disso, elevar os níveis de lisina na dieta está associado a uma melhoria no rendimento da carne de peito, o que destaca a importância de se examinarem os efeitos da lisina nas características da carcaça, especialmente durante a fase inicial

de crescimento (Adams et al., 1983; Tesseraud et al., 1996; Bons et al., 2002; Chang et al., 2024)

Historicamente, as recomendações de aminoácidos foram baseadas em níveis totais de aminoácidos e não em níveis digestíveis, o que pode resultar em formulações dietéticas menos eficazes (Rostagno et al., 1995; Emmert e Baker, 1997).

As linhagens de frangos de corte modernas têm demonstrado requisitos de lisina mais elevados para um crescimento e desenvolvimento muscular ótimos, o que torna necessário reinvestigar as necessidades dietéticas específicas à medida que a produção avícola evolui (Kidd et al., 1998; Siqueira et al., 2013; An et al., 2023).

Por fim, a lisina também desempenha um papel importante na regulação do crescimento muscular, estando associada à secreção hormonal, o que evidencia seu papel central na nutrição e eficiência de produção avícola (Rosebrough et al., 1996). Essas informações ressaltam a importância da lisina na nutrição das aves, demonstrando a necessidade de um melhor entendimento das suas exigências para otimizar a produção e a qualidade da carne.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar as respostas zootécnicas dos patos de pequim de 0 a 21 dias e de 21 a 42 dias de idade perante o nível adequado de lisina digestível baseado no crescimento e nas características de carcaça.

5.4 MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi submetida ao Comitê de Ética Animal da Universidade do Estado de Santa Catarina sob o protocolo CEUA nº 8747191125.

Dois experimentos foram conduzidos utilizando 1.400 patos de pequim machos. No primeiro experimento (fase inicial), 500 patos de pequim de 0 a 21 dias de idade foram utilizados com peso médio inicial de $50\text{g} \pm 3\text{g}$, distribuídos em 25 baias ($2,5\text{m} \times 2\text{m} = 5\text{m}^2$) com 20 aves cada unidade experimental. As baias foram dotadas de um comedouro tubular e dez bebedouros tipo nipple, sendo a ração peletizada e água fornecidos *ad libitum*, além disso, o piso foi recoberto com X cm de maravalha. A temperatura foi mantida em 33°C do dia 1º até o 3º dia de alojamento, e então ela foi reduzida gradualmente até 18°C até o 14º dia. O experimento dose-resposta consistiu em cinco tratamentos dietéticos na fase inicial, com cinco níveis de lisina, com as aves distribuídas aleatoriamente em cinco repetições. As dietas foram formuladas com níveis de lisina de 1,08; 1,18; 1,28; 1,38 e 1,48 % (Tabela 1).

No segundo experimento (fase crescimento), 900 patos de pequim de 21 a 42 dias de idade foram utilizados com peso médio inicial de $1638\text{g} \pm 75\text{g}$, distribuídos em 45 baias ($2,5\text{ m} \times 2\text{m} = 5\text{m}^2$) com 20 aves cada unidade experimental. Durante este período, as baias foram dotadas de um comedouro tubular e dez bebedouros tipo nipple, sendo a água e a ração peletizada fornecidas *ad libitum* e o piso foi recoberto com X cm de maravalha. A temperatura foi mantida em 18°C do 21º até o 42º dia de idade. O experimento dose-resposta consistiu em cinco tratamentos dietéticos na fase crescimento, com 5 níveis de lisina, com as aves distribuídas aleatoriamente em nove repetições. As dietas foram formuladas com níveis de lisina de 0,78; 0,85; 0,93; 1,00 e 1,08 % (Tabela 2).

O desempenho das aves foi determinado através do cálculo do consumo de ração (g), peso vivo (g), ganho de peso total (g) e conversão alimentar (g/g) de cada unidade experimental. Mortalidade foi registrada quando ocorria e os pesos das aves mortas foram utilizados para ajustar a conversão alimentar (CA).

Ao final do segundo experimento, dez aves de cada nível de lisina foram selecionadas aleatoriamente e anilhadas (Figura 1) para avaliação de rendimento de carcaça e de cortes. Após 6 (seis) horas de privação de ração os patos foram pesados e transferidos para caixas de transporte. Posteriormente foram atordoados por eletronarcose e mortos imediatamente por corte no pescoço. Procedeu-se a sangria,

escaldagem, depenagem, evisceração e nova pesagem das aves para obter o peso de carcaça (sem pescoço e pés). Após a refrigeração das carcaças em câmara frigorífica durante 12 h a 4°C, a carne do peito (incluindo o peitoral maior e o peitoral menor) e a carne da perna (incluindo a coxa e a sobrecoxa), foram todas removidas das carcaças e pesadas. O rendimento foi determinado calculando-se as porcentagens relativas ao peso corporal total de cada ave. Os dados foram analisados através do procedimento ANCOVA do *software* estatístico SAS 9.0 (SAS Institute, 2009) e as diferenças submetidas ao teste de Tukey (5 %). Os dados foram analisados levando em consideração os efeitos da dose de lisina. Também se procedeu a análise de regressão pelo *software* R (R Development Core Team, 2025) para avaliar o comportamento entre os níveis.

Figura 1. Ave anilhada com número de identificação



Fonte: Arquivo Pessoal (2026)

Tabela 1. Composição nutricional das dietas experimentais de 0 a 21 dias

Ingredientes (%)	Lisina I 1,08	Lisina II 1,18	Lisina III 1,28	Lisina IV 1,38	Lisina V 1,48
Milho	574,40	574,40	575,20	575,30	575,50
Farelo de soja 46.0	376,80	374,00	371,00	368,00	364,80
Óleo de Soja Degomado	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
DL-Metionina 98%	3,00	3,05	3,05	3,10	3,15
L-Lisina		1,28	2,65	4,00	5,30
L-valina		0,05	0,10	0,17	0,25
L-Treonina	0,35	0,38	0,45	0,50	0,55
L-triptofano	0,05	0,05	0,05	0,08	0,10
Calcário calcítico	12,80	12,80	12,90	12,90	12,90
Fosfato Bicálcio	15,60	15,60	15,50	15,50	15,50
Sal	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Caulim		1,39	2,10	3,45	4,95
Vitaminas - Minerais Premix ¹	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Total	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00
Composição calculada					
Proteína Bruta	22,00%	22,00%	22,00%	22,00%	22,00%
Energia Metabolizável Kcal/kg	2870,00	2870,00	2870,00	2870,00	2870,00
Lisina	1,08%	1,18%	1,28%	1,38%	1,48%
Metionina	0,65%	0,65%	0,65%	0,65%	0,65%
Treonina	0,75%	0,75%	0,75%	0,75%	0,75%
Triptofano	0,24%	0,24%	0,24%	0,24%	0,24%
Valina	0,92%	0,92%	0,92%	0,92%	0,92%
Cálcio	1,00%	1,00%	1,00%	1,00%	1,00%
Fósforo	0,70%	0,70%	0,70%	0,70%	0,70%

¹Fornecido por quilograma na dieta total: Cobalto 200mg/kg; Ferro 10 g/kg; Manganês 16 g/kg; Zinco 16 g/kg; Vitamina D3 700.000 UI/kg; Vitamina K3 1.600 mg/kg; Vitamina B2 2.000 mg/kg; Vitamina B12 5.000 mcg/kg; Pantotenato de cálcio 3.200 mg/kg; Biotina 50 mg/kg; Fitase 200.000 FTU/kg; Glucanase 75 UI/kg; Alfa-Amilase 1.200 µg; Cobre 25 g/kg; Iodo 340 mg/kg; Selênio 60 mg/kg; Vitamina A 2.400.000 UI/kg; Vitamina E 12.000 UI/kg; Vitamina B1 600 mg/kg; Vitamina B6 800 mg/kg; Ácido fólico 400 mg/kg; Vitamina B3 18 g/kg; Fosfatidilcolina 828,2 mg/Kg; Mananase 2,5 UI/g; Protease ácida 14 µg; Xilanase 200 UI/g

Tabela 2. Composição nutricional das dietas experimentais de 21 a 42 dias

Ingredientes (%)	Lisina I	Lisina II	Lisina III	Lisina IV	Lisina V
	0,78	0,85	0,93	1,00	1,08
Milho	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00
Farelo de soja 46.0	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00
Farelo de trigo	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Óleo de Soja Degomado	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
Fosfato Bicálcio	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61
Calcário	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
Sal	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Caulim	0,47	0,37	0,27	0,18	0,08
Lisina HCl 78,4%	0,00	0,10	0,20	0,29	0,39
DL-Metionina 99%	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
L-Treonina 98%	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Adsorvente	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Formaldeído	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Aglutinante para ração peletizada	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Probiótico	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Ácido orgânico	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Vitaminas - Minerais Premix ¹	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Composição calculada					
Proteína Bruta	17,25%	17,25%	17,25%	17,25%	17,25%
Energia Metabolizável Kcal/kg	3050,00	3050,00	3050,00	3050,00	3050,00
Lisina	0,78%	0,85%	0,93%	1,00%	1,08%
Metionina	0,46%	0,46%	0,46%	0,46%	0,46%
Treonina	0,60%	0,60%	0,60%	0,60%	0,60%
Triptofano	0,19%	0,19%	0,19%	0,19%	0,19%
Isoleucina	0,63%	0,63%	0,63%	0,63%	0,63%
Valina	0,71%	0,71%	0,71%	0,71%	0,71%
Arginina	1,02%	1,02%	1,02%	1,02%	1,02%
Leucina	1,27%	1,27%	1,27%	1,27%	1,27%
Cálcio	0,66%	0,66%	0,66%	0,66%	0,66%
Fósforo	0,55%	0,55%	0,55%	0,55%	0,55%

¹Fornecido por quilograma na dieta total: Vitamina B2 1333,33 mg/kg; Vitamina B3 8333,33 mg/kg; Vitamina B6 833,33 mg/kg; Vitamina B12 5.000mcg/Kg; Ácido Fólico 416,66 mg/Kg; Biotina 50 mg/kg; Vitamina B5 2.500 mg/kg; Vitamina K3 666,66 mg/kg; Colina 66,66 g/Kg; Metionina 350 g/KG; Treonina 24,50 g/Kg; Ferro 8333,33 mg/Kg; Cobre 2.500 mg/Kg; Zinco 13,33 g/Kg; Manganês 13,33 g/Kg; Iodo 250 mg/Kg; Selênio 50 mg/Kg; Fitase 166.666,66 U/Kg; Vitamina A 2.000.000 UI/Kg; Vitamina D3 500.000 UI/Kg; Vitamina E 13333,33 UI/Kg; Vitamina B1 500 mg/Kg

5.5 RESULTADOS

5.5.1 PERÍODO DE 0 A 21 DIAS DE IDADE

Os diferentes níveis de lisina (1,08% a 1,48%) não apresentaram diferença significativa para o consumo, ganho de peso total, conversão alimentar e peso final dos patos (Tabela 3).

