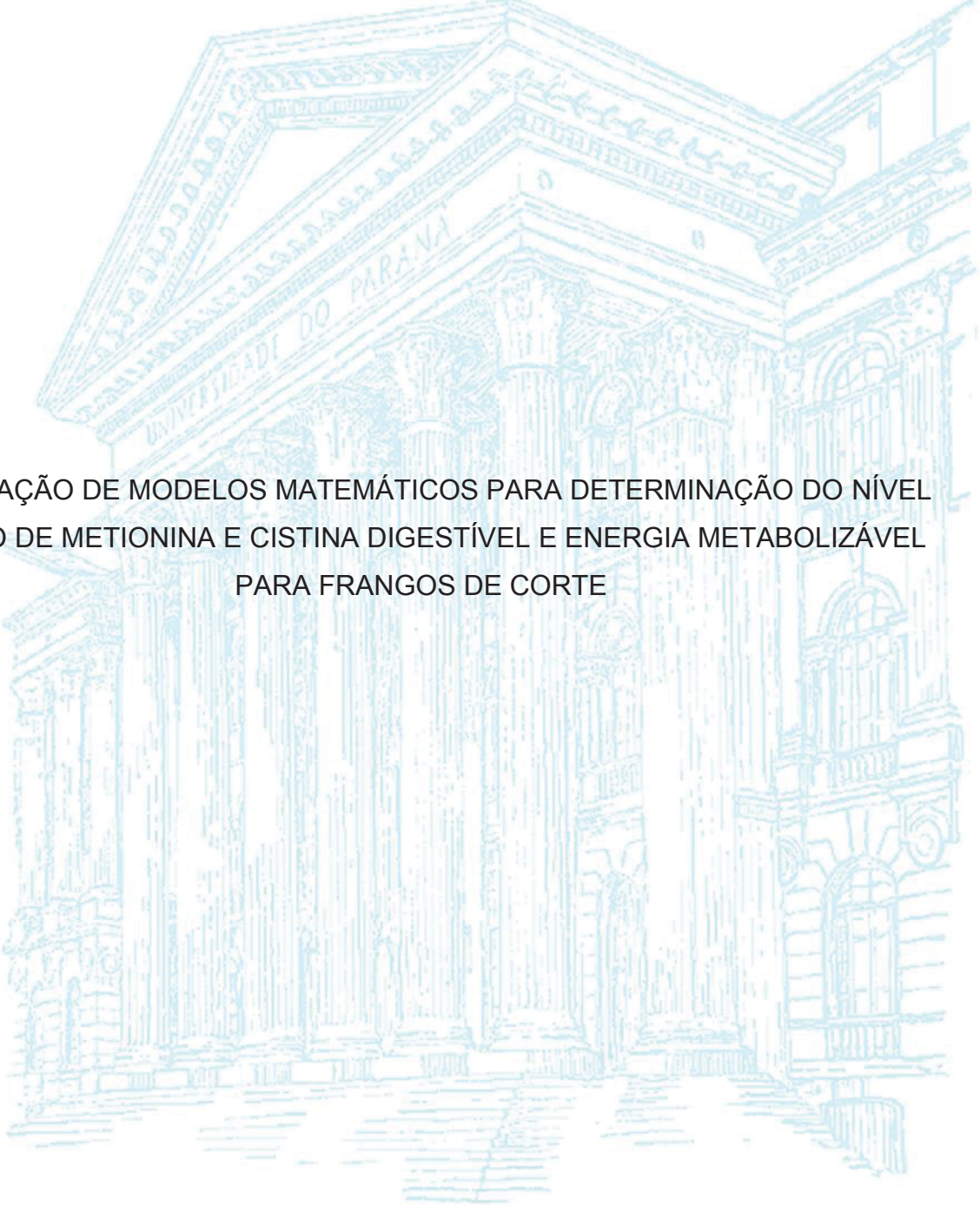


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FRANCIELLE DE OLIVEIRA MARX



UTILIZAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS PARA DETERMINAÇÃO DO NÍVEL  
ÓTIMO DE METIONINA E CISTINA DIGESTÍVEL E ENERGIA METABOLIZÁVEL  
PARA FRANGOS DE CORTE

CURITIBA

2021

FRANCIELLE DE OLIVEIRA MARX

UTILIZAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS PARA DETERMINAÇÃO DO NÍVEL  
ÓTIMO DE METIONINA E CISTINA DIGESTÍVEL E ENERGIA METABOLIZÁVEL  
PARA FRANGOS DE CORTE

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção  
do título de Doutor, Curso de Pós-Graduação em  
Zootecnia, Setor de Ciências Agrárias na Universidade  
Federal do Paraná.

Orientador: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Simone G. de Oliveira

Coorientador: Dr. Everton Luis Krabbe

CURITIBA

2021

Marx, Francielle de Oliveira

Utilização de modelos matemáticos para determinação do nível ótimo de metionina e cistina digestível e energia metabolizável para frangos de corte. / Francielle de Oliveira Marx. - Curitiba, 2021.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia.

Orientador: Simone G. de Oliveira.

Coorientador: Everton Luis Krabbe.

1. Frango de corte - Metabolismo. 2. Suplemento alimentar - Eficiência. 3. Modelos matemáticos. I. Oliveira, Simone G. de. II. Krabbe, Everton Luís. III. Título. IV. Universidade Federal do Paraná.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ZOOTECNIA -  
40001016082P0

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ZOOTECNIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **FRANCIELLE DE OLIVEIRA MARX** intitulada: **Utilização de modelos matemáticos para determinação de nível ótimo de metionina e cistina digestível e energia metabolizável para frangos de corte.**, sob orientação da Profa. Dra. **SIMONE GISELE DE OLIVEIRA**, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua **APROVAÇÃO** no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita a homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 23 de Fevereiro de 2021.

Assinatura Eletrônica  
25/02/2021 10:37:09.0  
**SIMONE GISELE DE OLIVEIRA**  
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica  
25/02/2021 16:19:20.0  
**DIEGO SUREK**  
Avaliador Externo (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA  
AGROPECUÁRIA)

Assinatura Eletrônica  
25/02/2021 17:05:48.0  
**ANA VITORIA FISCHER DA SILVA**  
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica  
24/02/2021 16:30:26.0  
**ANANDA PORTELLA FELIX**  
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CERTIFICADO

Certificamos que o protocolo número 072/2019, referente a pesquisa "Efeito da inclusão de diferentes níveis de metionina no desempenho produtivo e rendimento de carcaça de frangos de corte avaliados por diferentes modelos matemáticos", sob a responsabilidade da Simone Gisele de Oliveira – que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica ou ensino – encontra-se de acordo com os preceitos da Lei n° 11.794, de 8 de Outubro de 2008, do Decreto n° 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA) DO SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - BRASIL, com grau 2 de invasividade, em 06/11/2019.

Finalidade	Pesquisa científica
Validade da autorização	Janeiro/2020 até Dezembro/2020
Espécie/Linhagem	<i>Gallus gallus domesticus</i> (ave)/Cobb 500
Número de animais	1296
Peso/Idade	45 g/1 dia
Sexo	Macho
Origem	Incubatório comercial BRF, Castro/PR, Brasil.

CERTIFICATE

We certify that the protocol number 072/2019, regarding the research "Effect of inclusion of different levels of methionine on performance and carcass yield of broilers evaluated by different mathematical models" under Simone Gisele de Oliveira supervision – which includes the production, maintenance and/or utilization of animals from Chordata phylum, Vertebrata subphylum (except Humans), for scientific or teaching purposes – is in accordance with the precepts of Law n° 11.794, of 8 October, 2008, of Decree n° 6.899, of 15 July, 2009, and with the edited rules from Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), and it was approved by the ANIMAL USE ETHICS COMMITTEE OF THE AGRICULTURAL SCIENCES CAMPUS OF THE UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (Federal University of Paraná, Brazil), with degree 2 of invasiveness, in session of 06/11/2019.

Purpose	Scientific research
Validity	January/2020 until December/2020
Species/Line	<i>Gallus gallus domesticus</i> (poultry)/Cobb 500
Number of animals	1296
Weight/Age	45 g/1 days
Sex	Male
Origin	BRF commercial farm, Castro/PR, Brazil.

Curitiba, 27 de novembro de 2019

*Chayane da Rocha*

Chayane da Rocha

Coordenadora CEUA-SCA

# CEUA/ CNPSA

## ACESSO RESTRITO

Segundo a Comissão de Ética no Uso de Animais da Embrapa Suínos e Aves (CEUA/CNPSA) o presente projeto foi submetido a apreciação do CEUA, sob protocolos N° 012/2013 tendo sido o mesmo considerado APROVADO, estando desta forma, liberada a execução de tais atividades desde que respeitada a descrição das metodologias apresentadas ao CEUA.

#### Período de realização do experimento

Início: 18/10/2013

Término: 29/11/2013

**Pesquisador Responsável: Everton Luis Krabbe**

**Telefone para Contato: 3441-0489**

**Presidente do CEUA: Paulo Augusto Esteves**

**Telefone para Contato: 3441-416**

Concórdia, 23/09/2013.



Presidente CEUA/CNPSA

**Dedico este trabalho aos meus eternos amores:**

**Sirlei e Erno (*in memoriam*)**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus pela oportunidade de ter realizado todo o meu ensino acadêmico em uma universidade pública de grande renome como a Universidade Federal do Paraná. Agradeço por me amar e por estar sempre presente em minha vida.

Aos meus queridos pais Erno (in memoriam) e Sirlei. Ao meu pai que mesmo estando em outro plano espiritual se faz presente todos os dias em meu coração. À minha mãe por ser minha melhor amiga, por me amar apesar dos meus defeitos, por todo o carinho, respeito, educação, paciência e por me ensinar a ser uma mulher forte frente a qualquer dificuldade e nunca perder minha essência.

As minhas irmãs Jackeline, Claudiane e Claudinéia pelo amor, carinho e amizade.

A minha orientadora, Prof<sup>ª</sup>. Dra. Simone, pela qual tenho muito carinho e respeito! Obrigada pela confiança em meu trabalho, por todos os ensinamentos e conselhos que me auxiliaram na minha formação acadêmica, pessoal e profissional.

Ao professor Dr. Alex Maiorka pelo grande conhecimento transmitido durante toda a minha pós-graduação e pela paciência em sanar minhas inúmeras dúvidas.

Ao meu amigo Marcus Vinicius N. Alvarez do Instituto de Biotecnologia- UNESP, por todo apoio e ensinamento durante o desenvolvimento da minha tese. Desejo muita luz, paz, sabedoria e prosperidade em sua vida. Não tenho como agradecer toda a sua dedicação e paciência.

Aos integrantes do Laboratório de Estudos e Pesquisa em Produção e Nutrição de Animais Não-Ruminantes (LEPNAN) em especial aos amigos da pós-graduação e aos estagiários.

À Fundação Araucária pela bolsa de doutorado concedida.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

À todos, muito Obrigada!!