Tabela 3. Peso Inicial, consumo de ração, ganho de peso total, conversão alimentar e peso final de 0 a 21 dias*

	Tratamento					p-valor		
	1,08	1,18	1,28	1,38	1,48	Lis	Linear ¹	Quadrático ²
0-21 dias								
Peso inicial (g)	51	50	50	51	51			
Consumo (g)	1929	1897	1888	1879	1850	0,81	0,21	0,47
Ganho de peso total (g)	1473	1489	1507	1471	1475	0,91	0,88	0,79
Conversão alimentar (g/g)	1,31	1,27	1,25	1,28	1,26	0,10	0,21	0,26
Peso final (g)	1524	1539	1557	1522	1526	0,92	0,44	0,46

*Não ocorreu diferença estatística entre os parâmetros avaliados ($P>0,05$) ¹Linear; ²Quadrático

5.5.2 PERÍODO DE 21 A 42 DIAS DE IDADE

A variação nos níveis de lisina resultou em respostas diferenciadas entre os parâmetros analisados, indicando efeitos mais evidentes sobre ganho de peso, conversão alimentar e peso final, enquanto o consumo permaneceu inalterado (Tabela 4). O ganho de peso apresentou efeito linear (Gráfico 1) significativo da lisina ($p=0,02$), sem indicação de efeito quadrático. Os maiores ganhos foram verificados nos níveis intermediários (0,85% e 0,93%), não havendo acréscimos adicionais com concentrações mais altas.

Tabela 4. Peso Inicial, consumo, ganho de peso total, conversão alimentar e peso final de 21 a 42 dias

	Tratamento					p-valor		
	0,78	0,85	0,93	1,00	1,08	Lis	Linear ¹	Quadrático ²
21-42 dias								
Peso inicial (g)	1604	1634	1624	1654	1662			
Consumo (g)	4761	4429	4360	4312	4281	0,78	0,60	0,47
Ganho de peso total (g)	2467	2517	2506	2493	2504	0,50	0,02	0,38
Conversão alimentar (g/g)	1,93a	1,76b	1,74b	1,73b	1,71b	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Peso final (g)	4070b	4151a	4129a	4147a	4166a	< 0,01	< 0,01	0,13

Média seguida de letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de tukey a 5%

P: probabilidade ¹Linear; ²Quadrático

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

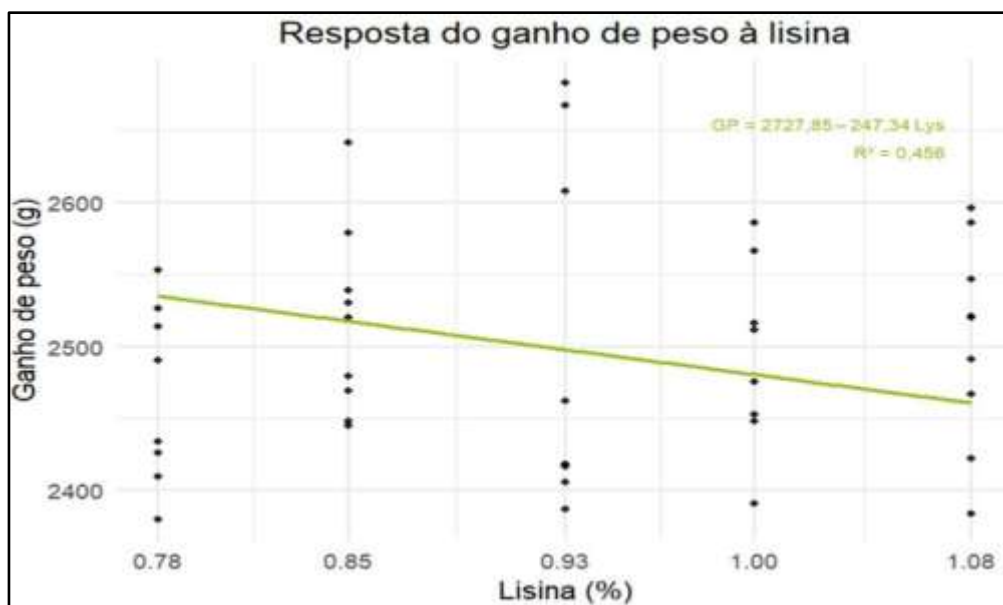


Gráfico 1. Efeito linear da lisina no ganho de peso de 21 a 42 dias.
 $y = 2727,85 - 247,34 \text{ Lys}$; $r^2 = 0,456$

A conversão alimentar foi o parâmetro que respondeu de forma mais consistente e estatisticamente robusta aos níveis dietéticos de lisina, apresentando diferenças significativas entre tratamentos ($p < 0,01$), além de efeitos linear e quadrático ($p < 0,01$).

A análise quadrática revelou-se mais informativa ao evidenciar a presença de curvatura significativa na resposta com um ponto ótimo (1,007).

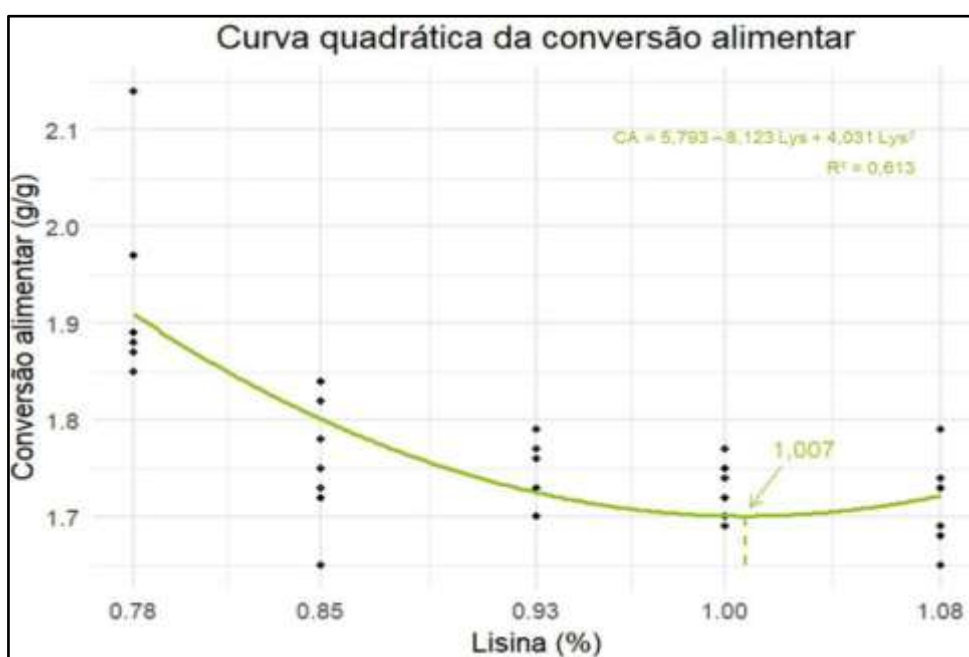


Gráfico 2. Efeito quadrático da lisina na conversão alimentar de 21 a 42 dias
 $y = 5,793 - 8,123 \text{ Lys} + 4,031 \text{ Lis}^2$; $r^2 = 0,613$

5.5.3 RENDIMENTO DE CORTES

A avaliação dos rendimentos de peito, coxa e sobrecoxa e carcaça demonstrou que os diferentes níveis de lisina utilizados no experimento (0,78% a 1,08%) não influenciaram significativamente nenhum dos parâmetros analisados (Tabela 5). Os modelos de regressão linear e quadrático também não indicaram tendência de resposta aos níveis de lisina.

Tabela 5. Rendimento de carcaça, peito e coxa/sobrecoxa de patos aos 42 dias de idade

	Tratamento					p-valor		
	0,78	0,85	0,93	1,00	1,08	Lis	Linear	Quadrático
Rendimento (%)								
Peito	20,1	19,2	20,2	19,7	20,4	0,26	0,36	0,26
Coxa e sobrecoxa	14,3	14,3	14	14,2	13,8	0,36	0,10	0,77
Carcaça	75,3	74,4	74,8	75,4	74,9	0,85	0,93	0,72

¹Linear; ²Quadrático
P: probabilidade

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

5.6 DISCUSSÃO

5.6.1 PERÍODO DE 0 A 21 DIAS

No período acumulado de 0 a 21 dias não houve influência dos níveis de lisina nos parâmetros analisados (consumo, ganho de peso, conversão alimentar e peso final). Estes achados são coerentes com a literatura ao sugerir que todas as dietas estavam acima da exigência mínima para desempenho nessa fase. Em patos de pequim jovens, Xie et al. (2009) estimaram necessidades de 0,84 a 0,98% de lisina total entre 7 e 21 dias, enquanto Wen et al. (2017) indicaram valores entre 0,94 e 0,98% para maximizar crescimento em diferentes densidades energéticas e Yu et al. (2024) recomendaram cerca de 1,05% de lisina digestível ileal para melhor ganho e conversão de 0 a 21 dias. Bons et al. (2002), propuseram aproximadamente 11,7 g/kg de lisina total na fase inicial, valor que, quando convertido em digestível, é inferior ao

limite superior testado no presente estudo (0,93%). Mesmo em outras linhagens, como a da Cherry Valley (Zhou et al., 2017) e patos nativos coreanos (Wickramasuriya et al., 2016), as exigências de lisina digestível para ganho e conversão alimentar situam-se abaixo ou ao redor da faixa mínima adotada neste experimento. Para a linhagem Grimaud (2015) a dose recomendada na fase inicial é de 1,00% enquanto que o NRC (1994) recomenda 0,90%, ambas também abaixo da dose mínima utilizada na fase inicial deste trabalho. Importante frisar que a recomendação de proteína bruta para os patos da linhagem Grimaud (2015) na fase inicial são de 20% e o NRC (1994) registra 22%. No presente trabalho foi utilizado 22%, demonstrando que os níveis adotados podem ser reduzidos sem afetar a performance das aves nos parâmetros analisados. Assim, comparando com outros trabalhos já realizados, a ausência de diferença significativa entre 1,08% e 1,48% pode indicar que os patos já se encontravam em um patamar de oferta de lisina que excede as exigências para desempenho de 0 até 21 dias, de modo que aumentos adicionais no teor do aminoácido não se traduziram em ganhos adicionais nas variáveis avaliadas.

5.6.2 PERÍODO DE 21 A 42 DIAS

Na fase de crescimento, a variação dos níveis de lisina promoveu respostas distintas entre os parâmetros avaliados, evidenciando efeitos mais claros sobre conversão alimentar e peso final, enquanto consumo e ganho de peso total não foram influenciados. Os resultados indicam que a variação dos níveis de lisina afeta diretamente o desempenho de crescimento dos patos, sendo que os níveis intermediários utilizados nesta fase, proporcionaram maior peso final e melhor eficiência alimentar. Isso se conecta com o que foi observado por Wen et al. (2017), que sugerem que para patos de pequim, a necessidade ideal de lisina varia de 0,94% quando a energia metabolizável é de 2750 kcal/kg e de 0,98% para 3050 kcal/kg de energia metabolizável. Neste trabalho, sendo o nível de energia idêntico ao trabalho de Wen et al. (2017), de 3050 kcal/kg, o incremento de lisina foi mais responsivo aos parâmetros avaliados.