## RESUMO

Em frangos de corte a metionina e a energia são componentes importantes na formulação das dietas, pois são fundamentais nos processos metabólicos e apresentam grande importância econômica, podendo onerar os custos de produção de ração. Nesta tese se objetivou determinar com auxílio de modelos matemáticos o nível ótimo de metionina + cistina (Met + Cis) digestível e a energia metabolizável em dietas para frangos de corte macho da linhagem Cobb® 500 no período de 21 a 42 dias de idade. Foram realizados dois experimentos, no primeiro foi avaliando níveis de Met + Cis digestível e no segundo os níveis de energia metabolizável. Em ambos os experimentos foram utilizados os modelos matemáticos: polinomial quadrática (PQ), segmentada e *linear response plateau* (LRP) para determinação de níveis ótimos (NO). No experimento 1 foram determinados os níveis ótimos das variáveis de ganho de peso (GP) e conversão alimentar (CA) e no experimento 2 somente para a CA. No primeiro experimento foram utilizados seis níveis de Met + Cis digestível na fase de crescimento (0,770; 0,829; 0,889; 0,948; 1,007; 1,067%) e na fase final (0,692; 0,741; 0,790; 0,838; 0,887; 0,936), sendo avaliado o consumo de ração (CR), GP, CA, ingestão de metionina (IM), eficiência de utilização da metionina (EM), rendimento de carcaça e o NO de Met + Cis digestível para o GP e CA. O CR não foi influenciado pelos níveis crescentes de Met+Cis digestíveis na fase de crescimento, enquanto na fase final e no período total houve redução linear no CR com as maiores inclusões de metionina. Em todas as fases de produção, o GP e a IM aumentaram e a CA melhorou com os maiores níveis de Met+Cis digestível. Entretanto foi observada redução significativa na EM com o aumento dos níveis de Met + Cis digestível nas dietas. O rendimento de carcaça aumentou com os maiores níveis de Met + Cis digestível. No segundo experimento foram utilizados cinco níveis de energia metabolizável (2850, 2950, 3050, 3150 e 3250 kcal/kg), sendo avaliados CR, GP, CA, consumo total de energia (CTE) e eficiência da utilização de energia dietética para o GP (EEGP), rendimento de carcaça e o NO de energia metabolizável para a melhor CA. Em todas as fases de produção, o GP não foi influenciado pelo aumento nos níveis de energia metabolizável da dieta, porém o CR e a CA diminuíram linearmente com o aumento dos níveis de energia. O CTE aumentou e a EEGP piorou com o aumento dos níveis crescente de energia das dietas. O rendimento da carcaça e dos cortes não foi influenciado pelos diferentes níveis de energia metabolizável das dietas. Os NO diferiram entre os modelos matemáticos, sendo recomendado para o experimento 1 na fase de crescimento, os níveis ótimos de Met+Cis digestíveis de 1,030 e 0,910% para o melhor resultado de GP pelos modelos PQ e LRP, respectivamente, enquanto para a CA o modelo PQ estimou o nível ótimo 0,910%. No período final o modelo LRP apresentou o melhor ajuste dos dados, recomendando os níveis ótimos para GP e melhor CA de 0,820 e 0,870%, respectivamente. Para o experimento 2 o melhor ajuste dos dados foi observado com o modelo LRP indicando o nível ótimo de energia metabolizável para a melhor CA de 3182, 3224 e 3191 kcal/kg para os períodos de crescimento, final e experimental total, respectivamente.

Palavras – chave: Cistina. Eficiência. Energia. Metionina. Modelos matemáticos. Nível ótimo.

## ABSTRACT

Methionine and energy are important components in the formulation of broiler diets, due to their roles in major metabolic processes and their economic value, which can be onerous. This thesis aimed to determine the optimal level of digestible methionine + cystine (Met + Cis) and metabolizable energy (ME) in poultry diets from 21 to 42 days of age through the use of different mathematical models. Two experiments were conducted to assess levels of digestible Met + Cis and metabolizable energy, respectively. In both experiments the mathematical models used were: quadratic polynomial; broken-line; and linear response plateau in order to determine the ideal levels for optimal body weight gain (BWG) and food conversion ratio (FCR). The first experiment evaluated the effect of 6 increasing levels of dietary digestible Met + Cis in the growth phase (0.770; 0.829; 0.889, 0.948; 1.007 and 1.067%) and in the final phase (0.692; 0.741; 0.790; 0.838; 0.887 and 0.936) on feed intake (FI), BWG, FCR, methionine intake, methionine use efficiency and carcass yield and determined optimal Met+Cis levels for BWG and FCR. FI was not influenced by increasing levels of Met+Cis in the growth phase, whereas in the final phase and total period there was a linear reduction in FI with the highest methionine inclusions. In all production phases, BWG and Met intake increased and FCR improved with higher levels of digestible Met+Cis; A significant reduction in Met use efficiency was observed with increasing levels of Met+Cis; Carcass yield increased with higher Met+Cis. In the second experiment, the effect of 5 levels of dietary ME (2850, 2950, 3050, 3150 e 3250 kcal/kg) on FI, BWG, FCR, total energy intake, efficiency of dietary energy use for BWG, and carcass yield was evaluated, and the optimal level of ME for the best FCR was determined. In all production phases, BWG was not influenced by dietary ME, whereas FI and FCR decreased linearly with increased ME levels; Total energy intake increased and the efficiency of energy use for BWG worsened with higher ME levels; Carcass and cuts yields were not influenced by ME levels. The optimal levels differed between the mathematical models, being recommended for experiment 1 in the growth phase, the optimal levels of digestible Met + Cis of 1.030 and 0.910% for the best BWG result by the quadratic polynomial (QP) and linear response plateau (LRP) models, respectively, while for the FCR the QP model estimated the optimal level to be 0.910%. In the final period, the LRP model presents the best adjustment of the data, recommending the optimal levels for BWG and best FCR of 0.820 and 0.870%, respectively. For experiment 2, the best fit of the data was observed with the LRP model indicating the optimal level of metabolizable energy for the best FCR of 3182, 3224 and 3191 kcal/kg for the growth, final and experimental total periods, respectively.

Key words: Energy. Growth performance. Mathematical models. Methionine. Optimal level.

## LISTA DE FIGURAS

### REVISÃO DE LITERATURA

FIGURA 1 – FÓRMULA ESTRUTURAL DA METIONINA .....	22
FIGURA 2 – ESTRUTURA QUÍMICA DA DL-METIONINA E DA METIONINA HIDROXI-ANALOGA (MHA).....	23
FIGURA 3 - METABOLISMO DA METIONINA .....	28
FIGURA 4 – PONTO DE PLATÔ NO GRÁFICO DE RENDIMENTO DE CARÇAÇA X NÍVEIS DE ENERGIA .....	43

## LISTA DE GRÁFICOS

### CAPÍTULO I

GRÁFICO 1: COMPORTAMENTO DO GANHO DE PESO (GP) E DA CONVERSÃO ALIMENTAR (CA) NO PERÍODO DE 21 A 42 DIAS DE IDADE.....68

GRÁFICO 2: COMPORTAMENTO DA INGESTÃO DE METIONINA (IM) E DA EFICIÊNCIA DA METIONINA NO GANHO DE PESO NO PERÍODO DE 21 A 42 DIAS DE IDADE.....68

### CAPÍTULO II

GRÁFICO 1 - GRÁFICO DO COMPORTAMENTO DOS MODELOS MATEMÁTICOS SOBRE A CA NO PERÍODO DE 21 A 35 DIAS .....94

GRÁFICO 2 - GRÁFICO DO COMPORTAMENTO DOS MODELOS MATEMÁTICOS SOBRE A CA NO PERÍODO DE 36 A 42 DIAS .....94

GRÁFICO 3 - GRÁFICO DO COMPORTAMENTO DOS MODELOS MATEMÁTICOS SOBRE A CA NO PERÍODO DE 21 A 42 DIAS .....95

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

TABELA 1 - COMPOSIÇÃO PERCENTUAL E NUTRICIONAL DAS DIETAS EXPERIMENTAIS.....62

TABELA 2. DESEMPENHO ZOOTÉCNICO DE FRANGOS DE CORTE ALIMENTADOS COM DIFERENTES NÍVEIS DE INCLUSÃO DE MET+CIS DIGESTÍVEL NOS PERÍODOS COMPREENDIDOS ENTRE 21 A 42 DIAS DE IDADE.....66

TABELA 3 - RENDIMENTO DE CARÇA DE FRANGOS DE CORTE ALIMENTADOS COM NÍVEIS CRESCENTES DE MET+CIS DIGESTÍVEL NO PERÍODO DE 21 A 42 DIAS DE IDADE.....69

TABELA 4 - DETERMINAÇÃO DE NÍVEL ÓTIMO DE MET+CIS DIGESTÍVEL EM DIETAS DE FRANGOS DE CORTE NO PERÍODO DE 21 A 42 DIAS DE IDADE PARA GANHO DE PESO (GP) E CONVERSÃO ALIMENTAR (CA) POR DIFERENTES MODELOS MATEMÁTICOS .....70

### CAPÍTULO II

TABELA 1 - COMPOSIÇÃO PERCENTUAL E NUTRICIONAL DAS DIETAS EXPERIMENTAIS.....87

TABELA 2 - DESEMPENHO ZOOTÉCNICO DE FRANGOS DE CORTE ALIMENTADOS COM DIFERENTES NÍVEIS DE INCLUSÃO DE ENERGIA METABOLIZÁVEL NOS PERÍODOS COMPREENDIDOS ENTRE 21 A 42 DIAS DE IDADE.....91

TABELA 3 - RENDIMENTO DE CARÇA DE FRANGOS DE CORTE ALIMENTADOS COM NÍVEIS CRESCENTES DE ENERGIA METABOLIZÁVEL NO PERÍODO DE 21 A 42 DIAS DE IDADE..... 92

TABELA 4 - DETERMINAÇÃO DE NÍVEL ÓTIMO DA ENERGIA METABOLIZÁVEL EM DIETAS DE FRANGOS DE CORTE NO PERÍODO DE 21 A 42 DIAS DE IDADE PARA CONVERSÃO ALIMENTAR POR DIFERENTES MODELOS MATEMÁTICOS.....93

## LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E UNIDADES

AIC - critério de informação de Akaike

ANOVA - análise de variância

BIC - critério de informação bayesiano

BHMT - betaína homocisteína-metil-transferase

CA - conversão alimentar

CR - consumo de ração

CTE - consumo total de energia

D - configuração química estróigira

DL - Met - DL-metionina em pó

DL-metionina-Na – metionina na forma líquida

EB - energia bruta

ED - energia digestível

EEGP - eficiência da utilização de energia dietética para o GP

EM - energia metabolizável

EM - eficiência de utilização da metionina

EL - energia líquida

GP - ganho de peso

IC - incremento calórico

IM - ingestão de metionina

L - configuração química levóigira

L - regressão linear simples

LRP - *linear response plateau*

MAT - adenosil-transferase

Met+Cis - metionina + cistina

MHA - metionina hidroxí-análoga

MHA-Ca - metionina hidroxí-análoga em pó

MHA-FA - metionina hidroxí-análoga na forma líquida

MTHFR - metileno-tetra-hidrofolato-reductase

NH<sub>3</sub><sup>+</sup> - grupo amino

NO - nível ótimo

OH - hidroxila

P - probabilidade

PQ - polinomial quadrática

R<sup>2</sup> - coeficiente de determinação ou r-quadrado

R<sup>2</sup><sub>A</sub> - coeficiente de determinação ajustado

SEM - Standard error of the mean

SQR - soma dos quadrados dos resíduos

α - alfa

β - beta

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO</b> .....	19
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	21
2.1 Importância da proteína na nutrição de monogástricos .....	21
2.2 A metionina na nutrição das aves.....	22
2.3 Importância da metionina em níveis adequados na produção de frangos de corte	23
2.4 Metabolismo dos aminoácidos .....	25
2.5 Metabolismo da metionina .....	26
2.6 A energia metabolizável na nutrição das aves .....	28
2.7 Determinação de exigências nutricionais .....	30
2.8 Modelos matemáticos .....	31
2.9 Parâmetros de avaliação de modelos.....	33
2.9.1 Critério de Informação de Akaike.....	33
2.9.2 Coeficiente de determinação .....	35
2.9.3 Soma dos quadrados dos resíduos.....	36
2.10 Regressão Polinomial Quadrática.....	37
2.11 Regressão Segmentada.....	40
2.12 Regressão Linear Response Plateau – LRP.....	42
<b>3 Considerações Finais</b> .....	46
<b>4. REFERÊNCIAS</b> .....	47
<b>CAPÍTULO I – APLICAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS PARA DETERMINAÇÃO DO NÍVEL ÓTIMO DE AMINOÁCIDOS SULFURADOS NO DESEMPENHO PRODUTIVO DE FRANGOS DE CORTE</b> .....	55
<b>RESUMO</b> .....	55
<b>ABSTRACT</b> .....	56
<b>1.INTRODUÇÃO</b> .....	57
<b>2.MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	59
2.1 Local, animais e alojamento.....	60
2.2 Delineamento e dietas experimentais.....	60
2.3 Desempenho zootécnico .....	63
2.4 Rendimento de Carcaça .....	63
2.5 Análise Estatística.....	64
<b>3.RESULTADOS</b> .....	66
3.1 Desempenho zootécnico .....	66