A relação entre a lisina e a conversão alimentar é outro aspecto importante observado nessa fase de crescimento e que é apoiado por Bons et al. (2002). Eles mostraram que uma dieta adequada de lisina com 10g/quilograma melhora consideravelmente a eficiência da conversão alimentar. Isso significa que até um certo

ponto, adicionar mais lisina traz benefícios, mas depois disso, as melhorias começam a estabilizar ou até mesmo a diminuir. Contrariamente Zhou et al. (2017) ao avaliarem os níveis mais adequados entre 15 e 35 dias, observaram uma dose ideal de 0,758% para otimizar o ganho de peso diário e um nível mais alto de 0,792% para uma melhor conversão alimentar usando 2940 kcal/kg na dieta. Yun et al. (2015) avaliando o desempenho zootécnico de frangos de linhagem chinesa, constataram na fase de crescimento que uma dose de 1% de lisina para 3000 kcal/kg foi superior à dose de 0,85%. Essas constatações podem justificar o resultado encontrado de 1,007% de dose ideal no presente trabalho, já que o conteúdo energético da dieta pode determinar a quantidade de ingestão de ração dos patos, cujas dietas de alta energia exigirão uma maior concentração de aminoácidos para compensar uma menor ingestão de ração. Fan et al. (2008) usando uma dose de 0,9% de lisina, constataram que exigência de energia ideal para o máximo ganho de peso foi de 3.008 kcal/kg.

Baéza (2016) por sua vez, em uma revisão sobre os requisitos nutricionais para patos de corte, enfatiza que, devido às diferenças na taxa de crescimento, eficiência alimentar e composição corporal entre as diferentes linhagens de patos (pato de pequim, muscovy e patos mullards), as necessidades nutricionais, incluindo as de lisina, devem ser adaptadas às características específicas de cada tipo de pato e ao sistema de produção intensiva, assim como, a importância de se utilizar valores de EMA (energia metabolizável aparente) específicas para patos, e não apenas de frangos, também é um ponto relevante para a precisão nutricional. Wickramasuriya et al. (2016) por exemplo, concluíram que os patos nativos coreanos, os quais possuem uma taxa de crescimento mais lenta, possuem uma exigência de lisina menor e de 0,74% para ganho de peso diário, enquanto para conversão alimentar a dose foi de 1,01% contrastando com os níveis dos patos de pequim modernos.

A linhagem Grimaud (2015) ao sugerir 0,80% de lisina na fase de crescimento com 17% de proteína bruta, e o NRC (1994) o qual sugere 0,65% para 16% de proteína bruta, divergem do resultado aqui apresentado, ou seja, os quais indicam que a exigência para máxima eficiência alimentar é atingida em níveis intermediários, sendo desnecessário o incremento contínuo do aminoácido lisina para obtenção de benefícios adicionais relevantes nessa fase de crescimento, mas sugerem um ponto de equilíbrio próximo de 1% de dose nessa fase.

5.6.3 RENDIMENTO DE CORTES

Os resultados indicam que entre 0,78% e 1,08% de lisina, os níveis avaliados não influenciaram os rendimentos de peito, coxa e sobrecoxa ou carcaça. Isso indica que, dentro destes limites, a lisina não alterou a proporção dos principais cortes comerciais. Este achado contrasta parcialmente com outros estudos, como o de Wen et al. (2017), que observaram que níveis suficientes de lisina aumentam os rendimentos de carne de peito e de coxa/sobrecoxa em patos de pequim. Da mesma forma, Bons et al. (2002) e Xie et al. (2009) enfatizaram a importância da lisina para o rendimento de carne de peito em patos de pequim, com Xie et al. (2009) sugerindo 0,98% de lisina total para melhorar rendimento de 7 a 21 dias. Zhou et al. (2017) também sugeriram 0,961% de lisina digestível para maximizar o rendimento de carne de peito em patos da linhagem Cherry Valley de 1 a 14 dias.

A aparente ausência de influência no presente trabalho pode ser explicada pelo fato de que o intervalo de lisina testado (0,78% a 1,08%) para rendimentos de cortes já pode estar em um platô para a linhagem específica de patos avaliada, ou seja, as necessidades para otimizar as proporções de cortes já foram atingidas dentro destes limites. Wickramasuriya et al. (2016), embora tenham reportado um aumento no peso da carcaça e das coxas/sobrecoxas de patos coreanos nativos com o aumento da lisina digestível, notaram que a proporção de peso da coxa/sobrecoxa em relação ao peso da carcaça permaneceu constante. Isso corrobora a ideia de que, após um certo ponto, o aumento da lisina pode impactar o crescimento absoluto dos tecidos, mas não necessariamente sua composição relativa, o que suporta a sua conclusão de que a deposição tecidual se mostrou estável dentro da faixa avaliada.

5.7 CONCLUSÃO

No período de 0 a 21 dias, os níveis de lisina avaliados não apresentaram diferenças significativas para os parâmetros avaliados. Considerando a conversão alimentar como parâmetro na fase de crescimento, o nível mais adequado para patos entre 21 a 42 dias é 1,007%, sendo que o rendimento de carcaça e dos cortes (peito e coxa e sobrecoxa) de 21 a 42 dias não foi influenciado pelos níveis dietéticos entre 1,08 e 1,48 %.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, R. L.; HESTER, P. Y.; STADELMAN, W. J. The effect of dietary lysine levels on performance and meat yields of White Pekin ducks. *Poultry Science*, v. 62, p. 616–620, 1983.
- AN, S. H.; LEE, B.; CHOI, Y. M.; KONG, C. Standardized ileal digestible lysine requirements based on growth performance and histochemical characteristics of male broilers from 10 to 21 days of age. *Animal Nutrition*, v. 12, p. 145–150, 2023. DOI: 10.1016/j.aninu.2022.09.012.
- BENDEZU, H. C. P.; SAKOMURA, N. K.; VENTURINI, K. S.; SATO, J.; HAUSCHILD, L.; MALHEIROS, E. B.; GOUS, R. M. Response of laying hens to amino acid intake. In: *NUTRITIONAL MODELING FOR PIGS AND POULTRY*. Wallingford: CABI, 2015. p. 259–268.
- BOLING, S. D.; FIRMAN, J. D. Digestible lysine requirement of female turkeys during the starter period. *Poultry Science*, v. 77, p. 547–551, 1998.
- BONS, A.; TIMMLER, R.; JEROCH, H. Lysine requirement of growing male Pekin ducks. *British Poultry Science*, v. 43, n. 5, p. 677–686, 2002. DOI: 10.1080/0007166021000025073.
- CHANG, C. et al. Dietary crude protein and lysine levels affect meat quality and myofiber characteristic of slow-growing chicken. *Animals*, v. 14, p. 2068, 2024. DOI: 10.3390/ani14142068.
- CORDERO, P. et al. Reduced dietary protein and essential amino acids impair growth performance and increase lysine sensitivity in broiler chickens. *Animals*, v. 15, p. 1027, 2025. DOI: 10.3390/ani15071027.
- EKMAY, R. V.; VIGNALE, K.; SALAS, C.; ENGLAND, J.; CERRATE, S.; COON, C. N. Stage of egg production regulates protein turnover and lysine partitioning for broiler breeders. In: *ENERGY AND PROTEIN METABOLISM AND NUTRITION IN SUSTAINABLE ANIMAL PRODUCTION*. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2013. p. 305–306. DOI: 10.3920/978-90-8686-781-3_104.
- EMMERT, J. L.; BAKER, D. H. Use of the ideal protein concept for precision formulation of amino acid levels in broiler diets. *Journal of Applied Poultry Research*, v. 6, n. 4, p. 462–470, 1997. DOI: 10.1093/japr/6.4.462.
- FAN, H. P.; XIE, M.; WANG, W. W.; HOU, S. S.; HUANG, W. Effects of dietary energy on growth performance and carcass quality of white growing Pekin ducks from two to six weeks of age. *Poultry Science*, v. 87, n. 6, p. 1162–1164, 2008. DOI: 10.3382/ps.2007-00460.
- GRIMAUD FRERES COMPANY. *Guide d'élevage des canedins à rôtir*. Roussay (France): Grimaud Frères Sélection, 2015. p. 1–25.

- HAN, Y.; BAKER, D. H. Effects of sex, heat stress, body weight, and genetic strain on the dietary lysine requirement of broiler chicks. *Poultry Science*, v. 72, p. 701–708, 1993.
- KIDD, M.; KERR, B.; HALPIN, K.; MCWARD, G.; QUARLES, C. Lysine levels in starter and grower-finisher diets affect broiler performance and carcass traits. *Journal of Applied Poultry Research*, v. 7, p. 351–358, 1998.
- KIM, Y. B.; CHO, H. M.; HONG, J. S.; YU, M.; NAWARATHNE, S. R. O. E.; OGOLA, E.; HEO, J. M. Evaluation of optimal lysine requirement ratio of White Pekin duck from hatch to 21 days of age. *Annual Congress of KSAST (Korean Society of Animal Science and Technology)*, 2021.
- KONG, C.; ADEOLA, O. Comparative amino acid digestibility for broiler chickens and White Pekin ducks. *Poultry Science*, v. 92, p. 2367–2374, 2013.
- LEE, J. T.; ROCHELL, S. J.; KRISSELDI, R.; KIM, W. K.; MITCHELL, R. D. Functional properties of amino acids: improve health status and sustainability. *Poultry Science*, v. 102, n. 1, p. 102288, 2023. DOI: 10.1016/j.psj.2022.102288.
- LESSIRE, M.; PRIMOT, Y.; CORRENT, E.; PAULINE, F.; TESSERAUD, S.; BERRI, C. Lysine supply in finishing broilers: Effect on performances and meat quality. In: *Energy and protein metabolism and nutrition in sustainable animal production*. Springer, 2013. p. 209–210.
- LIU, G. Q.; YANG, X. J.; ZONG, K.; XU, J. Dietary lysine affect carcass characteristics and myostatin gene exon 1 region methylation in muscle tissue of broilers. *Applied Mechanics and Materials*, v. 195–196, p. 334–341, 2012.
- MYUNGHWAN, Y.; BIN, K. Y.; MIN, C. H.; SEON, H. J.; RANDIMA, N. S.; OGOLA, O. E.; MIN, H. J. Standardized ileal digestible lysine requirements based on growth performance of White Pekin ducks for 21 days after hatch. *Journal of Animal Science and Technology*, v. 67, n. 2, p. 383–392, 2025. DOI: 10.5187/jast.2024.e25.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). *Nutrient requirements of poultry*. 9th ed. Washington, DC: National Academies Press, 1994.
- R CORE TEAM. *R: a language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2020.
- ROSEBROUGH, R. W.; MITCHELL, A. D.; MC MURTRY, J. P. Dietary crude protein changes rapidly alter metabolism and plasma insulin-like growth factor I concentrations in broiler chickens. *Journal of Nutrition*, v. 126, p. 2888–2898, 1996.
- RUAN, D.; FOUAD, A. M.; ZHANG, Y. N.; WANG, S.; CHEN, W.; XIA, W. G.; JIANG, S. Q.; YANG, L.; ZHENG, C. T. Effects of dietary lysine on productivity, reproductive performance, protein and lipid metabolism-related gene expression in laying duck breeders. *Poultry Science*, v. 98, n. 11, p. 5734–5745, 2019. DOI: 10.3382/ps/pez361.
- SAS INSTITUTE INC. *SAS/STAT User's Guide, Version 9.4*. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc., 2014.