3.1.1 Período 21 a 35 dias de idade.....	67
3.1.2 Período 36 a 42 dias de idade.....	67
3.2 Rendimento de Carcaça.....	69
3.3 Determinação de nível ótimo para o máximo GP e CA.....	70
<b>4.DISSCUSSÃO.....</b>	<b>71</b>
4.1 Desempenho zootécnico e nível ótimo de Met+Cis digestível.....	71
4.1.1 Período de crescimento.....	71
4.1.2 Período final.....	73
4.2 Ingestão de metionina e eficiência de utilização.....	74
4.3 Rendimento de carcaças.....	75
<b>5.CONCLUSÃO.....</b>	<b>76</b>
<b>6.REFERÊNCIAS.....</b>	<b>76</b>
<b>CAPÍTULO II – DETERMINAÇÃO DO NÍVEL ÓTIMO DE ENERGIA METABOLIZÁVEL NO DESEMPENHO PRODUTIVO DE FRANGOS DE CORTE COM A UTILIZAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS.....</b>	<b>81</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>81</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>82</b>
<b>1.INTRODUÇÃO.....</b>	<b>83</b>
<b>2.MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>84</b>
2.1 Local, Animais e Alojamento.....	84
2.2 Delineamento e dietas experimentais.....	85
2.3 Desempenho zootécnico.....	88
2.4 Rendimento de Carcaça.....	88
2.4 Análise Estatística.....	89
<b>3.RESULTADOS.....</b>	<b>91</b>
3.1 Desempenho zootécnico.....	91
3.2 Rendimento de Carcaça.....	92
3.3 Determinação de nível ótimo para a CA.....	92
<b>4.DISSCUSSÃO.....</b>	<b>95</b>
4.1 Desempenho zootécnico e nível ótimo de energia metabolizável.....	95
4.2 Rendimento de carcaça.....	101
<b>5.CONCLUSÃO.....</b>	<b>102</b>
<b>6.REFERÊNCIAS.....</b>	<b>103</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>107</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>111</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A avicultura brasileira está entre as atividades agropecuárias de maior destaque no cenário mundial, resultado da constante busca do setor por avanços nas características genéticas das aves e pelo aprimoramento das técnicas de manejo sanitário, zootécnico e nutricional. Atualmente, as linhagens comerciais de frangos de corte são altamente exigentes quanto aos seus requerimentos nutricionais, sendo imprescindível o fornecimento de dietas que atendam com precisão todos os nutrientes e energia, a fim de garantir que as aves consigam expressar todo o seu potencial genético. A energia e os aminoácidos limitantes, em especial a metionina, estão entre os componentes da dieta que merecem destaque na nutrição avícola.

A metionina é um aminoácido essencial e o primeiro limitante na nutrição das aves (WEN et al, 2014), sendo indispensável em diversos processos metabólicos, tais como a síntese de proteínas, sistema imunológico e para o empenamento (CORZO et. al, 2006; JANKOWSKI et. al, 2014). A suplementação adequada da metionina proporciona resultados positivos para os parâmetros de desempenho produtivo e rendimento de carcaça (KAUOMAR et al., 2011), contudo, o excesso ou a deficiência deste nutriente pode incorrer no aumento ou na diminuição do consumo da ração, conseqüentemente diminuindo a formação de tecido magro, além de promover aumento na deposição de gordura abdominal (CAREW et al.,2003). Na alimentação das aves a metionina é fornecida principalmente na forma sintética, disponíveis comercialmente na forma DL-metionina e metionina hidróxi-análoga (MHA), ambas na forma líquida ou em pó (LEITE et al., 2009).

Embora não seja um nutriente, a energia é outro componente importante nas formulações de dietas para as aves (SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007), sendo

proveniente principalmente da oxidação dos carboidratos, proteínas e lipídeos (TEIXEIRA, 2017). O valor energético das dietas tem forte influência na ingestão dos alimentos, pois quando as aves são alimentadas com dietas com baixo valor energético espera-se o aumento no consumo da ração, contudo podendo apresentar baixo ganho de peso, enquanto que se forem alimentadas com dietas com alto teor calórico, acima do recomendado, espera-se redução no consumo da dieta (FAGUNDES, 2011), acarretando no armazenamento deste excesso na forma de gordura corporal (KESSLER et al., 2000).

Sabendo que a maturação do sistema gastrointestinal ocorre com o avanço da idade dos animais, e conseqüentemente o aumento na digestibilidade dos alimentos (MELLO et al., 2009) é de fundamental importância a elaboração de dietas que atendam adequadamente os níveis nutricionais para as diferentes fases de produção dos frangos de corte. Deste modo, para atender a demanda dos animais e as exigências de mercado, os pesquisadores e profissionais da área estão utilizando modelos matemáticos como ferramentas para auxiliá-los na determinação de níveis ótimos de diferentes nutrientes da dieta, sendo na avicultura os modelos matemáticos lineares os mais empregados para esta finalidade (POMPEU et al., 2013; NUNES et al., 2015), devido sua facilidade de utilização nos programas estatísticos e interpretação dos resultados (OVIEDO-RONDÓN et al., 2002; PACK et al., 2003). Este estudo teve como objetivo utilizar três modelos matemáticos (regressão polinomial quadrática, segmentada e *linear response plateau*) para determinação de nível ótimo de metionina + cistina digestível e energia metabolizável em diferentes fases de produção de frangos de corte.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Importância da proteína na nutrição de monogástricos

As proteínas são nutrientes nitrogenados presentes em todas as células do organismo animal, sendo essenciais para o crescimento, produção e reprodução das espécies. Exercem papel fundamental na formação e regeneração de tecidos, na regulação do metabolismo como componentes de hormônios e enzimas, no sistema imunológico, no controle e transporte de substâncias pelas membranas, nas contrações musculares e podem também ser utilizadas como fontes de energia.

A formulação de dietas para animais monogástricos durante alguns anos foi baseada no conceito de proteína bruta, resultando muitas vezes em dietas com excesso de aminoácidos, ocasionando aumento na excreção de nitrogênio (GOMIDE et al., 2007), porém, outro conceito que vem sendo empregado na elaboração das dietas, o da proteína ideal, que consiste em satisfazer a exigência de todos os aminoácidos da dieta, com o balanceamento exato dos aminoácidos para manutenção e máximo ganho da proteína corporal, reduzindo a excreção de nitrogênio e o uso dos aminoácidos como fonte de energia (OLIVEIRA NETO, 2013). A utilização do conceito de proteína ideal é possível devido a disponibilidade comercial dos aminoácidos utilizados na nutrição animal, em especial dos aminoácidos essenciais, que são aqueles que precisam ser fornecidos nas dietas, pois não são sintetizados ou são sintetizados em quantidades insuficientes pelo organismo dos animais, como exemplo a lisina, metionina, valina e triptofano (MARTINS & ASSUNÇÃO, 2018). Na nutrição das aves, em dietas formuladas com o conceito de proteína ideal a lisina foi estabelecida com o aminoácido referência para a exigência dos demais aminoácidos essenciais (PESSÔA et al., 2012).

## 2.2 A metionina na nutrição das aves

A metionina é um aminoácido sulfurado essencial e o primeiro limitante na nutrição avícola, sendo indispensável para a manutenção e crescimento das aves (OLIVEIRA NETO, 2013; WEN et al, 2014) (Figura 1).

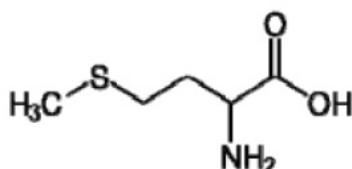


Figura 1. Fórmula estrutural da metionina

Fonte: Lehninger et al. (2002)

A metionina atua em diferentes processos do metabolismo das aves, como na síntese de proteínas, sistema imunológico, empenamento e no desempenho produtivo (CORZO et. al, 2006; JANKOWSKI et. al, 2014). Entre as funções da metionina está a doação do grupo metil terminal para a síntese da carnitina, poliaminas, epinefrina, colina, betaína e melatonina. Além de doar a molécula de enxofre para a formação da cisteína, sendo este um aminoácido sulfurado importante no desenvolvimento das aves, atuando principalmente na formação da pele e das penas (BUNCHASAK, 2009).

Na alimentação das aves a metionina é fornecida principalmente na sua forma sintética, sendo comercializada por meio de quatro fontes principais, sendo elas a DL-metionina em pó (DL-Met) ou na forma líquida como sal de sódio (DL-metionina-Na) e a metionina hidroxí-análoga (MHA), podendo ser encontrada em pó como sal de cálcio (MHA-Ca) ou na forma líquida como ácido livre (MHA-FA) (LEITE et al., 2009). A principal diferença na estrutura química entre a DL- metionina e a molécula análoga (MHA) está na hidroxila (OH) que ocupa o lugar do grupamento amino (NH<sub>3</sub><sup>+</sup>), localizado no carbono alfa da molécula, como pode ser observado na Figura 2.

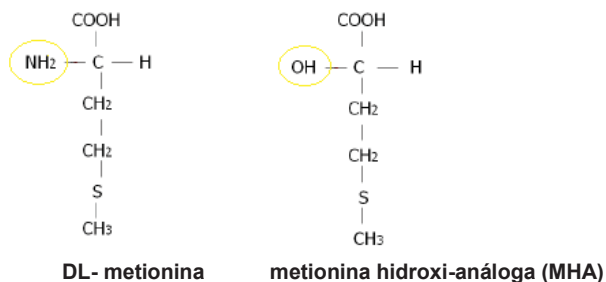


Figura 2. Estrutura química da DL-metionina e da metionina hidroxi-análogo (MHA)  
 Fonte: Adaptado de Oliveira Neto (2013)

Assim como os demais aminoácidos, a metionina possui configuração química estrógrira (D) e levógrira (L), sendo o isômero D biologicamente inativo e o isômero L a forma ativa que é utilizada pelo organismo das aves e encontrada nos tecidos (CARVALHO, 2017). Os isômeros L são absorvidos mais rapidamente por transporte ativo (dependentes de vitamina B6), enquanto os isômeros D são transportados passivamente por difusão simples (FRENHANI & BURINI, 1999).

A DL- metionina e a DL-metionina-Na são misturas racêmicas, ou seja, possuem quantidades iguais entre os isômeros D (50%) e isômeros L (50%), entretanto a DL-metionina apresenta concentração de 99% de atividade de metionina e apenas 1% de outros compostos, enquanto a DL-metionina-Na apresenta apenas 40% da atividade da metionina e 60% de uma mistura de água e outros compostos. As formas análogas apresentam concentração de metionina de 88% para MHA-FA e de 84% para MHA-Ca (MAROUFYAN et al., 2010; OLIVEIRA NETO, 2013).

### 2.3 Importância da metionina em níveis adequados na produção de frangos de corte

Na nutrição de frangos de corte a utilização da metionina em níveis adequados proporciona diversos benefícios para o desempenho produtivo e rendimento de carcaça (KAUOMAR et al., 2011). Quando as dietas fornecidas às aves apresentam

severo desbalanço dos aminoácidos essenciais, há a percepção pelo cérebro (córtex pré-periforme) da variação na concentração dos aminoácidos no plasma sanguíneo, o qual estimula a redução no consumo das dietas desbalanceadas a fim de evitar a diminuição na absorção e no aproveitamento dos demais aminoácidos da dieta, segundo o conceito da teoria aminostática (GLEAVES, 1989; CARVALHO et al., 2009; CASTILHA et al, 2014),

Porém, quando esta restrição não é severa as aves tendem a aumentar a ingestão dos alimentos para suprir suas necessidades aminoácidas, resultando em animais que, apesar do aumento no consumo de ração, não apresentam bons resultados para o ganho de peso, conseqüentemente diminuindo a formação de tecido magro, além de promover aumento na deposição de gordura corporal (CAREW et al.,2003; OLIVEIRA NETO, 2013). Mas o desbalanço aminoacídico também ocorre pelo excesso de aminoácidos na dieta, que influenciam diretamente na regulação do consumo da ração pelos frangos de corte (WHITAKER et al., 2002; CARVALHO, 2017). Deste modo, é de extrema relevância a elaboração de dietas com os níveis adequados da metionina para os frangos de corte, a fim de garantir resultados positivos para os parâmetros de desempenho zootécnico e para obtenção de carcaças com maiores rendimentos de peito e menores teores de gordura (RODRIGUEIRO et al., 2000; AMARANTE Jr et al., 2005; JANKOWSKI et. al, 2014).

Ao longo dos anos, devido ao aumento no potencial genético das aves, diversas pesquisas vêm sendo realizadas para avaliar o efeito da suplementação da metionina em dietas para frangos de corte nas diferentes fases de produção, como observado nos estudos realizados por Goulart et al. (2011) para o período de crescimento, no qual estimaram os níveis de Met+Cis digestível de 0,748% como os mais adequados para o máximo desempenho de frangos de corte. Tavernari et al. (2014) indicaram

que para o período de crescimento a exigência de Met+Cis digestível para o maior ganho de peso e melhor conversão alimentar em frangos de corte macho é de 0,790 e 0,751%, respectivamente. Assim como Rostagno et al. (2017) que recomendam, para machos de desempenho médio, para o máximo desempenho zootécnico a exigência de metionina + cistina digestível para o período de crescimento é de 0,832% e de para o período final de 0,750%. Quanto as variáveis do rendimento de carcaça, estudo realizados por Wen et al. (2014), os autores relataram melhora no rendimento de peito dos frangos quando alimentados com dietas suplementadas com metionina. Porém, na pesquisa realizada por Carvalho (2017) não foi observado efeitos significativos para rendimento de peito e de gordura abdominal, apenas observado influência positiva do nível de 0,761% de Met+Cis digestível para a variável de rendimento da carcaça.

Como pode ser observado nos estudos citados acima diversos são os níveis de metionina indicados como adequados para o máximo desempenho produtivo das aves, sendo justificado em virtude dos diferentes modelos matemáticos empregados para a predição dos níveis (LIMA, 2012), assim como as diferentes fases de produção que necessitam de requerimentos nutricionais distintos, bem como a linhagem e o sexo dos animais (KIDD, 2001; PINHEIRO et al., 2011).

#### 2.4 Metabolismo dos aminoácidos

Os aminoácidos livres resultantes da hidrólise das proteínas na luz intestinal, se não forem utilizados imediatamente para a síntese de novas proteínas corporais, são em sua grande maioria, transportados pela corrente sanguínea até o fígado onde são metabolizados. A degradação oxidativa dos aminoácidos segue um padrão, apesar

de ocorrer por rotas metabólicas distintas para cada um dos 20 aminoácidos. De forma geral, os aminoácidos são compostos por dois grupos:  $\alpha$ -amino +  $\alpha$ -cetoácido (esqueleto carbônico). No fígado a primeira etapa do metabolismo dos aminoácidos é a remoção do grupo  $\alpha$ -amino, ocorrendo pelos processos de transaminação e desaminação. Dos vinte aminoácidos existentes apenas doze tem seu grupamento  $\alpha$ -amino removido por transaminação, sendo alanina, arginina, asparagina, aspartato, cisteína, isoleucina, leucina, lisina, fenilalanina, triptofano, tirosina e valina, enquanto o grupo amino dos demais aminoácidos (glicina, glutamato, glutamina, histidina, metionina, prolina, serina e treonina) é removido por desaminação. No processo de transaminação o grupo  $\alpha$ -amino é removido e transferido para uma molécula de  $\alpha$ -cetoglutarato (um cetoácido) formando outro cetoácido e o aminoácido glutamato que é utilizado para a biossíntese de aminoácidos e nucleotídeos. No processo de desaminação há a retirada do grupamento  $\alpha$ -amino por enzimas aminoácidos-oxidases que convertem o grupamento  $\alpha$ -amino em amônia livre, liberando o grupo  $\alpha$ -cetoácido para o Ciclo de Krebs resultando na produção de produtos intermediários usados como precursores na biossíntese de aminoácidos e outras biomoléculas. O grupo  $\alpha$ -amino quando em excesso são encaminhadas para o ciclo da ureia para posterior excreção (VIEIRA, 2003).

## 2.5 Metabolismo da metionina

A metionina após absorvida pelo intestino delgado, seja na forma dos isômeros “L” ou D” provenientes da DL-metionina, bem como os análogos MHA, são transportados para o fígado. Os isômeros D-metionina e MHA por meio da ação da enzima D-aminoácido oxidase são convertidos em L-metionina (OLIVEIRA NETO, 2013), desta forma, estando disponível para ser utilizada pelo organismo das aves.

Ainda no fígado, o processo de metabolismo da metionina na sua forma ativa pode ser dividido em três etapas: metilação, remetilação e transulfuração (STIPANUK, 2004; BAKER, 2006; PILLAI et al, 2006) (Figura 3).

O processo de metilação é uma das etapas para a formação da cisteína, nesta etapa a enzima metionina adenosil-transferase (MAT) promove a transferência da molécula de adenosina para a metionina formando a molécula de S-adenosil metionina, que é metabolizada em S-adenosil-homocisteína, que por sua vez, é hidrolisada à homocisteína (BYDLOWSKI et al, 1998; JANKOWSKI et al, 2014).

O processo de remetilação atua regulando o nível de homocisteína no organismo dos animais, sendo o retorno da homocisteína novamente em metionina. A reação requer a atuação da vitamina B12 e ácido fólico juntamente com as enzimas metionina-sintase e da metilenotetrahidrofolatoredutase (MTHFR) ou via betaína na presença da enzima betaína homocisteína-metil-transferase - BHMT (GRIMBLE, 2006; WATERLAND, 2006).

A transulfuração é o processo pelo qual a homocisteína é transformada em cisteína. Através de uma reação irreversível entre homocisteína e L-serina, catalisada pela enzima cistationa  $\beta$ -sintase, é formada a molécula da cistationa, e com o auxílio da enzima cistationa  $\beta$ -sintetase é convertida em cisteína (SHOVELLER, 2005).

A cisteína é oxidada dando origem a um aminoácido dimérico chamado cistina, onde duas moléculas de cisteína se ligam por uma ligação dissulfeto, sendo fortemente apolares, atuando na estabilização das proteínas (LEHNINGER, 2011). Por ser resultante de um processo de oxidação a cistina não entra no grupo dos 20 aminoácidos conhecidos, mas é muito encontrada em diversas proteínas (CHAMPE et al., 2006), o que justifica o fato das recomendações nutricionais serem expressas em metionina+cistina (CARVALHO, 2017).

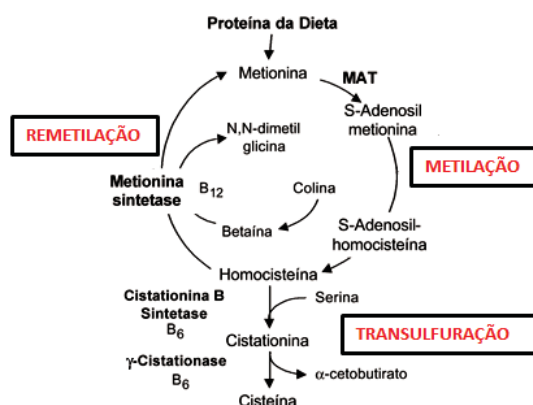


Figura 3. Metabolismo da Metionina.  
Fonte: Adaptado de Vannucchi e Melo (2009).

## 2.6 A energia metabolizável na nutrição das aves

Na formulação das dietas para frangos de corte a energia, embora não seja um nutriente, é um dos componentes fundamentais das rações (SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007), sendo liberada a partir da oxidação dos carboidratos, lipídeos e das proteínas (TEIXEIRA, 2017).

O desdobramento energético dos alimentos para as aves é descrito como energia bruta (EB), energia digestível (ED), energia metabolizável (EM) e energia líquida (EL). A ED é obtida principalmente por meio da determinação da digestibilidade ileal, quando o conteúdo presente no íleo é retirado e encaminhado para análises laboratoriais para obtenção de quanto os nutrientes da dieta foram absorvidos pelo organismo do animal. A EM estima o quanto da energia da dieta é potencialmente utilizada pelas aves, porém não considera o gasto dessa energia na produção de calor durante o processo da digestão, absorção e metabolismo dos nutrientes, sendo o calor gerado nestes processos denominado como o incremento calórico (IC) (NOBLET et al., 2010; TEIXEIRA, 2017). Portanto, a energia que sobra após estes processos é a

EL, que é definida como a EM menos o IC, sendo está a energia efetivamente utilizada pelos animais, podendo ser fracionada em EL para manutenção e EL para produção. Porém, o alto custo dos equipamentos e as dificuldades de medi-la são as principais limitações para a utilização da EL para frangos de corte, deste modo, sendo o conteúdo energético dos alimentos para as aves avaliados basicamente na forma de EM (SCOTTÁ et al., 2012).

A ingestão dos alimentos pode ser regulada pelo conteúdo energético da dieta, influenciando diretamente no consumo e no desempenho das aves, as quais utilizam primeiramente a energia da dieta para atender as suas exigências de manutenção, e só após é utilizada para crescimento e produção (SAKOMURA, 2004). Quando as aves são alimentadas com dietas com baixos níveis energéticos há o aumento no consumo da ração, visto que a ingestão do alimento pelas aves é realizada até atender suas exigências energéticas (FAGUNDES, 2011), assim como em dietas com níveis de energia acima do recomendado haverá redução no consumo, que ultrapassando as exigências das aves para manutenção e para deposição de tecido muscular, será armazenada na forma de gordura corporal (KESSLER et al., 2000). Desta forma, a formulação de dietas com o nível energético adequado para suprir as exigências das aves nas diferentes fases de produção é de extrema relevância para o setor avícola, sendo abordado em diversas pesquisas científicas, como observado nos estudos de Ferreira et al. (2015) que avaliando níveis crescentes de energia (2800, 2900, 3000, 3100, 3200, 3300 kcal/kg) em dietas para frangos de corte machos e fêmeas, relataram que em ambos os sexos o aumento nos níveis de energia resultou em aves com maior ganho de peso, redução no consumo da ração e proporcionou os melhores resultados para a conversão alimentar. Meza et al. (2015) avaliando níveis crescentes de lisina (0.800, 0.900, 1.000 e 1.100%) e de energia metabolizável (3000, 3120, 3240

e 3360 kcal/kg) no rendimento de carcaça de frangos de corte no período de 35 a 49 dias de idade, não observaram efeito significativo para níveis de energia no rendimento da carcaça, dos corte e na porcentagem de gordura abdominal, mas avaliando a composição química das carcaças observaram aumento linear na taxa de deposição de gordura com o aumento dos níveis energéticos, apresentando carcaças com maiores teores de gordura com os níveis mais altos de energia.

## 2.7 Determinação de exigências nutricionais

Para formular dietas que proporcionem bons resultados produtivos e econômicos é importante conhecer com detalhes as necessidades nutricionais das aves, devendo-se considerar que a determinação das exigências é influenciada por diversos fatores, como a genética, idade, sexo e manejo. As exigências nutricionais dos frangos de corte são comumente estimadas por meio de experimentos de desempenho, também conhecidos como experimentos de dose-resposta, que consiste no fornecimento aos animais de doses ou níveis crescentes de um determinado nutriente na dieta, estimando-se sua exigência por meio de avaliação da resposta de um parâmetro pré-definido, o ganho de peso, por exemplo (ROSTAGNO et al., 2007).