SCAPPATICCIO, R.; GARCÍA, J.; FONDEVILA, G.; DE JUAN, A.; CÁMARA, L.; MATEOS, G. Influence of the energy and digestible lysine contents of the diet on performance and egg quality traits of brown-egg laying hens from 19 to 59 weeks of age. *Poultry Science*, v. 100, 101211, 2021. DOI: 10.1016/j.psj.2021.101211.

SHIMOMURA, A.; MATSUI, I.; HAMANO, T.; ISHIMOTO, T.; KATOU, Y.; TAKEHANA, K.; INOUE, K.; KUSUNOKI, Y.; MORI, D.; NAKANO, C. N. Dietary L-lysine prevents arterial calcification in adenine-induced uremic rats. *Journal of the American Society of Nephrology*, v. 25, p. 1954–1965, 2014.

SIQUEIRA, J. C.; SAKOMURA, N. K.; DOURADO, L. R. B.; EZEQUIEL, J. M. B.; BARBOSA, N. A. A.; FERNANDES, J. B. K. Diet formulation techniques and lysine requirements of 1- to 22-day-old broilers. *Brazilian Journal of Poultry Science*, v. 15, p. 123–134, 2013.

SOGLIA, F.; ZAMPIGA, M.; BALDI, G.; MALILA, Y.; THANATSANG, K. V.; SRIMARUT, Y.; TATIYABORWORNTHAM, N.; UNGER, O.; KLAMCHUEN, A.; LAGHI, L.; PETRACCI, M.; SIRRI, F. Lysine depletion during different feeding phases: effects on growth performances and meat quality of broiler chickens. *Animals*, v. 11, n. 6, 1499, 2021. DOI: 10.3390/ani11061499.

SONGUINE, T.; FETEKE, L.; KPOMASSE, C. C.; YARKOA, T.; PAROBALI, T.; KAROU, D. S.; PITALA, W. Lysine supplementation to low-protein diet improves growth performance, thermotolerance and welfare of broiler chickens reared under hot humid climate. *European Poultry Science*, v. 88, p. 1–15, 2024. DOI: 10.1399/eps.2024.394.

TESSERAUD, S.; MAAA, N.; PERESSON, R.; CHAGNEAU, A. M. Relative responses of protein turnover in three different skeletal muscles to dietary lysine deficiency in chicks. *British Poultry Science*, v. 37, p. 641–650, 1996.

XIE, M.; GUO, Y.; ZHANG, T.; HOU, S.; HUANG, W. Lysine requirement of male White Pekin ducklings from seven to twenty-one days of age. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, v. 22, n. 10, p. 1386–1390, 2009.

WANG, Y. S.; HOU, S. S.; HUANG, W.; LING, Z.; FAN, H. P.; MING, X. Lysine, methionine and tryptophan requirements of Beijing ducklings of 0–2 weeks of age. *Journal of Integrative Agriculture*, v. 5, p. 228–233, 2006.

WEN, Z. G.; RASOLOFOMANANA, T. J.; TANG, J.; JIANG, Y.; XIE, M.; YANG, P. L.; HOU, S. S. Effects of dietary energy and lysine levels on growth performance and carcass yields of Pekin ducks from hatch to 21 days of age. *Poultry Science*, v. 96, n. 9, p. 3361–3366, 2017. DOI: 10.3382/ps/pex122.

WICKRAMASURIYA, S. S.; YI, Y. J.; YOO, J.; KIM, J. C.; HEO, K. N.; HEO, J. M. Lysine requirements of Korean native ducklings for three weeks after hatch. *Journal of Applied Poultry Research*, v. 25, p. 464–473, 2016. DOI: 10.3382/japr/pfw019.

ZHAI, W.; PEEBLES, E.; WANG, X.; GERARD, P.; OLANREWAJU, H.; MERCIER, Y. Effects of dietary lysine and methionine supplementation on Ross 708 male broilers

from 21 to 42 d of age (III): serum metabolites, hormones, and their relationship with growth performance. *Journal of Applied Poultry Research*, v. 25, p. 223–231, 2016.

ZHOU, Y. F.; LIU, Y. Q.; WEI, H. K.; PENG, J. Estimation of the optimum digestible lysine level for Cherry Valley ducks. *Poultry Science*, v. 96, n. 4, p. 838–843, 2017. DOI: 10.3382/ps/pew306.

CAPÍTULO III

6 EXIGÊNCIA NUTRICIONAL DE METIONINA PARA PATOS DE PEQUIM

6.1 RESUMO

Dois experimentos foram conduzidos para estimar as necessidades de metionina digestível. Para cada experimento, 500 patos foram alojados em 25 baias de piso em um delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos e cinco repetições. Os patos foram alimentados com dietas com níveis crescentes de metionina de 0 a 21 dias (Exp. 1) e de 21 a 42 dias (Exp. 2). Os níveis crescentes de metionina no Exp 1 foram 0,43; 0,53; 0,63; 0,73 e 0,83 % e no Exp. 2 foram 0,33; 0,43; 0,53; 0,63 e 0,73%. Ao final do Exp. 2, duas aves por unidade experimental foram selecionadas aleatoriamente em cada repetição para avaliar o rendimento de carcaça, peito e coxa e sobrecoxa aos 42 dias de vida. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade e análise de variância e quando houve diferença significativa ($P < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste Tukey. As exigências de metionina foram estimadas por modelos de regressão quadrática e linear. No Exp. 1 o consumo de ração e ganho de peso não foram alterados ($P > 0,05$), mas a conversão alimentar melhorou de forma significativa ($P < 0,05$) com um nível ótimo estimado de 0,73%. No Exp. 2 o consumo de ração foi significativamente influenciado pelos níveis de metionina, mas as análises de regressão não indicaram resultados significativos. O ganho de peso não apresentou efeitos significativos. Entretanto, a conversão alimentar teve melhorias nos níveis intermediários e elevados de metionina, embora o modelo quadrático não tenha identificado um ponto ótimo. Não houve efeito significativo dos níveis de metionina no rendimento de peito, com médias estáveis e ausência de resposta dose-dependente. Em contraste, o rendimento de coxa e sobrecoxa mostrou efeito significativo, com um ponto mínimo estimado em 0,57% de metionina na análise de regressão.

Palavras-chave: Desempenho, metionina, patos de pequim, rendimento

6.2 ABSTRACT

Two experiments were conducted to estimate digestible methionine requirements. For each experiment, 500 ducks were housed in 25 floor pens in a completely randomized design with five treatments and five replicates. Ducks were fed diets with increasing methionine levels from 0 to 21 days (Exp. 1) and from 21 to 42 days (Exp. 2). The increasing methionine levels in Exp. 1 were 0.43%, 0.53%, 0.63%, 0.73%, and 0.83%, and in Exp. 2 they were 0.33%, 0.43%, 0.53%, 0.63%, and 0.73%. At the end of Exp. 2, two birds per experimental unit were randomly selected in each replicate to evaluate carcass, breast, and thigh/drumstick yield at 42 days of age. The data were subjected to normality testing and analysis of variance, and when a significant difference was found ($P < 0.05$), the means were compared using Tukey's test. Methionine requirements were estimated using quadratic and linear regression models. In Exp. 1, feed intake and weight gain were not altered ($P > 0.05$), but feed conversion improved significantly ($P < 0.05$) with an estimated optimum level of 0.73%. In Exp. 2, feed intake was significantly influenced by methionine levels, but regression analyses did not indicate significant results. Weight gain did not show significant effects. However, feed conversion improved at intermediate and high methionine levels, although the quadratic model did not identify an optimum point. There was no significant effect of methionine levels on breast yield, with stable means and no dose-dependent response. In contrast, thigh and drumstick yield showed a significant effect, with a minimum estimated at 0.57% methionine in the regression analysis.

Keywords: Peking ducks, methionine, performance, yield

6.3 INTRODUÇÃO

A metionina é um aminoácido essencial que frequentemente se apresenta como o primeiro aminoácido limitante em dietas para aves, devido à incapacidade desses animais de sintetizá-lo em quantidades suficientes para suprir suas funções metabólicas normais (NRC, 1994; Vieira et al., 2004; Dilger e Baker, 2007; Bunchasak, 2009; Pokoo-Aikins et al., 2022;). Assim, a suplementação de metionina é crucial na avicultura industrial para otimizar a saúde, a produtividade dos animais e diminuir custos na nutrição dos mesmos.

Este aminoácido desempenha inúmeras funções nas aves, como a síntese proteica e o crescimento geral. A metionina é um substrato fundamental para a construção de proteínas e o desenvolvimento do animal, contribuindo significativamente para o peso corporal, para o rendimento de carcaça e a qualidade da carne (Baker et al., 2006; Liu et al., 2006; Bunchasak, 2009; Conde-Aguilera et al., 2013). Dietas com deficiência de metionina resultam em piora da conversão alimentar e no peso de carcaça nas aves (NRC, 1994; Pokoo-Aikins et al., 2022).

Adicionalmente, a metionina atua como um componente vital na defesa antioxidante, principalmente por sua participação na formação da glutathione, que protege as células contra o estresse oxidativo (Wu et al., 2004; Atmaca e Fry, 2005; Brosnan e Brosnan, 2006; Lugata et al., 2022). A suplementação desse aminoácido pode, inclusive, melhorar o status antioxidante das aves (Lugata et al., 2022). No que tange à função imunológica, a metionina exerce um papel primordial nas respostas imunes humoral e celular em aves, participa ativamente da síntese de células imunes e é indispensável para a produção de citocinas e a proliferação de células T (Swain e Jhori, 2000; Attia et al., 2005; Wu et al., 2018).

Na prática, a metionina é comumente suplementada na forma de DL-metionina (DL-Met), L-metionina (L-Met) ou análogos como o DL-HMTBA (DL-2-hidróxi-4-metiltio butanoato) (Agostini et al., 2016; Wickramasuriya et al., 2019).

Apesar da importância da metionina como aminoácido limitante na dieta de aves, as informações sobre os níveis ideais e corretos para patos de Pequim são notavelmente escassas e muitas vezes desatualizadas. Existem poucos trabalhos detalhados sobre os efeitos da metionina em patos de corte (Zeng et al., 2015), e dados específicos para patos de pequim com idade superior a 21 dias não estão disponíveis (Guo, 2011). As recomendações atuais do NRC (1994) para patos de

pequim são consideradas questionáveis, pois foram baseadas em pesquisas com patos Muscovy, que crescem mais lentamente (Leclerq e De Carville, 1977; Swatland, 1980; Xie et al., 2004, Xie et al., 2006). Além disso, a eficiência da retenção de aminoácidos em patos é limitada (Adeola, 2006), e embora existam estudos sobre os requisitos de metionina para patos de Pequim, estes frequentemente não estimam com precisão as necessidades devido à falta de um modelo matemático adequado (Luo e Gao, 2002; Wang et al., 2004; Xie et al., 2006). Há também uma carência de informações sobre o limite superior tolerável de metionina para patos de pequim em fase inicial (Xue et al., 2018), e estudos sobre a eficácia do L-metionina em comparação com DL-metionina, bem como a toxicidade de análogos de hidróxi-metionina em patos, são raros ou inexistentes (Xie et al., 2007, Kluge et al., 2016; Zhang et al., 2019). O impacto dos níveis de energia metabolizável da dieta nas necessidades de metionina para patos também não foi amplamente relatado (Wu et al., 2019), evidenciando a necessidade de mais pesquisas para estabelecer diretrizes nutricionais precisas para esta espécie.