No método de dose-resposta, a resposta do animal a adição de diferentes níveis de um nutriente limitante, mantendo os níveis adequados dos demais nutrientes na dieta, irá modelar uma curva no gráfico resposta, sendo está dividida em quatro fases. Na fase inicial, a adição do nutriente garante apenas a sobrevivência do animal, sendo a quantidade ingerida insuficiente para estimular seu crescimento. Na fase resposta, inicia-se o crescimento dos animais e resultados positivos ao processo produtivo, apresentando uma melhora na eficiência alimentar. Já na fase estável, o

nível de ingestão do nutriente já não proporciona resposta ao crescimento ou na produção. Enquanto na fase tóxica, a adição do nutriente é considerada muito elevada, causando toxicidade ao animal, e em alguns casos ocorrendo até mesmo a perda de peso (EUCLYDES & ROSTAGNO, 2001). Alguns autores sugerem que os níveis testados devem estar distribuídos entre as fases de resposta e estabilização (MORRIS, 1999; LAMBERSON & FIRMAN, 2002). Neste método a exigência recomendável do nutriente é determinada através do nível que apresentou a máxima resposta ao parâmetro avaliado (ROSTAGNO et al., 2007).

Para a indicação do nível ótimo diversos modelos matemáticos que utilizam de análises de regressão podem ser utilizados, porém, é importante salientar que existem peculiaridades para cada um dos modelos matemáticos, sendo importante o conhecimento prévio antes iniciar a utilização dos mesmos. Neste estudo serão abordados os principais modelos utilizados na nutrição avícola.

## 2.8 Modelos matemáticos

Os modelos matemáticos utilizados para determinação de níveis ótimos de nutrientes limitantes na nutrição animal são separados em modelos lineares e não lineares. Na avicultura, é observado que modelos lineares são frequentemente utilizados para esta finalidade (POMPEU et al., 2013; NUNES et al., 2015; CASTRO et al., 2016), por serem considerados modelos de fácil utilização nos programas estatísticos e interpretação dos resultados (OVIEDO-RONDÓN et al., 2002; PACK et al.; 2003).

Devido à diversidade de modelos matemáticos que são passíveis de utilização na nutrição avícola é importante observar que a indicação do nível ótimo para um

determinado nutriente, frente a um mesmo banco de dados, será diferente entre os modelos, em virtude dos diferentes parâmetros utilizados em suas equações. Tal fato foi observado por Pesti et al. (2009), que utilizando o mesmo conjunto de dados em diferentes modelos matemáticos, reportaram grande variação na determinação da exigência de lisina em frangos de corte. Desta forma, é possível afirmar que a exigência do animal pelo nutriente estimado será influenciada pelos modelos matemáticos escolhidos (LIMA, 2012), sendo imprescindível o conhecimento das características de cada modelo, para posterior escolha daquele que apresente os melhores resultados biológicos e estatísticos. Outro fator que influencia na determinação dos níveis ótimos é a quantidade de níveis utilizados, pois quanto maior a quantidade de níveis estudados melhor será a representação da variável avaliada (DRAPER & SMITH, 1966), porém em estudo realizado por Souza et al. (2014) os autores mencionam que além do número a posição dos níveis nutricionais nos ensaios de dose-resposta influenciam diretamente na predição dos níveis ótimos. Os autores observaram que na regressão polinomial quadrática os níveis ótimos foram superestimados quando utilizados apenas 3 níveis nutricionais de lisina em comparação aos níveis ótimos indicados com a utilização de 4 e 5 níveis, enquanto que na regressão *linear response plateau* o número de níveis apresentou menor impacto na indicação dos níveis ótimos, porém observou-se maior influência da posição (fase de resposta e estabilização) dos níveis nos ensaios de dose resposta.

A escolha do modelo matemático é feita com bases nas informações dos parâmetros de avaliação, que são utilizados com a finalidade de avaliar a qualidade de ajuste dos dados, desta forma, antes de apresentar os modelos matemáticos que serão empregados neste estudo se faz necessário primeiramente uma abordagem dos parâmetros de avaliação de modelos.

## 2.9 Parâmetros de avaliação de modelos

Do ponto de vista estatístico, a seleção do modelo mais adequado a ser utilizado é aquele que apresente o melhor ajuste dos dados, mas que também descreva biologicamente o comportamento da variável resposta é uma importante etapa em estudos científicos. Ao escolher o melhor modelo é prudente seguir o princípio fundamental da parcimônia, indicando que dentre os modelos que expliquem os dados, deve-se optar pelo mais simples e que explique bem os fenômenos em estudo (MAZEROLLE, 2004; EMILIANO, 2009), considerando que os modelos não indicarão valores exatos, porém aproximados da realidade, já que em todo modelo estatístico há perdas de informações (EMILIANO, 2009).

Nas pesquisas realizadas no âmbito da produção animal é possível observar que mais de um parâmetro de avaliação é utilizado para escolha do modelo que melhor realiza os ajustes dos dados estudados, sendo os parâmetros mais utilizados na nutrição animal o critério de informação de Akaike (AIC), coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e soma dos quadrados dos resíduos (SQR), os quais serão descritos na sequência.

### 2.9.1 Critério de Informação de Akaike

O critério de informação de Akaike (AIC) desenvolvido pelo estatístico Hirotugu Akaike é uma medida relativa da qualidade dos ajustes de um modelo estatístico, oferecendo uma medida numérica das informações perdidas quando um modelo é utilizado para escrever a realidade de um fenômeno (EMILIANO et al., 2009). O AIC utiliza para descrever o ajuste dos modelos o método da verossimilhança, em que o

número de parâmetros a serem estimados no modelo é considerado um viés estatístico, penalizando os modelos com muitas variáveis.

A medida de AIC é obtida por (ALVARENGA, 2015):

$$AIC = -2 [ \text{Log} (L) - k ]$$

Sendo,  $L$  o valor da verossimilhança para o modelo e  $k$  o número de parâmetros do modelo.

O valor de AIC para um conjunto de dados quando apresentando de forma isolada não apresenta qualquer significado, pois não possui significância (p-valor), tornando-se útil somente quando utilizado para comparação de diversos modelos (EMILIANO et al., 2009), sendo que quanto menor for o valor, menor será a informação perdida e portanto, melhor será o ajustamento dos modelos (LIMA, 2012; ALVARENGA, 2015).

No estudo realizado por Oliveira et al. (2018) foram avaliados dois modelos matemáticos (Gompertz e Logistic) para descrever a curva de crescimento de poedeiras leves na fase de recria, e utilizando para avaliar a qualidade do ajuste dos dados os parâmetros  $R^2$ , quadrático médio do resíduo e o AIC, observou-se que os resultados dos parâmetros de avaliação que apresentaram alta expressividade, sendo decisivos na escolha do modelo Gompertz, que apresentou o melhor ajuste, foram o AIC e o quadrático médio do resíduo, pois os resultados do  $R^2$  foram semelhantes entre os modelos. De modo semelhante, Mota et al. (2015) com o objetivo de determinar o padrão de crescimento de codornas de corte e de postura no período de 1 a 35 dias de idade, utilizaram como critério para avaliação de cinco modelos matemáticos o coeficiente de determinação ajustado, o desvio padrão assintótico, o

desvio médio absoluto dos resíduos, o índice assintótico, o critério de informação bayesiano (BIC), o AIC e o quadrado médio do resíduo, sendo notado resultados expressivos e determinantes do AIC para indicação dos melhores modelos.

### 2.9.2 Coeficiente de determinação

O coeficiente de determinação ou r-quadrado ( $R^2$ ) é a medida de ajustamento de modelos estatísticos mais utilizados na literatura científica, em virtude do seu resultado ser facilmente interpretado.

O  $R^2$  é uma medida usada para quantificar a capacidade explicativa do modelo, indicando a proporção da variação da variável dependente que é explicada pela equação da regressão em virtude de uma ou mais variáveis independentes. O valor do coeficiente pertence ao intervalo entre 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1 melhor é o ajuste dos dados ao modelo (CHARNET et al., 1999; RODRIGUES, 2012). O valor do  $R^2$  em regressões lineares é obtido por meio da seguinte fórmula:

$$R^2 = \frac{[\sum (x_i - x_{med})(y_i - y_{med})]^2}{\sum (x_i - x_{med})^2 \sum (y_i - y_{med})^2} = \frac{SQ_{regressão}}{SR_{total}}$$

Sendo:

$x_i$  e  $y_i$  os valores das variáveis X e Y,  $x_{med}$  e  $y_{med}$  as médias das amostras.

O coeficiente de determinação pode ser superestimado quando são adicionadas variáveis ao modelo que apresentem pouco poder explicativo sobre a variável resposta (TABACHNICK & FIDELL, 2007; SANTO & DANIEL, 2018) podendo levar a interpretações errôneas do resultado. A fim de evitar o problema da superestimação, é recomendável a utilização do coeficiente de determinação

ajustado, o qual penaliza o modelo quando novas variáveis pouco explicativas são adicionadas ao modelo, sendo definido pela equação abaixo (RODRIGUES, 2012).

$$R^2_A = 1 - \left( \frac{n-1}{n} - \frac{p+1}{n} \right) (1 - R^2)$$

Sendo,  $R^2_A$  o coeficiente de determinação ajustado,  $n$  o tamanho da amostra e  $p$  o número de variáveis preditoras.

Quando se deseja verificar a qualidade do ajuste dos dados em modelos não-lineares, o  $R^2$  não é considerado o melhor parâmetro, pois é comum neste tipo de regressão obter resultados muito altos, podendo haver muita discrepância entre os valores observados e preditos (REGAZZI & SILVA, 2010). Neste sentido, não se deve usar isoladamente os valores de  $R^2$ , fazendo-se necessário a utilização em conjunto de outros critérios para tornar a avaliação dos modelos mais adequada (SILVA et al., 2007).

### 2.9.3 Soma dos quadrados dos resíduos

A soma dos quadrados dos resíduos (SQR), soma dos quadrados dos desvios ou soma dos quadrados dos erros é uma medida que corresponde à variação da variável resposta que não é explicada pelo modelo. Quando utilizado para verificar o ajuste dados estatísticos com os modelos testados, considera-se o menor SQR (SILVA et al., 2007; SIQUEIRA, 2009).

Sendo estimada através da fórmula:

$$SQR = SQT - SQ_{\text{trat.}}$$

Sendo, SQT a soma dos quadrados totais e  $SQ_{\text{trat}}$  a soma dos quadrados dos tratamentos (modelos).

Entre as vantagens da utilização da SQR como um parâmetro de seleção de modelos está a simplicidade para a obtenção dos seus valores e a facilidade de sua interpretação, como observado nos estudo de Lucena et al. (2017) que com o objetivo de determinar o modelo matemático que proporciona o melhor ajuste dos dados em modelos de regressão lineares, não lineares e sigmoidal para as variáveis de peso e altura de frangos de corte em diferentes períodos de produção, selecionaram o modelo matemático com base nos resultados dos parâmetros de avaliação  $R^2$ , o AIC e a SQR. Em seu estudo os autores observaram que o  $R^2$  apresentaram pouca variação entre os modelos, sendo os resultados mais significativos para indicação do melhor modelo foram com os resultados dos parâmetros da SQR e AIC.

### *2.10 Regressão Polinomial Quadrática*

Entre os modelos de regressões mais utilizados nas pesquisas do setor agropecuário, a regressão polinomial quadrática (PQ) é amplamente utilizada devido a facilidade na realização dos cálculos, na explicação e interpretação dos fenômenos biológicos (NUNES et al., 2004).

O modelo PQ se caracteriza por uma parábola, que pode ser de ordem crescente ou decrescente, no gráfico da variável resposta em função da variável independente, indicando um ponto de máximo ou de mínima.