Considerando a importância da metionina como um aminoácido limitante para as aves em geral e as diferentes sugestões de inclusões de metionina nas rações de patos de pequim, o objetivo deste trabalho foi avaliar as respostas dos patos de pequim de 0 a 21 dias e de 21 a 42 dias de idade à dose mais adequada de metionina digestível baseado no crescimento e nas características de carcaça.

6.4 MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi submetida ao Comitê de Ética Animal da Universidade do Estado de Santa Catarina sob o protocolo CEUA nº 8747191125.

Dois experimentos foram conduzidos utilizando 1.000 patos de pequim machos. No primeiro experimento (fase inicial), 500 patos de pequim foram obtidos de um incubatório comercial para teste de 0 a 21 dias de idade. Com peso médio inicial de $53\text{g} \pm 3\text{g}$, distribuídos em 25 baias ($2,5\text{ m} \times 2\text{m} = 5\text{m}^2$) com 20 aves cada unidade experimental (Figura 2). Durante este período, as baias foram recobertas com maravalha e dotadas de um comedouro tubular e dez bebedouros tipo nipple, sendo a água e a ração peletizada fornecidas *ad libitum*. A temperatura foi mantida em 33°C do dia 1º até o 3º dia de alojamento, e então foi reduzida gradualmente até 18°C ao 14º dia. O experimento dose-resposta consistiu em cinco níveis dietéticos de metionina, com as aves distribuídas aleatoriamente em cinco repetições. As dietas foram formuladas com níveis de metionina de 0,43; 0,53; 0,63; 0,73 e 0,83% do dia 0 ao 21º dia (Tabela 1).

No segundo experimento (fase crescimento), 500 patos de pequim de 21 a 42 dias de idade foram utilizados com peso médio inicial de $1609\text{g} \pm 35\text{g}$, distribuídos em 25 baias ($2,5\text{ m} \times 2\text{m} = 5\text{m}^2$) com 20 aves cada unidade experimental. Durante este período, as baias foram recobertas com maravalha e dotadas de um comedouro tubular e dez bebedouros tipo nipple, sendo a água e a ração peletizada fornecidas *ad libitum*. A temperatura foi mantida em 18°C do 21º até o 42º dia de idade. O experimento dose-resposta consistiu em cinco níveis dietéticos de metionina, sendo 0,33; 0,43; 0,53; 0,63 e 0,73, do 21º até o 42º dia (Tabela 2), com as aves distribuídas aleatoriamente em cinco repetições. O desempenho das aves foi determinado através do cálculo do consumo de ração (kg), peso vivo (kg), ganho de peso total (kg) e conversão alimentar (kg/kg) de cada unidade experimental. Mortalidade foi registrada quando ocorria e os pesos das aves mortas foram utilizados para ajustar a conversão alimentar (CA). Com 42 de idade (do experimento 2) duas aves de cada unidade experimental foram selecionadas aleatoriamente para avaliação de rendimento de carcaça e partes. Após seis horas de privação de ração, os patos foram pesados e transferidos para caixas de transporte. Posteriormente, foram atordoados por eletronarcose e abatidos imediatamente por corte no pescoço. Procedeu-se a sangria, escaldagem, depenagem, evisceração e nova pesagem das aves para obter o peso

de carcaça (sem pescoço e pés). Após a refrigeração das carcaças em câmara frigorífica durante 12 horas à 4°C, a carne do peito (incluindo o peitoral maior e o peitoral menor) e a carne da perna (incluindo a coxa e a sobrecoxa), foram todas removidas das carcaças e pesadas. O rendimento foi determinado calculando-se as porcentagens relativas ao peso corporal total de cada ave. Os dados foram analisados através do procedimento ANOVA do *software* estatístico SAS 9.0 (SAS Institute, 2009) e as diferenças submetidas ao teste de Tukey (5 %) e as análises de regressão pelo *software* R (R Development Core Team, 2025). Os resultados foram analisados levando em consideração os efeitos da dose de metionina. Também se procedeu a análise de regressão para avaliar o comportamento entre os níveis.

Figura 2. Baías experimentais



Fonte: Arquivo Pessoal (2026)

Tabela 6. Composição nutricional das dietas experimentais de 0 a 21 dias

	Metionina I	Metionina II	Metionina III	Metionina IV	Metionina V
Ingredientes (%)	0,43	0,53	0,63	0,73	0,83
Milho	63,50	63,50	63,53	63,54	63,55
Farelo de soja 46.0	31,45	31,30	31,13	31,00	30,82
Oleo de Soja Degomado	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
DL-Metionina 98%	0,11	0,21	0,32	0,42	0,52
L-Lisina	0,53	0,54	0,54	0,55	0,55
L-valina	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
L-Treonina	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04
L-triptofano	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Calcário calcítico	1,30	1,30	1,30	1,30	1,31
Fosfato Bicálcio	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60
Sal	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Caulim	0,36	0,39	0,42	0,42	0,47
Vitaminas - Minerias Premix ¹	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Composição calculada					
Proteína Bruta	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Energia Metabolizável Kcal/kg	2900,00	2900,00	2900,00	2900,00	2900,00
Lisina	1,48%	1,48%	1,48%	1,48%	1,48%
Metionina	0,43%	0,53%	0,63%	0,73%	0,83%
Treonina	0,78%	0,78%	0,78%	0,78%	0,78%
Triptofano	0,24%	0,24%	0,24%	0,24%	0,24%
Valina	0,83%	0,83%	0,83%	0,83%	0,83%
Cálcio total	1,00%	1,00%	1,00%	1,00%	1,00%
Fósforo total	0,68%	0,68%	0,68%	0,68%	0,68%

¹Fornecido por quilograma na dieta total: Cobalto 200mg/kg; Ferro 10 g/kg; Manganês 16 g/kg; Zinco 16 g/kg; Vitamina D3 700.000 UI/kg; Vitamina K3 1.600 mg/kg; Vitamina B2 2.000 mg/kg; Vitamina B12 5.000 mcg/kg; Pantotenato de cálcio 3.200 mg/kg; Biotina 50 mg/kg; Fitase 200.000 FTU/kg; Glucanase 75 UI/kg; Alfa-Amilase 1.200 µg; Cobre 25 g/kg; Iodo 340 mg/kg; Selênio 60 mg/kg; Vitamina A 2.400.000 UI/kg; Vitamina E 12.000 UI/kg; Vitamina B1 600 mg/kg; Vitamina B6 800 mg/kg; Ácido fólico 400 mg/kg; Vitamina B3 18 g/kg; Fosfatidilcolina 828,2 mg/Kg; Mananase 2,5 UI/g; Protease ácida 14 µg; Xilanase 200 UI/g

Tabela 7. Composição nutricional das dietas experimentais de 21 a 42 dias

	Metionina I	Metionina II	Metionina III	Metionina IV	Metionina V
Ingredientes (%)	0,33	0,43	0,53	0,63	0,73
Milho	67,42	67,42	67,42	67,42	67,42
Farelo de soja 46.0	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00
Oleo de Soja Degomado	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
Calcário	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Fosfato Bicálcio	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Sal	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
Lisina HCl 78,4%	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
L-Treonina 98%	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
L-Triptofano	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Aglutinante para ração peletizada	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ácido orgânico	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Probiótico	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Adsorvente	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Formaldeído	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Fitase 10.000 FTU	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Vitaminas - Minerais Premix ¹	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
DL-Metionina 99%	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40
Caulim	0,60	0,50	0,40	0,30	0,20
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Composição calculada					
Energia Metabolizável Kcal/kg	3050,00	3050,00	3050,00	3050,00	3050,00
Proteína Bruta	17,50	17,50	17,50	17,50	17,50
Lisina	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Metionina	0,33	0,43	0,53	0,63	0,73
Treonina	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
Triptofano	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Isoleucina	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
Valina	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
Arginina	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03
Leucina	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41
Cálcio total	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68
Fósforo total	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48

Fornecido por quilograma na dieta total: Metionina 191,66 g/kg; Ferro 10g/kg; Cobre 2500mg/kg; Zinco 20g/kg; Manganês 20g/kg; Iodo 200mg/kg; selênio 66,66mg/kg; Vitamina A 2083333 UI/kg; Vitamina D3 666666 UI/kg; Vitamina E 20000UI/kg; Vitamina C 33,33 g/kg; Vitamina B1 500 mg/kg; Vitamina B2 1333,33 mg/kg; Niacina 7500 mg/kg; Vitamina B6 666,66 mg/kg; Vitamina B12 5833,33 µg/kg; Ácido Fólico 250 mg/kg; Biotina 50mg/kg; Ácido pantotênico 2500 mg/kg; Vitamina K3 666,66 mg/kg; Colina 50 g/kg

6.5 RESULTADOS

6.5.1 PERÍODO DE 0 A 21 DIAS

Tabela 8. Peso Inicial, consumo, ganho de peso total, conversão alimentar e peso final de 0 a 21 dias

	Tratamento					p-valor		
	0,43	0,53	0,63	0,73	0,83	Met	Linear	Quadrático
0-21 dias								
Peso inicial (g)	54,0	53,0	53,0	53,0	53,0			
Consumo (g)	1960	1926	1882	1886	1860	0,19	0,03	0,69
Ganho de peso total (g)	1449	1491	1486	1494	1471	0,49	0,36	0,08
Conversão alimentar (kg/kg)	1,35a	1,29b	1,27b	1,26b	1,26b	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Peso final (g)	1503	1544	1539	1547	1524	0,50	0,36	0,08

Média seguida de letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de tukey a 5%

P: probabilidade

¹Linear; ²Quadrático

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

O consumo de ração não diferiu entre os níveis de metionina. Entretanto, a análise dose–resposta evidenciou efeito linear significativo dos níveis dietéticos sobre o consumo (Gráfico 3), caracterizado por redução progressiva da ingestão à medida que a concentração de metionina aumentou.

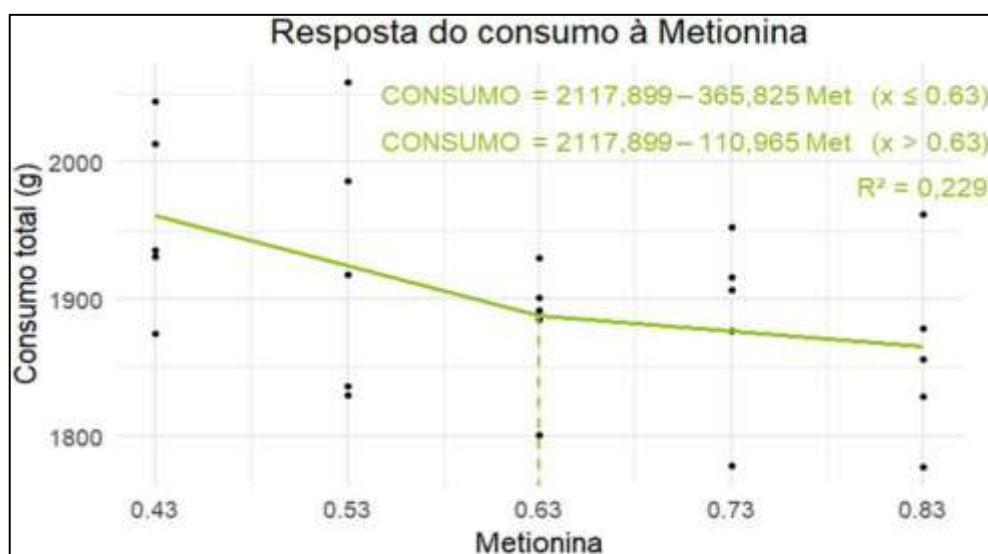


Gráfico 3. Resposta de consumo à metionina na dieta de 0 a 21 dias.

$$y = 2117,899 - 365,825 \text{ Met}; r^2 = 0,299; y = 2117,899 - 110,965 \text{ Met}; r^2 = 0,299$$

O ganho de peso não foi influenciado pelos níveis dietéticos de metionina. Em contraste, a conversão alimentar apresentou resposta altamente significativa aos níveis dietéticos de metionina. A análise evidenciou efeito, com melhora consistente da eficiência alimentar à medida que os níveis de metionina aumentaram, indicando utilização mais eficiente dos nutrientes nos níveis e superiores. A análise dose-resposta confirmou comportamento curvilíneo bem definido da conversão alimentar no modelo quadrático (Gráfico 4) e estimativa de nível ótimo de metionina de 0,73%, dentro da faixa avaliada.

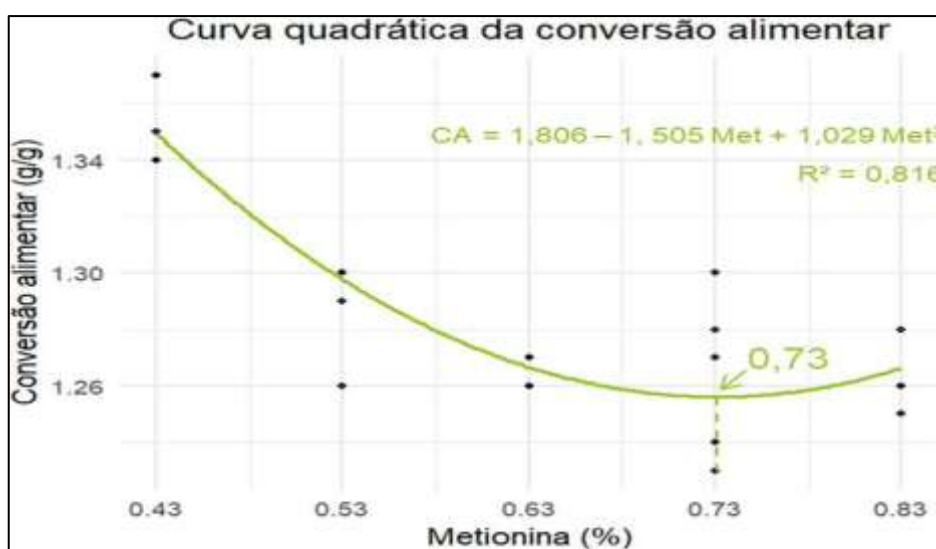


Gráfico 4. Resposta da conversão alimentar à metionina na dieta de 0 a 21 dias
 $y = 1,806 - 1,505 \text{ Met} + 1,029 \text{ Met}^2$; $r^2 = 0,816$

6.5.2 PERÍODO DE 21 A 42 DIAS

Tabela 9. Peso Inicial, consumo de ração, ganho de peso total, conversão alimentar e peso final de 21 a 42 dias

	Tratamento					p-valor		
	0,33	0,43	0,53	0,63	0,73	Met	Linear ¹	Quadrático ²
21-42 dias								
Peso inicial (g)	1601	1609	1622	1607	1608			
Consumo (g)	4552a	4448ab	4310b	4492ab	4388ab	0,04	0,16	0,19
Ganho de peso total (g)	2154	2161	2190	2242	2209	0,51	0,12	0,85
Conversão alimentar (kg/kg)	2,12a	2,06ab	1,97b	2,01ab	1,99b	0,01	< 0,01	0,12
Peso final (g)	3755	3771	3812	3849	3817	0,47	0,12	0,85

Média seguida de letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de tukey a 5%

P: probabilidade

¹Linear; ²Quadrático

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

No período de 21 a 42 dias, o consumo de ração apresentou efeito significativo dos níveis, indicando que as diferenças observadas são atribuídas aos níveis de metionina. Entretanto, as análises de regressão linear e quadrática não foram significativas (Tabela 9).

Para o ganho de peso, não foram detectados efeitos significativos dos níveis de metionina.

Em contraste, a conversão alimentar foi o parâmetro mais responsivo. A ANOVA indicou efeito significativo dos tratamentos ($p < 0,01$). Ocorreu melhora da conversão alimentar nos níveis intermediários e mais elevados, quando comparados ao menor nível. A regressão linear foi significativa, indicando redução progressiva da conversão alimentar com o aumento dos níveis de metionina, enquanto o modelo quadrático não teve significância, não permitindo a definição de um ponto ótimo biológico preciso entre os níveis avaliados.

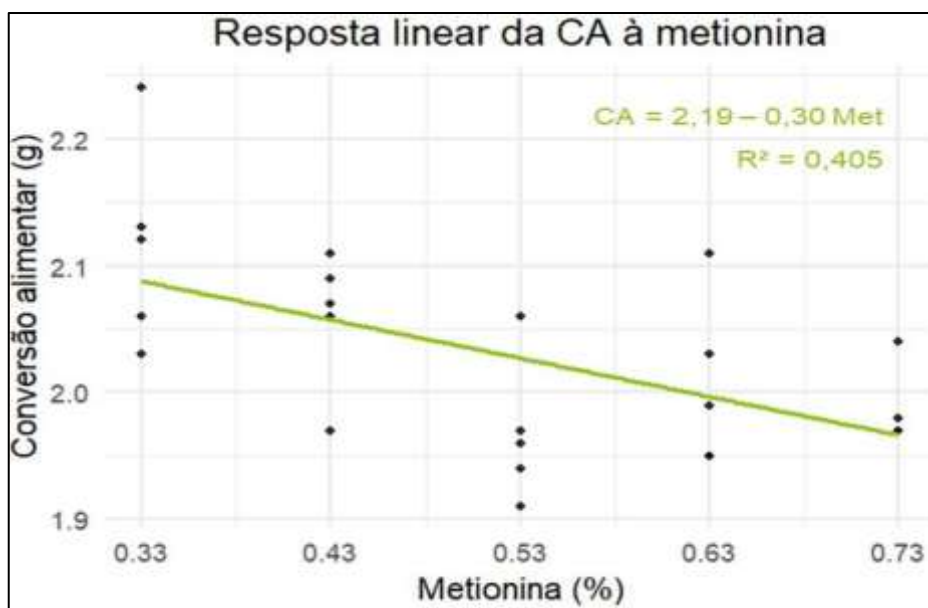


Gráfico 5. Resposta linear da conversão alimentar à metionina de 21 a 42 dias

$$y = 2,19 - 0,30 \text{ Met}; r^2 = 0,405$$

6.5.3 RENDIMENTO DE CARÇAÇA

Tabela 10. Rendimento de carcaça, peito e coxa/sobrecoxa de patos aos 42 dias de idade

	Tratamento					p-valor		
	0,33	0,43	0,53	0,63	0,73	Met	L ¹	Q ²
Rendimento (%)								
Peito	16,6	17,1	17,4	17,1	16,6	0,52	0,85	0,08
Coxa e sobrecoxa	12,9a	12,7ab	12,1b	12,3ab	12,6ab	0,04	0,10	0,02
Carcaça	62,4	61,9	62,2	61,5	62,4	0,74	0,86	0,39

Média seguida de letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de tukey a 5%

P: probabilidade

¹Linear; ²Quadrático

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Para o rendimento de peito, não foi observado efeito significativo dos níveis de metionina. As médias permaneceram estáveis entre os tratamentos, e tanto os modelos linear quanto quadrático não foram significativos, indicando ausência de resposta dose-dependente dentro do intervalo avaliado.

Por outro lado, o rendimento de coxa e sobrecoxa apresentou efeito significativo dos tratamentos. A análise de regressão indicou comportamento quadrático, com estimativa do vértice da curva em 0,57% de metionina, caracterizando um ponto de mínima resposta.

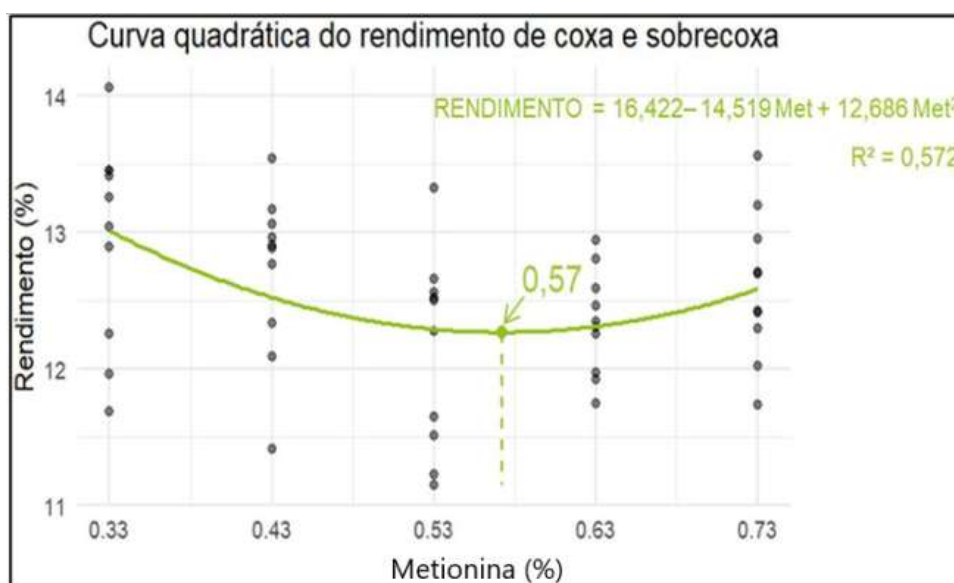


Gráfico 6. Resposta do rendimento à metionina de 21 à 42 dias

$$y = 16,422 - 14,519 \text{ Met} + 12,686 \text{ Met}^2; r^2 = 0,572$$

Para o rendimento de carcaça, não foram detectadas diferenças significativas entre os tratamentos. A análise de regressão não indicou qualquer relação funcional consistente.

6.6 DISCUSSÃO

6.6.1 PERÍODO DE 0 A 21 DIAS

No período acumulado de 0 a 21 dias de idade, com um efeito linear dose resposta significativo dos níveis dietéticos sobre o consumo, caracterizado por redução progressiva da ingestão à medida que a concentração de metionina aumentou, esse comportamento sugere maior ingestão nos níveis deficientes, possivelmente como mecanismo compensatório frente à limitação nutricional do aminoácido metionina. Esta observação de que níveis deficientes podem levar a maior ingestão compensatória é suportada indiretamente por estudos que mostram a depressão do consumo com altos níveis do aminoácido cistina (Xie et al., 2004) ou com excesso de metionina (Xie et al., 2007), embora para o período de 21 até 42 dias, a lógica de excesso também se aplica. Por outro lado, a suplementação com metionina pode levar a uma diminuição no consumo de ração diariamente, como observado por Wu et al. (2019), o que pode ser interpretado como um ajuste para uma dieta mais eficiente, reduzindo a necessidade de ingestão para atingir os requerimentos nutricionais.