O modelo de regressão PQ é descrita por meio da equação abaixo, conforme Rezende et al. (2007):

$$y = \beta_0 + \beta_1X + \beta_2X^2, \text{ sendo } (c \neq 0)$$

Em que:

Y = variável dependente ou resposta;  $\beta_0$  = constante da regressão ou intercepto (intersecção com o eixo y),  $\beta_1$  = coeficiente angular,  $\beta_2$  = coeficiente angular da regressão polinomial quadrática e x = variável independente.

Pelo modelo PQ o nível ótimo de um determinado nutriente na dieta dos animais é indicado no ponto de máxima, estimando-se por meio da primeira derivada da equação da regressão, como pode ser observado na fórmula abaixo (REZENDE et al., 2007; SIQUEIRA et al., 2009):

$$X_0 = -\beta_1 / (2 \times \beta_2)$$

Sendo que:

$X_0$  é a dose ótima do nutriente limitante para a máxima resposta da variável dependente.

Segundo alguns pesquisadores (EUCLYDES & ROSTAGNO, 2002; LAMBERSON & FIRMAN, 2002; ROSTAGNO et al., 2007; SOUZA et al., 2014) na regressão PQ os níveis ótimos podem ser sub ou superestimados, em virtude de algumas situações. A superestimação dos níveis tende a acontecer pelo fato do modelo assumir a simetria bilateral da resposta com a adição de um nutriente limitante, indicando que a queda na resposta de produção ocorre na mesma intensidade que no acréscimo, além de o modelo ser muito sensível à variação dos níveis avaliados, tendendo a estimar os valores ótimos no intervalo entre os níveis. Outro ponto considerado deve-se ao fato de o modelo PQ descrever que a redução no desempenho ocorre imediatamente após o nível ótimo, porém, na prática esta situação somente ocorre quando são fornecidas concentrações muito elevadas de um

nutriente, as quais são capazes de levar à toxicidade do animal (SIQUEIRA et al., 2009), desconsiderando que a ingestão de níveis acima do nível ótimo pode ser fornecido sem causar prejuízos a saúde dos animais. Deste modo, alguns pesquisadores a fim de evitar possíveis problemas de superestimação dos níveis ótimos indicam o uso de 90 a 95% do nível recomendável do nutriente limitante na dieta das aves (LAMBERSON & FIRMAN, 2002; ROSTAGNO et al., 2007).

Outro importante detalhe na regressão PQ é que o nível ótimo está diretamente relacionado com a curvatura da parábola, sendo esta influenciada pela localização dos níveis nas diferentes fases de resposta do animal ao consumo do nutriente e pela quantidade de níveis testados, que quanto mais restritos irão indicar níveis ótimos menores quando comparado com faixas menos restritas (EUCLYDES & ROSTAGNO, 2002; SOUZA et al., 2014). Deste modo, o nível ótimo do nutriente limitante pode ser subestimado ou superestimado conforme a localização do nível nas diferentes fases da resposta do animal (SOUZA et al, 2014).

Na literatura é possível encontrar pesquisas que avaliam modelos matemáticos para determinação de nível ótimo de nutrientes na nutrição animal, como observado nos estudos de Rezende et al. (2007) que utilizando os modelos estatísticos PQ, Exponencial 1 com platô e Exponencial 2 com platô para determinação do nível adequado de zinco em dietas para frangos de corte, e utilizando como parâmetro de avaliação dos modelos o  $R^2$  observaram bons ajustes dos dados entre os modelos, apesar do modelo PQ ter tendido a superestimação da exigência ótima do zinco. E de forma semelhante, Acácio (2018) utilizando os modelos estatísticos de regressão PQ, *broken-line* e *broken-line* com quadrática para determinar o consumo ideal de triptofano para frangos de corte no período de 1 a 42 dias de idade, e utilizando o parâmetro BIC para seleção do modelo, indicou que o modelo PQ realizou o melhor

ajuste dos dados de ganho de peso e conversão alimentar que os demais modelos avaliados.

Ainda é possível observar na literatura outros estudos utilizando da regressão PQ para estimação de níveis ótimos, como observado no estudo de Rosa et al. (2014), que por meio da regressão PQ, estimaram o nível ótimo de lisina digestível no valor de 0,910% para frangos de corte do tipo caipira no período de 28 a 56 dias de idade por proporcionar bons resultados de desempenho e rendimento de carcaça. Avaliando diferentes níveis de triptofano digestível para frangos de corte nos períodos pré-inicial e inicial, Borges et al. (2016), indicam por meio da PQ os níveis de 0,209 e 0,187%, respectivamente.

### 2.11 Regressão Segmentada

O modelo segmentado é utilizado em diferentes áreas do conhecimento, tais como: genética, medicina, nutrição e nas diferentes engenharias. Na nutrição animal a regressão segmentada é comumente utilizada para determinação dos níveis nutricionais.

Na literatura o modelo pode ser encontrado com diferentes nomenclaturas, tais como: *breakpoint*, *piecewise*, modelo *broken-line*, *change point* e modelo de duas fases. O modelo se caracteriza por uma mudança estrutural na resposta da variável dependente em relação a variável independente. Inicialmente, o modelo consiste em duas partes: o gráfico inicia-se com uma resposta linear, que pode ser crescente ou decrescente, seguida por outra linha horizontal ao eixo das abcissas, na qual a intersecção determina o ponto de quebra, podendo ser denominado também de ponto de troca, ponto de inclinação da reta, ponto de mudança ou *breakpoint*. Após a mudança na estrutura da resposta, há formação de um novo segmento que pode ser

uma nova reta, uma curva ou um platô (PORTZ et al., 2000; MANGUEIRA, 2019). O modelo geral da regressão segmentada é definido como (ROBINS, 1986; PORTZ et al., 2000 - Adaptado):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 * X * (X \leq V) + (\beta_1 * V + \beta_2 * (X - V)) * (X > V),$$

Sendo,

$\beta_0$  o intercepto,  $\beta_1$  é a inclinação da reta antes do ponto de quebra,  $\beta_2$  é a inclinação da reta após o ponto de quebra. Os termos  $(X \leq V)$  e  $(X > V)$  são expressões booleanas, de forma que:  $(X > V) = 1$  somente se X, a concentração do nutriente na dieta, for maior que V, concentração do nutriente no ponto de quebra da função.  $(X > V) = 0$  se X menor que V. Da mesma forma,  $(X \leq V) = 1$  somente se X menor ou igual a V e  $(X \leq V) = 0$  se X maior que V.

O ajuste do modelo é realizado pelo método dos mínimos quadrados, que consiste em determinar o melhor ajuste dos dados a partir da minimização dos erros. São realizadas tentativas de várias regressões usando diferentes pontos de mudança de inclinação da reta, obtendo a soma de quadrado dos desvios de cada regressão. Aquela que apresentar o menor erro na soma dos quadrados médio apresentará o melhor *breakpoint*, desta forma, indicando o nível ideal de um determinado nutriente da dieta (proteína, aminoácidos essenciais, vitaminas e minerais) necessário para o máximo desempenho do animal (PORTZ et al., 2000).

Siqueira et al. (2009) avaliando diferentes modelos matemáticos (segmentado, PQ, *linear response platô* e exponencial) para determinação de nível ótimo de lisina em frangos de corte no período de 1 a 28 dias de idade, e utilizando o parâmetro de seleção de modelos  $R^2$ , observou que para a variável ganho de peso os modelos apresentaram excelentes ajustes dos dados ( $R^2 = 1,000, 0,994, 0,997$  e  $0,993$ ,

respectivamente), mas os autores indicam, do ponto de vista estatístico, que o modelo segmentado apresentou o melhor ajuste dos dados quando comparado aos demais modelos testados.

Avaliando diferentes níveis de triptofano na dieta de poedeiras comerciais, Deponti et al. (2007) observaram que para as variáveis de produção e massa de ovo, os modelos exponenciais e segmentado apresentaram os melhores ajustes dos dados, ambos com  $R^2 = 0,99$ , enquanto o modelo PQ apresentou o pior ajuste com  $R^2 = 0,73$ . Os autores reportam que o modelo PQ apresentou a maior exigência de triptofano, seguido do exponencial, enquanto o modelo segmentado indicou a menor exigência, sendo 188,5, 162,3 e 160,5 (mg/ave/dia) respectivamente.

Ao avaliar os modelos matemáticos para predição das exigências nutricionais de colina para frangos de corte no período de 1 a 21 dias de idade, Lima (2012) indica que entre os modelos *brokenline*, *brokenline* com quadrática, cinética de saturação, logístico e monomolecular, os modelos *brokenline* e *brokenline* com quadrática, indicaram as menores exigências de colina em mg/g de ganho de peso, além de apresentarem bons ajuste dos dados pelos critérios de seleção de modelos AIC e  $R^2$ .

## 2.12 Regressão Linear Response Plateau – LRP

Outro modelo amplamente utilizado para determinação de requerimentos nutricionais é o *linear response plateau* (LRP), que combina respostas lineares com pontos de platô. O modelo é composto por duas fases de desenvolvimento, iniciando com uma reta linear, que pode ser ascendente ou descendente, sendo interceptada por uma reta paralela ao eixo das abscissas. O ponto onde ocorre a intersecção das retas é denominado o ponto de platô, como pode ser observado na figura 4.

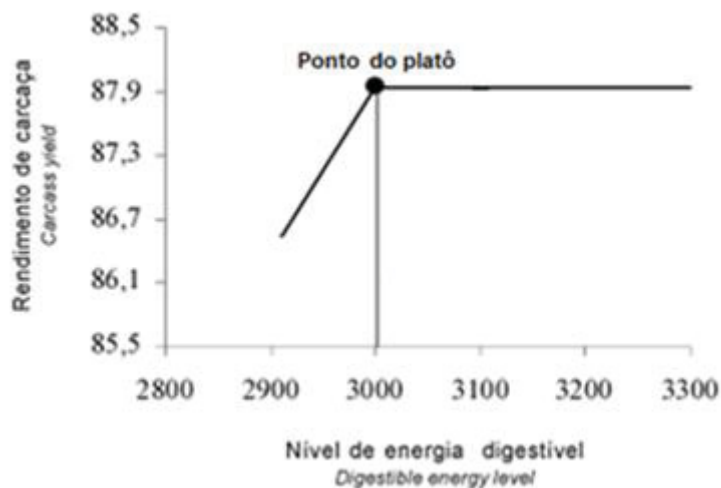


Figura 4. Ponto de platô no gráfico de rendimento de carcaça x Níveis de energia  
Fonte: Adaptada de Cotan et al. (2006)

O modelo LRP é descrito a partir da equação (SILVA et al, 2007- adaptado):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot (X - V), \text{ se } (X \leq V),$$

Em que,  $\beta_0$  é intercepto da resposta máxima,  $\beta_1$  é a inclinação da reta antes do ponto de quebra e  $(X \leq V)$  é uma expressão booleana, de forma que:  $(X \leq V) = 1$  somente se X, a concentração do nutriente na dieta, for menor ou igual a V, concentração do nutriente no ponto de quebra da função.  $(X \leq V) = 0$  se X maior que V.

Os critérios utilizados para o ajuste do modelo aos dados são realizados por meio da inclinação da reta, que pode ser determinada a partir de dois ou mais pontos, pelo platô, que é representado pela média aritmética dos pontos que o compõem, e, semelhante a regressão segmentada, a LRP permite a comparação de diferentes combinações de retas e platô, possibilitando escolher aquela que melhor tenha ajustados os dados, por meio da menor soma dos quadrados dos desvios (COELHO et al., 1987, SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007). No modelo LRP há o ajuste das respostas dos animais, atingindo o platô quando o indivíduo que apresentar a maior

exigência parar de responder ao aumento dos níveis avaliados. No ponto do platô será determinado o nível ótimo do nutriente na dieta, que pode ou não ser um dos níveis avaliados no estudo, como também indicará a resposta máxima da variável dependente avaliada (REZENDE et al., 2007; SIQUEIRA, 2009).