Para o ganho de peso total que não foi significativo entre os níveis de metionina avaliados, sugere-se que a exigência de metionina para ganho de peso foi atendida entre os níveis estudados, ou que a resposta ao aumento do aminoácido não se expressou em incremento adicional de crescimento corporal.

Estes achados contrastam com o que é amplamente discutido na literatura por outros autores. Bunchasak (2009) afirma que a metionina promove o crescimento, porém as doses sugeridas pelo autor variam de 0,51% (para frangos até 10 dias de vida) e de 0,45% para os mesmos até 24 dias. Zeng et al. (2015) mostraram que a deficiência de metionina (0,30%) comprometeu o ganho de peso enquanto níveis mais altos melhoraram o ganho de peso e o peso final, porém, mais uma vez com doses maiores de 0,51% e 0,60% (dependendo da análise adotada) para patos de 15 a 28 dias). Xie et al. (2004) encontraram que a dose ótima de 0,481% de

metionina maximizou o ganho de peso em patinhos (0-21 dias), com uma resposta quadrática (ganho de peso aumentou e depois diminuiu com o aumento da metionina). Similarmente, Zhang et al. (2019) observaram que a suplementação com L-Metionina ou DL-Metionina aumentou o peso corporal e o ganho médio diário na fase inicial (1-14 dias). Prahkarnkao e colaboradores (2017) também relataram que dietas deficientes em aminoácidos sulfurados totais deprimiram significativamente a taxa de crescimento de patos de pequim nas fases iniciais (1-9 e 10-16 dias) porém, melhorou com uma suplementação de 10% na concentração de metionina em patos em crescimento até 16 dias (de 0,55% para 0,60%). Wu e colaboradores (2019) também afirmaram que doses entre 0,40% e 0,50%, dependendo do nível de energia da dieta, garantem um ganho de peso adequado para os patos de pequim. A ausência de influência nesse estudo pode indicar que a faixa de níveis de metionina testadas já se encontravam no platô de resposta máxima para ganho de peso, embora a literatura demonstre uma sensibilidade geral a esse aminoácido em níveis mais baixos.

Ao contrário do ganho de peso, a conversão alimentar teve uma resposta altamente significativa, com melhora consistente da eficiência alimentar resultando em um nível ótimo de 0,73%, indicado através do modelo quadrático. Os resultados estão fortemente em concordância com outros trabalhos envolvendo frangos e patos de pequim. Bunchasak (2009) destacou que a metionina melhora a conversão alimentar desde que suplementada conforme as diferentes linhagens e acima das recomendações do NRC (1994). Zeng e colaboradores (2015) relataram que a deficiência de metionina (0,30%) piorou a conversão alimentar e níveis ótimos reduziram a mesma conversão alimentar. Xie e colaboradores (2004) identificaram uma máxima eficiência de utilização da ração consumida com 0,58% de metionina para patinhos de 0-21 dias. Zhang e colaboradores (2015) mostraram que a suplementação de metionina reduziu a conversão alimentar na fase inicial (1-14 dias). Wu e colaboradores (2019) também concluíram que a suplementação de metionina melhorou a taxa de conversão alimentar, estimando níveis ótimos de metionina em 0,40% (para 2856 Kcal/kg) ou 0,50% (para 3095 Kcal/kg). O valor ótimo de 0,73% deste trabalho é superior aos 0,585% relatados por Xie et al. (2004) para máxima eficiência na mesma fase, assim como, dos 0,50% preconizados pela linhagem Grimaud (2015), o que pode indicar diferenças na linhagem ou composição da dieta, especialmente quando avaliados os níveis de energia da dieta, as quais foram de 2900 Kcal/kg.

De forma integrada, os resultados do período de 0 a 21 dias demonstram que a metionina não limitou o ganho de peso, mas exerceu papel central na modulação do consumo e, principalmente, na eficiência alimentar dos patos. Do ponto de vista prático, esses achados indicam que níveis dietéticos abaixo de 0,73% comprometeriam a eficiência alimentar, enquanto níveis próximos a esse valor permitem otimização da conversão alimentar, sem impacto adicional sobre o ganho de peso, consolidando a conversão alimentar como o principal critério para definição do nível ótimo de metionina no período total de crescimento avaliado.

6.6.2 PERÍODO DE 21 A 42 DIAS

Apesar do consumo de ração apresentar diferença significativa entre os níveis estudados de 21 a 42 dias, e nas análises de regressão linear e quadrática ausência significativa, os níveis de metionina avaliados sugerem que, embora existam diferenças entre os níveis, não há um padrão dose–resposta claro e contínuo para consumo dentro da faixa avaliada. Wu e colaboradores (2019) observaram que a suplementação de metionina diminuiu consumo de ração para patos de pequim entre 15 e 42 dias. Em contraste, Xie e colaboradores (2007) mostraram que o excesso de metionina (para patos de 21 a 42 dias) reduziu significativamente o consumo de ração, sugerindo que, em faixas muito altas, há um efeito depressor.

Já para o ganho de peso, os resultados indicam que, no período acumulado de 21 a 42 dias, o incremento de metionina acima do nível mais baixo não traduziu em aumento consistente de ganho de peso, reforçando que esse parâmetro foi pouco sensível às variações nutricionais testadas e tampouco demonstrou diferença significativa.

Esta conclusão diverge de alguns estudos que investigaram a mesma fase. Adeola (2006) relatou um aumento linear no crescimento (ganho de peso corporal) em patos de 22 a 42 dias com a adição de metionina, porém, menor que os níveis aqui avaliados. Xie e Huang (2006) estimaram uma exigência ótima de metionina de 0,377% para ganho de peso máximo em patos de pequim machos em crescimento (21-49 dias), com o ganho de peso mostrando uma resposta quadrática. Wu e colaboradores (2019) também observaram aumento do ganho de peso com a suplementação de metionina para patos de 15 a 42 dias com a dose de recomendação de 0,502% para 3070 Kcal de energia metabolizável. Entretanto, o excesso de

metionina pode suprimir significativamente o ganho de peso, como demonstrado por Xie e colaboradores (2007) para patos de 21 a 42 dias, os quais não sugerem mais que 1,38% de incremento do aminoácido metionina sobre uma dieta formulada com 0,38% de metionina.

Contrariamente, a conversão alimentar foi diretamente influenciada pelos níveis dietéticos de metionina sendo o parâmetro mais responsivo, com melhora significativa nos níveis intermediários e mais elevados, e uma regressão linear significativa indicando redução progressiva da conversão com o aumento da metionina. Esta observação é corroborada em outros trabalhos. Bunchasak (2009) por exemplo, ressaltou que a metionina melhora a eficiência alimentar. Adeola (2006) indicou um aumento linear na eficiência do uso de ração para patos de 22 a 42 dias. Wu e colaboradores (2019) também confirmaram a melhora da taxa de conversão alimentar para patos de 15 a 42 dias, com níveis ótimos específicos.

De forma integrada, os resultados indicam que, no período de 21 a 42 dias, as principais respostas produtivas ao aumento dos níveis de metionina ocorreram no consumo e conversão alimentar, com ganhos significativos no peso e na eficiência alimentar, enquanto o ganho de peso e o peso final permaneceram inalterados. Do ponto de vista prático, isso sugere que níveis intermediários a elevados de metionina são recomendáveis para otimizar a eficiência alimentar, mesmo na ausência de incrementos adicionais em ganho de peso.

6.6.3 RENDIMENTO

No presente trabalho, os resultados obtidos indicam que o rendimento de carcaça não apresentou diferenças significativas e é pouco sensível às variações nos níveis dietéticos de metionina estudados. Esta observação contrasta com o trabalho de Zeng et al. (2015) que observaram que a suplementação de metionina (de 0,30% para 0,68%) resultou em um aumento linear do peso da carcaça e melhorou o rendimento da carne de peito em patos pequinês de 15 a 35 dias de idade. De forma similar, Zhao et al. (2018), trabalhando com patos da linhagem Cherry Valley, também verificaram que a suplementação de metionina melhorou o ganho de peso corporal e o peso da carcaça. Wu et al. (2019) relataram que a suplementação de metionina melhorou significativamente o desempenho de crescimento e as características da carcaça, resultando em aumento do rendimento da carcaça eviscerada em patos de

pequim em crescimento. Apesar da possível diferença de linhagens e condições específicas, esses autores sugerem que a metionina pode ter um impacto mais pronunciado no rendimento da carcaça total do que o observado neste trabalho.

Para o rendimento de peito, os resultados indicam um efeito limitado da metionina sobre o rendimento, sem ganhos adicionais em níveis abaixo ou acima do recomendado. Esta conclusão também apresenta diferenças em relação ao estudo do Zeng et al. (2015), os quais relataram que a deficiência de metionina (0,30%) reduziu o rendimento de carne de peito, porém, os níveis do presente trabalho foram iguais ou maiores que 0,33%. Por outro lado, níveis ótimos de metionina (entre 0,445% e 0,576%, dependendo do modelo e da fase) melhoraram o rendimento de carne de peito. Os autores até estabeleceram um nível ótimo para o rendimento de carne de peito que variou entre 0,408% (broken-line) e 0,564% (regressão quadrática) para patos entre 15 e 35 dias. Wu et al. (2019) também encontraram um aumento no rendimento da carne do peito com a suplementação de 0,388% de metionina para 3095 Kcal em patos de pequim.

Mais diretamente, Xie e Huang (2006) observaram que o rendimento da carne do peito em patos de pequim machos em crescimento mostrou uma resposta quadrática significativa ao aumento da metionina, com uma exigência ótima de 0,379% para o máximo rendimento de carne de peito. Este achado contradiz este trabalho de "efeito limitado" e de "não promover ganhos adicionais", pois uma resposta quadrática implica em uma sensibilidade e um ponto ótimo claro. Zhang et al. (2019), ao compararem diferentes fontes de metionina, notaram que a DL-Metionina resultou em uma maior proporção de carne no peito em comparação com a L-Metionina, indicando que a metionina, e até sua fonte, podem influenciar este rendimento de corte. Em uma revisão geral, Bunchasak (2009) menciona que a metionina aumenta a massa de carne de peito e melhora o rendimento muscular do peito, embora em frangos de corte, sugerindo um papel importante do aminoácido.

Já para coxa e sobrecoxa, os resultados indicam que o rendimento responde de forma quadrática, com um ponto de mínima resposta em torno de 0,57% de metionina, sugerindo um redirecionamento da deposição tecidual. No trabalho de Xie et al. (2006), em contraste com os resultados deste trabalho, afirmaram que a suplementação de metionina não teve efeitos significativos no rendimento da coxa e sobrecoxa em patos de pequim, contrariando o presente trabalho, o qual identificou uma resposta quadrática e significativa para o rendimento de coxa e sobrecoxa. Por

outro lado, Zhang et al (2019) observaram que a L-Metionina resultou em uma maior proporção de carne na coxa em comparação com a dieta basal e a DL-Metionina. Embora não detalhe a mesma resposta quadrática aqui apresentada, indica que o rendimento da coxa é sensível às variações de metionina (e ao tipo), o que está de acordo com o que este trabalho detectou com diferenças significativas.