Uma característica entre as regressões segmentada e a LRP é o fato de ambas serem modelos descontínuos, ou seja, de possuírem após o ponto de quebra a formação de um novo segmento, podendo ser na regressão segmentada uma nova reta, uma parábola ou um platô (PORTZ et al., 2000), enquanto na regressão LRP há especificamente a formação de um platô (SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007).

As principais vantagens da utilização do modelo LRP para a determinação de níveis ótimos estão na simplicidade de utilização em programas estatísticos, pela facilidade de interpretação dos seus resultados, assim como o adequado ajustamento dos dados ao modelo (PACK, 1996; OVIEDO-RONDÓN et al., 2002; PACK et al., 2003; SOUZA, et al., 2014). O modelo considera que a resposta do animal frente à adição de doses crescentes de nutrientes limitantes à dieta aumenta até atingir o ponto de platô, que a partir do qual a resposta dos animais ao incremento dos níveis é constante (SOUZA, 2010).

A indicação do nível ótimo apresenta influência direta com a inclinação da reta que é definida pelo coeficiente linear. Observou-se em estudos realizados por Souza et al. (2014) que quando o valor do coeficiente linear é muito alto o nível ótimo do nutriente tende a ser superestimado. Os autores mencionam que o modelo LRP apresentou a menor variação na estimação do nível ótimo e nos ajustes dos dados, em comparação aos demais modelos (PQ, PQ com platô e exponencial) avaliados.

Porém, assim como em outros modelos matemáticos o LRP é também criticado por alguns pesquisadores, que sugerem que esta interrupção abrupta da curva pelo

platô pode levar a interpretações equivocadas sobre o nível ótimo dos nutrientes, tendendo a subestimá-los. A crítica deve-se também ao fato do modelo ignorar a lei dos retornos decrescente, ou seja, não considerar que o desempenho do animal melhora de forma não-linear a um aumento na suplementação de um nutriente limitante (FERNANDES, 2009), ocorrendo redução na taxa de ganho quando há aumento na ingestão do nutriente próximo ao ponto de máximo ganho (PARKS, 1982). Segundo Gahl et al. (1994) sugerem que a resposta ao aumento da ingestão dos nutrientes limitantes seria decrescente próximo a resposta máxima, não sendo constante a partir do platô como é sugerido pelo LRP.

O modelo é frequentemente utilizado para indicação de nível ótimo na nutrição animal, como pode ser observado nos estudos realizados por Oliveira et al. (2016) que avaliando o nível adequado de lisina digestível em dietas para frangos de corte do tipo caipira, utilizando os modelos de regressão LRP, PQ e linear simples e como critério de avaliação utilizaram o  $R^2$ , observaram que para a fase final a melhor dose de lisina digestível para conversão alimentar foi de 8,51g de lisina/kg de ração indicado pelo modelo LRP.

Assim como Pinheiro et al. (2011) que avaliando o nível ótimo de cloreto sódio na nutrição de aves machos e fêmeas da linhagem Colonial criadas em semi-confinamento, utilizando das regressões LRP, PQ e linear simples, reportaram que na fase inicial, em ambos os sexos, os modelos LRP e PQ apresentaram o melhor ajuste dos dados, com base nos resultados do  $R^2$  que indica o quanto da variável dependente é explicado pelo modelo de regressão, para a variável de GP, enquanto que no período de crescimento em fêmeas o modelo LRP apresentou o melhor ajuste dos dados e para machos os modelos PQ e LRP apresentaram os melhores ajustes.

### 3 Considerações Finais

A metionina é um aminoácido essencial e limitante na nutrição de frangos de corte, sendo indispensável nos processos metabólicos de manutenção e crescimento das aves, sendo sua suplementação realizada principalmente na forma de aminoácidos sintéticos. A energia, embora não seja um nutriente da dieta, é outro importante componente das rações avícolas, sendo oriunda principalmente da oxidação dos lipídeos, carboidratos e proteínas. Atender com precisão as exigências nutricionais dos animais é um dos principais desafios dos nutricionistas, pois o fornecimento de dietas com excesso ou deficiência de algum nutriente comprometerá diretamente o desempenho produtivo dos animais. Devido a tal fato, muitos são as pesquisas realizadas para determinação de níveis ótimos de metionina e de energia na dieta dos frangos de corte, sendo empregados diferentes modelos matemáticos, podendo citar os modelos de regressões polinomial quadrático, *linear response plateau* e segmentada como os mais utilizados na nutrição animal. Para definir os modelos matemáticos que realizaram os melhores ajustes dos dados são comumente utilizados o coeficiente de determinação, soma dos quadrados dos resíduos e critérios e informação de Akaike. Desta forma, antes de optar pela escolha de um modelo é imprescindível o conhecimento prévio do mesmo, pois fatores como número de níveis e a posição dos níveis na curva resposta do animal influenciará na indicação dos níveis ótimos, podendo sub ou superestimá-los.

#### 4. REFERÊNCIAS

- Acácio, R. M. Exigência e eficiência de utilização do triptofano para frangos de corte. Dissertação. **Universidade Estadual de São Paulo**. 2018
- Alvarenga, A. M. T. Modelos lineares generalizados: aplicação a dados de acidentes rodoviários. Dissertação. Mestrado em Gestão da Informação. p.105. Faculdade de Ciências. **Universidade de Lisboa**. 2015
- Amarante Júnior, V. S.; Costa, F. G. P.; Barros, L. R.; Nascimento, G.A.J.; Brandão, P. A.; Silva, J.H.V.; Pereira, W. E.; Nunes, R. V.; Costa, J. S. Níveis de Metionina + Cistina para Frangos de Corte nos Períodos de 22 a 42 e de 43 a 49 Dias de Idade. **R. Bras. Zootec.**, v.34, n.4, p.1195-1201, 2005
- Baker DH. Comparative species utilization and toxicity of sulfur amino acids. **The J. Nutr.**;136(6):1670S-1675S.2006
- Borges, B.S.; Nunes, R. C; Stringhini, J. H.; Mascarenhas, A.G.; Mello, H. H. C.; Martins, J. M. S.; Noletto, R. A.; Oliveira, M.D. Níveis de triptofano digestível para frangos de corte machos nas dietas pré-inicial e inicial. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 37, n. 4, suplemento 1, p. 2529-2538, 2016
- Bunchasak, C. Role of dietary methionine in poultry production. **Japan Poultry Science**, v. 46, p.169-179, 2009.
- Bydlowski, S. P.; Magnanelli, A. C.; Chamone, D. A. F. Hiper Homocisteinemia e Doenças Vaso-Oclusivas. **Arq Bras Cardiol**. volume 71, (nº 1), 1998
- Carew, L. B.; McMurtry, J. P.; Alster, F. A. Effects of methionine deficiencies on plasma levels of thyroid hormones, insulin-like growth factors -I and -II, liver and bodyweights, and feed intake in growing chickens. **Poultry Science**, v.82, p.1932-1938, 2003.
- Carvalho, D.C.O.; Albino, L.F.T.; Vargas Junior, J.G.; Toledo, R.S.; Oliveira, J. E.; Souza, R. M. Coeficiente de digestibilidade verdadeira dos aminoácidos e valores de aminoácidos digestíveis do milho submetido a diferentes temperaturas de secagem e períodos de armazenamento. **R. Bras. Zootec.**, v.38, n.5, p.850-856, 2009.
- Carvalho, G. B. Níveis e Fontes de metionina na nutrição de frangos de corte. Tese de Doutorado. **Escola de Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Goiás**. 2017.
- Castilha, L. D.; Pozza, P. C.; Costa, P. B.; Silva, Y. L.; Nunes, R. V.; Neumann, M. E. Metabolismo e importância da arginina na nutrição de suínos. **Scientia Agraria Paranaensis - SAP**, v.13, n.1, p.10-21, 2014.

Castro, M. R.; Pinheiro, S. R. F.; Lima, H. J. D; Pires, A. V.; Vieira, D.J.; Abreu, L. R. A.; Mota, L. F. M.; Oliveira, R. G. Relações metionina + cistina: lisina digestíveis para codornas de corte machos em fase de terminação. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.**, Salvador, v.17, n.2, p.162-173. 2016.

Champe, P., Harvey, R. F. DR Bioquímica ilustrada. 3a.ed. Porto Alegre: **Artmed**. 2006

Charnet, R.; Bonvino, H; Freire C. A. L; Charnet, E. M. R. Análise de modelos de regressão linear com aplicações. Campinas, SP: **Unicamp**, 1999.

Coelho, L. S. S.; Costa, P. M. A.; Silva, M. A.; Pereira, J. A. A.; Rostagno, H. S.; Barbosa, H. P. Modelos para estimar exigências nutricionais em suínos. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 16, n. 1, p. 102-110, 1987

Corzo A, Kidd M, Dozier W, Shack L, Burgess, S. Protein expression of pectoralis major muscle in chickens in response to dietary methionine status. **Brit. J. Nutr.**;95:703-708, 2006.

Cotan, J. L. V.; Lanna, E. A. T.; Bomfim, M. A. D.; Donzele, J. L.; Ribeiro, F. B. & Serafini, M. A. Níveis de energia digestível e proteína bruta em rações para alevinos de lambari tambuí. **R. Bras. Zootec.**, v.35, n.3, p.634-640, 2006

Deponti, B.J.; Faria, D. E.; Filho, D.M.F.; Rombola, L. G.; Araujo, L. F. e Junqueira, O. M. Exigências de triptofano e padrão de recuperação do desempenho de poedeiras comerciais após alimentação com rações deficientes em triptofano. **R. Bras. Zootec.**, v.36, n.5, p.1324-1330, 2007

Emiliano, P. C.; Vivanco, M. J. F.; Menezes, F. S. M.; Avelar, F. G. Fundamentos e comparação de critérios de informação: Akaike and Bayesian. **Revista Brasileira Biomatemática**, v. 27, n. 3, p. 394-411, 2009.

Euclides, R. F.; Rostagno, H. S. Estimativas dos níveis nutricionais via experimentos de desempenho. Nutrição de Aves e Suínos. **In: Workshop Latino-Americano Ajinomoto Biolatina**, Foz do Iguaçu, PR, p.77-88, 2001.

Fagundes, N. S. Desenvolvimento do sistema digestório e da capacidade digestiva de frangos de corte alimentados com diferentes níveis de energia metabolizável. Dissertação de mestrado. **Universidade Federal de Uberlândia**. Minas Gerais. 2011

Ferreira, G. S.; Pinto, M. F.; Garcia Neto, M.; Ponsano, E. H. G.; Gonçalves, C. A.; Bossolani, I. L. C.; Pereira, A. G. Accurate adjustment of energy level in broiler chickens diet for controlling the performance and the lipid composition of meat. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.1, p.104-110, jan, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20130206>

Fernandes, M. N. S. Relação aminoácido sulfurado/ lisina: efeitos sobre o desempenho, rendimento e composição da carcaça de frangos de corte. Dissertação (Mestre em Zootecnia). **Universidade Federal de Minas Gerais**. p. 49. 2009

Frenhani, P. B.; Burini, R. C. Mecanismos de absorção de aminoácidos e oligopeptídios. Controle e implicações na dietoterapia humana. **Arq Gastroenterol**. V. 36 - no. 4 - out/dez. 1999

Gahl, M.J.; Crenshaw, T.D. & Benevenga, N.J. Diminishing returns in weight, nitrogen, and lysine gain of pigs fed six level so lysine from three supplemental sources. **Journal of Animal Science**, Volume 72, Issue12, p. 3177–3187, 1994

Grimble RF. The effect so sulfur amino acid intake on immune function in humans. **J. Nutr.**;136:1660–1665.2006

Gomide, E. M.; Rodrigues, P. B.; Freitas, R. T. F.; Fialho, E. T. Planos nutricionais com a utilização de aminoácidos e fitase para frangos de corte mantendo o conceito de proteína ideal nas dietas. **R. Bras. Zootec.**, v.36, n.6, p.1769-1774, 2007

Goulart, CC.; Costa, FG.P.; Silva, J.H.V.; Souza, J.G.; Rodrigues, V.P.; Oliveira, C.F.S. Exigências de metionina + cistina digestível para frangos de corte de 1 a 42 dias de idade. **Rev. Bras. Zootec.** 40(4):797-803. 2011.