Considerando que Zeng et al. (2015) que utilizaram modelos quadráticos para determinar requisitos ótimos de metionina para rendimento de peito (0,576% e 0,564% para diferentes fases) em patos de pequim, assemelha-se ao ponto de mínima para coxa/sobrecoxa (0,57%) aqui encontrado e que está dentro do intervalo que eles identificaram como ótimo para peito, o que sustentaria a hipótese de um redirecionamento da deposição tecidual, e sugere o aumento da dose indicada pelo NRC (1994) de 0,30% e da linhagem Grimaud (2015 de 0,40%).

6.7 CONCLUSÃO

Os resultados indicam que a metionina desempenha um papel importante no consumo e, especialmente, na conversão alimentar, sendo esta, o critério mais consistente para a otimização de sua inclusão nas dietas. Na fase inicial recomenda-se utilizar 0,73% de metionina na dieta, enquanto no segundo período de 21 a 42 dias os níveis de 0,43 a 0,73% são os mais indicados. No rendimento de carcaça e cortes, não houve efeitos consistentes, exceto no rendimento de coxa e sobrecoxa, que apresentou uma resposta quadrática com mínima resposta em torno de 0,57%, sendo este nível mínimo recomendado.

REFERÊNCIAS

- ADEOLA, O. Efficiency of methionine retention in ducks. *British Journal of Nutrition*, v. 97, n. 3, p. 478–483, 2007. DOI: 10.1017/s0007114507352380.
- AGOSTINI, P. S.; DALIBARD, P.; MERCIER, Y.; VAN DER AAR, P.; VAN DER KLIS, J. D. Comparison of methionine sources around requirement levels using a methionine efficacy method in 0 to 28 day old broilers. *Poultry Science*, v. 95, p. 560.e9, 2016.
- ATTIA, Y. A.; HASSAN, R. A.; SHEHATTA, M. H.; ABD EL-HADY, S.; B., Slawa. Growth, carcass quality and serum constituents of slow-growing chicks as affected by betaine addition to diets containing different levels of methionine. *International Journal of Poultry Science*, v. 4, p. 856–865, 2005.
- ATMACA, M.; FRY, J. R. Glutamine concentration may limit glutathione synthesis in the presence of α -adrenoceptor agonists and glucagon. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, v. 19, p. 144–149, 2005.
- BAKER, D. H. Comparative species utilization and toxicity of sulfur amino acids. *Journal of Nutrition*, v. 136, n. 6 Suppl, p. 1670S–1675S, 2006. DOI: 10.1093/jn/136.6.1670S.
- BROSNAN, J. T.; BROSNAN, M. E. The sulfur-containing amino acids: an overview. *Journal of Nutrition*, v. 136, n. 6 Suppl, p. 1636S–1640S, 2006. DOI: 10.1093/jn/136.6.1636S.
- BUNCHASAK, C. Role of dietary methionine in poultry production. *The Journal of Poultry Science*, v. 46, n. 3, p. 169–179, 2009. DOI: 10.2141/jpsa.46.169.
- CONDE-AGUILERA, J. A.; COBO-ORTEGA, C.; TESSERAUD, S.; LESSIRE, M.; MERCIER, Y.; VAN MILGEN, J. Changes in body composition in broilers by a sulfur amino acid deficiency during growth. *Poultry Science*, v. 92, p. 1266–1275, 2013. DOI: 10.3382/ps.2012-02796.
- DILGER, R. N.; BAKER, D. H. DL-methionine is as efficacious as L-methionine, but modest L-cystine excesses are anorexigenic in sulfur amino acid-deficient purified and practical-type diets fed to chicks. *Poultry Science*, v. 86, p. 2367–2374, 2007.
- GRIMAUD FRERES COMPANY. *Guide d'élevage des canedins à rôtir*. Roussay, France: Grimaud Frères Sélection, 2015. p. 1–25.
- GUO, F. Effects of methionine on feather development of started Peking ducks of 0 to 21d of age. MS Thesis. Beijing, China: The Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2011.
- LECLERQ, B.; DE CARVILLE, H. On the sulfur amino acid requirement of Muscovy ducklings. *Archiv für Geflügelkunde*, v. 41, p. 270–272, 1977.
- LIU, Y. L.; SONG, G. L.; YI, G. F.; HOU, Y. Q.; HUANG, J. W.; KNIGHT, C. D. Effect of supplementing 2-hydroxy-4-(methylthio)butanoic acid and DL-methionine in corn-

soybean-cottonseed meal diets on growth performance and carcass quality of broilers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, v. 19, p. 1197–1205, 2006.

LUO, Q. Y.; GAO, Z. C. The study on the optimal levels of the dietary methionine and lysine for 0-2-5 weeks Beijing ducklings. *Acta Zoonutr. Sin.*, v. 14, p. 30–35, 2002.

KLUGE, H.; GESSNER, D. K.; HERZOG, E.; EDER, K. Efficacy of DL-methionine hydroxy analogue-free acid in comparison to DL-methionine in growing male white Pekin ducks. *Poultry Science*, v. 95, p. 590–594, 2016.

NRC (National Research Council). *Nutrient requirements of poultry*. 9th rev. ed. Washington, DC: National Academies Press, 1994.

POKOO-AIKINS, A.; TIMMONS, J. R.; MIN, B. R.; LEE, W. R.; MWANGI, S. N.; MCDONOUGH, C. M.; CHEN, C. Effects of varying levels of dietary DL-methionine supplementation on breast meat quality of male and female broilers. *Poultry*, v. 1, p. 40–53, 2022. DOI: 10.3390/poultry1010005.

PRAHKARNKAE, K.; CHOOWONGKOMON, K.; CHOMTEE, B.; RAKANGTHONG, C.; BUNCHASAK, C. Re-estimation of supplemented methionine as total sulfur amino acid requirement for commercial male meat-type ducks. *The Thai Journal of Veterinary Medicine*, v. 47, n. 4, Art. 4, 2017.

R CORE TEAM. *R: a language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2020.

SAS INSTITUTE INC. *SAS/STAT User's Guide, Version 9.4*. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc., 2014.

SWAIN, B. K.; JOHRI, T. S. Effect of supplemental methionine, choline and their combinations on the performance and immune response of broilers. *British Poultry Science*, v. 41, p. 83–88, 2000.

SWATLAND, H. J. Development of carcass shape in Pekin and Muscovy ducks. *Poultry Science*, v. 59, p. 1773–1776, 1980.

VIEIRA, S. L.; LEMME, A.; GOLDENBERG, D. B.; BRUGALLI, I. Responses of growing broilers to diets with increased sulfur amino acids to lysine ratios at two dietary protein levels. *Poultry Science*, v. 8, p. 1307–1313, 2004.

XIE, M.; HOU, S. S.; HUANG, W.; ZHAO, L.; YU, J. Y.; LI, W. Y.; WU, Y. Y. Interrelationship Between Methionine and Cystine of Early Peking Ducklings. *Poultry Science*, v. 83, n. 10, p. 1703–1708, 2004. DOI: 10.1093/ps/83.10.1703.

XIE, M.; HOU, S. S.; HUANG, W. Methionine requirements of male White Peking ducks from twenty-one to forty-nine days of age. *Poultry Science*, v. 85, n. 4, p. 743–746, 2006. DOI: 10.1093/ps/85.4.743.

XIE, M.; HOU, S. S.; HUANG, W.; FAN, H. P. Effect of excess methionine and methionine hydroxy analogue on growth performance and plasma homocysteine of

growing Pekin ducks. *Poultry Science*, v. 86, n. 9, p. 1995–1999, 2007. DOI: 10.1093/ps/86.9.1995.

XUE, J. J.; XIE, M.; TANG, J.; HUANG, W.; ZHANG, Q.; HOU, S. S. Effects of excess DL- and L-methionine on growth performance of starter Pekin ducks. *Poultry Science*, v. 97, n. 3, p. 946–950, 2018. DOI: 10.3382/ps/pex380.

WANG, Y. Z.; XU, Z. R.; FENG, J. The effect of betaine and DL-methionine on growth performance and carcass characteristics in meat ducks. *Animal Feed Science and Technology*, v. 116, p. 151–159, 2004.

WICKRAMASURIYA, S. S.; KIM, E.; CHO, H.-M.; SHIN, T.-K.; KIM, B.; LEE, M.; SEO, S.; HEO, J.-M.; CHOI, H. Differential effects of dietary methionine isomers on broilers challenged with acute heat stress. *Journal of Poultry Science*, v. 56, p. 195–203, 2019.

WU, G.; FANG, Y. Z.; YANG, S.; LUPTON, J. R.; TURNER, N. D. Glutathione metabolism and its implications for health. *Journal of Nutrition*, v. 3, p. 489–492, 2004.

WU, B.; LI, L.; RUAN, T.; PENG, X. Effect of methionine deficiency on duodenal and jejunal IgA+ B cell count and immunoglobulin level of broilers. *Iranian Journal of Veterinary Research*, v. 19, n. 3, p. 165–171, 2018.

WU, Y. B.; TANG, J.; XIE, M.; ZHAO, R.; HUANG, W.; ZHANG, Q.; HOU, S. S. Effects of dietary energy and methionine on growth performance and carcass traits of growing Pekin ducks from 15 to 42 days of age. *Poultry Science*, v. 98, n. 11, p. 5870–5875, 2019. DOI: 10.3382/ps/pez332.

ZENG, Q. F.; ZHANG, Q.; CHEN, X.; DOSTER, A.; MURDOCH, R.; MAKAGON, M.; GARDNER, A.; APPLGATE, T. J. Effect of dietary methionine content on growth performance, carcass traits, and feather growth of Pekin duck from 15 to 35 days of age. *Poultry Science*, v. 94, n. 7, p. 1592–1599, 2015. DOI: 10.3382/ps/pev117.

ZHANG, Y. N.; XU, R. S.; MIN, L.; RUAN, D.; KIM, H. Y.; HONG, Y. G.; CHEN, W.; WANG, S.; XIA, W. G.; LUO, X.; XIE, C. Y.; SHANG, X. G.; ZHENG, C. T. Effects of L-methionine on growth performance, carcass quality, feather traits, and small intestinal morphology of Pekin ducks compared with conventional DL-methionine. *Poultry Science*, v. 98, n. 12, p. 6866–6872, 2019. DOI: 10.3382/ps/pez438.

ZHAO, L.; ZHANG, N.-Y.; PAN, Y.-X.; ZHU, L.-Y.; BATONON-ALAVO, D. I.; MA, L.-B.; KHALIL, M. M.; QI, D.-S.; SUN, L.-H. Efficacy of 2-hydroxy-4-methylthiobutanoic acid compared to DL-methionine on growth performance, carcass traits, feather growth, and redox status of Cherry Valley ducks. *Poultry Science*, v. 97, n. 9, p. 3166–3175, 2018. DOI: 10.3382/ps/pey196.