Jankowski J, Kubińska M, Zduńczyk Z. Nutrition and immunomodulatory function of methionine in poultry diets—a review. **Ann. Anim. Sci.**;14(1):17-32. 2014

Kauomar N, Farhoomand P, Ebrahzhadehim SK. Effects of chromium methionine supplements on the performance and serum metabolites of broiler chickens. **J. Food Agric. Environ.** 9:292-294.2011.

Kessler, A.M.; Snizek Jr.; P.N., Brugalli, I. Manipulação da quantidade de gordura na carcaça de frangos. In: Conferência Apinco 2000 de Ciência e Tecnologia Avícola, Campinas, 2000. **Anais...**Campinas: FACTA, p.107-133. 2000

Kidd, M.T. Dietas de baixa proteína suplementadas com aminoácidos para frangos de corte. In: WORKSHOP LATINO-AMERICANO AJINOMOTO BIOLATINA, 2001, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** Foz do Iguaçu, PR, p.62-67. 2001

Lamberson, W.R. & Firman, J.D. A comparison of quadratic versus segmented regression procedures for estimating nutrient requirements. **Poultry Science** 81:481-484. 2002.

Leite RS, Rocha JSR, Michel BC, Lara LJC, Ornelas EA, Caçado SV, Baião NC.Efeitos de planos nutricionais e de fontes de metionina sobre o desempenho,

rendimento e composição de carcaças de frangos de corte. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**;61(5):1120-1127.2009.

Lehninger, A. L.; Nelson, D. L.; Cox, M. M. **Princípios de bioquímica. 3. ed.** São Paulo: Sarvier, 975p., 2011

Lima, M. B. Modelos matemáticos para predição das exigências nutricionais da colina para frangos de corte. Dissertação. **Universidade de São Paulo.** Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 2012

Lucena, L. R. R.; Holanda, M. A. C.; Holanda, M. C. R.; Sousa, A. Ajuste de modelos de regressão lineares, não lineares e sigmoidal no ganho de peso simulado de frangos de corte. **Agrarian Academy**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.4, n.8; p.35. 2017

Mangueira, R. A. F. Abordagem bayesiana de modelos de regressão com platô de resposta. Tese de doutorado em Ciências na área de Estatística e Experimentação Agronômica. **Universidade de São Paulo.** 2019

Maroufy, E.; Kasim, A.; Hashemi, S.R.; ChwenLoh, T.; Bejo, M.H.; Davoodi, H. The effect of methionine and threonine supplementations on immune responses of broiler chickens challenged with infectious bursal disease. **American J. of Appl. Poult. Sci.**;7: 44–50, 2010.

Martins, R.A.; Assunção, A.S.A. Importância dos aminoácidos na nutrição de frangos de corte. Revisão de Literatura. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal.** V.12. n.4. 2018

Mazerolle, M. J. Mouvement set reproduction de samphibiensentourbiersperturbées. Tese. Doutorado em ciências Florestais. P. 78. **Université Lavral**, Québec. 2004

Meza, S.K.L.; Nunes, R.V.; Tsutsumi, C.Y; Vieites, F.M.; Scherer, C. Henz, J.R.; Silva, I.M.; Bayerle, D.F. Metabolizable energy and digestible lysine levels on the composition and carcass yield of broilers. Semina: **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 2, p. 1079-1090, 2015. DOI: 10.5433/1679-0359.2015v36n2p1079

Morris, T.R. The interpretation of response data from animal feeding trials. In: COLE, D.J.A.; HARESIGN, W. **Recent developments in poultry nutrition.** London: Butterworths.p.1-11. 1989

Mota, L.F.M.; Alcântara, D.C.; Abreu, L.R.A; Costa, L.S.; Pires, A.V.; Bonafé, C.M.; Silva, M.A.; Pinheiro, S.R.F. Crescimento de codornas de diferentes grupos genéticos por meio de modelos não lineares. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.67, n.5, p.1372-1380, 2015

Nunes, C.C.F.; Moraes, A.R.; Muniz, J.A.; Sáfyadi, T. Variâncias do ponto crítico de equações de regressão quadrática. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 28, n. 2, p. 389-396, mar./abr., 2004

Nunes, R.V.; Schneider, S.E.; Souza, C.; Sangali, C.P.; Polese, C.; Bueno, R.S.; Vieites, F.M. Exigência de lisina digestível para poedeiras semipesadas de 50 a 66 semanas de idade. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.67, n.6, p.1675-1683, 2015.

Oliveira Neto, A. M. Avaliação de fontes de metionina em rações para frangos de corte em crescimento. Dissertação. **Universidade Federal de Viçosa**, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, P. 59. 2013

Oliveira Neto AR. Nutrição de não ruminantes. In: Oliveira Neto AR. Metabolismo e exigência de metionina. **Jaboticabal/Brasil: Funep.**;218-239. 2014

Oliveira, R. G.; Pinheiro, S. R. F.; Costa, L. S.; Pires, A. V.; Vieira, D. J.; Castro, M. R.; Abreu, L. R. A.; Siqueira, J. C. Digestible lysine in rations for free range broiler chickens. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.**, Salvador, v.17, n.3, p.424-437, 2016

Oliveira, C.F.S.; Tavares, J. M. N.; Corrêa, G. S.S.; Vieira, B. S.; Barbosa, S.A.P.V.; Corrêa, A. B.; C. A. R.L. Mathematical models to describe the growth curves of white-egg layers. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 39, n. 3, p. 1327-1334, 2018

Oviedo-Rondón, E.O.; Waldroup, P.W. Models to estimate amino acid requirements for broiler chickens: a review. **International Journal of Poultry Science**, v.5, p.106-113, 2002.

Pack, M. Models used to estimate nutrient requirements with emphasis in economic aspects. 402 In: Simpósio Internacional Sobre Exigências Nutricionais de aves e Suínos. 1996, 403 Viçosa, **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, P.43-54. 404. 1996.

Pack, M.; Hoehler, D.; Lemme, A. Economic assessment of amino acid responses in growing poultry. In: D'MELLO, J.P.F.(Ed.) Amino acids in animal nutrition. **Cambridge: CABI Publishing**, p.459-483.2003.

Parks, J.R. A theory of feeding and growth of animals. **Springer-Verlag**, Heidelberg, Berlin, 322p. 1982

Pessoa, G. B. S.; Tavernari, F. C.; Vieira, R. A.; Albino; L. F. T. Novos wrconceitos em nutrição de aves. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.**, Salvador, v.13, n.3, p.755-774 jul./set., 2012.

Pesti, G.M.; Vedenov, D.; Cason J.A. &Billard, L.. A comparison of methods to estimate nutritional requirements from experimental data. **British Poultry Science**, Cambridge,v. 50, p. 16-32, 2009

Pillai PB, Fanatico AC, Beers KW, Blair ME, Emmert JL. Homocysteine remethylation in young broilers fed varying levels of methionine, choline and betaine.**Poult.Sci.**;85:90-95. 2006

Pinheiro, S. R. F.;Sakomura, N. K.; Kawauchi, I. M.;Bonato, M. A.; Dorigam, J. C. P.;Fernandes, J. B. K. Níveis de cloreto de sódio para aves de corte da linhagem Colonial criadas em semi confinamento. **R. Bras. Zootec.**, v.40, n.7, p.1545-1553, 2011

Pompeu, M.A.; Baião, N.C.; Lara, L.J.C.; Ecco, R.; Rocha, J.S.R.; Fernandes, M.N.S; Barbosa, V.M.; Miranda, D.J.A. Suplementação de colina em dietas para frangos de corte machos emfase de crescimento. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.65, n.6, p.1836-1842, 2013

Portz, L.; Dias, C. T. S.; Cyrino, J. E. P. Regressão segmentada como modelo na determinação de exigências nutricionais de peixes. **Scientia Agricola**, v.57, n.4, p.601-607, out./dez. 2000

Regazzi, A. J.; Silva, C. H. O. Testes para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear em dados de experimento com delineamento em blocos casualizado. **Rev. Ceres, Viçosa**, v. 57, n.3, p. 315-320, mai/jun, 2010

Rezende, D. M. L. C; Muniz, J. A.; Ferreira, D. F.; Silva, F. F.; Aquino, L. H. Ajuste de modelos de platô de resposta para aexigência de zinco em frangos de corte. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 468-478, 2007

Robbins, K.L. A method, SAS program, and example for fitting the broken-lineto growth data. Tennessee: **University of Tennessee**, Agricultural Experiment Station, p.8. 1986.

Rodrigueiro, R.J.B.; Albino, L.F.T.; Rostagno, H.S.; Gomes, P.C.; Pozza, P.C.; Neme, R. Exigência de Metionina + Cistina para Frangos de Corte na Fase de Crescimento e Acabamento. **Rev. bras. zootec.**, 29(2):507-517, 2000

Rodrigues, S. C. A. Modelo de Regressão Linear e suas Aplicações. Relatório de Estágio para obtenção do Grau de Mestre em Ensino de Matemática no 3º Ciclo do

Ensino Básico e no Ensino Secundário. **Universidade da Beira Interior**. Covilhã. Portugal. 2012

Rosa, E. P. M.; Kiefer, C.; Souza, K. M. R.; Silva, J. B.; Ozelame, A. M; Gomes, E. N. O.; Rosa, R; A. Níveis de lisina digestível para frangos de corte tipo caipira de 28 a 56 dias de idade. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.**, Salvador, v.15, n.4, p.872-880 out./dez., 2014

Rostagno, H.S.; Bünzen, S.; Sakomura, N. K. and Albino, L. F. T. Avanços metodológicos na avaliação de alimentos e de exigências nutricionais para aves e suínos. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.36, p.295-304, 2007

Rostagno, H.S.; Albino, L.F.T.; Hannas, M.I.; Donzele, J.L.; Oliveira, R.F.; Barreto, S.L.T.; Sakomura, N.K.; Perazzo, F.G., Saraiva, A.; Teixeira, M.L.; Rodrigues, P.B. & Brito, C.O. Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos – Composição de alimentos e exigências nutricionais. **Viçosa**, UFV. p 292. 2017

Santo, H. E. & Daniel, F. Calculating and reporting effect sizes on scientific papers (3): Guide to report regression model and ANOVA effect sizes. **Revista Portuguesa de Investigação Comportamental e Social** 2018, Vol. 4 (1): 43-60

Sakomura, N.K.; Rostagno, H.S. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. **Jaboticabal: Funep**, p. 283. 2007

Scottá, B. A.; Pereira, C. M. C.; Bernardino, V. M. P. Energia Metabolizável e Aminoácidos Digestíveis dos Alimentos para Frangos de Corte. Ver. **Eletrônica Nutri Time**. v.9, nº 04. p.1861 - 1874. 2012

Silva, M.C.C.; Fontes, P.C.R.; Miranda, G.V. Modelos estatísticos para descrever a produtividade de batata em função da adubação nitrogenada. **Horticultura Brasileira** 25:360- 364. 2007

Silva, J. C.; Bomfim, M.A.D.; Lanna, E.A.T.; Ribeiro, F. B.; Siqueira, J. C.; Sousa, T. J. R.; Marchão, R. S.; Nascimento, D. C. N. Exigência de lisina para juvenis de tambaqui. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 39, n. 5, p. 2157-2168. 2018

Siqueira, J.C.; Sakomura, N.K., Nascimento, D. C. N. e Fernandes, J.B.K. Modelos matemáticos para estimar as exigências de lisina digestível para aves de corte ISA Label. **Resvista Bras. Zootec.**, v.38, n.9, p.1732-1737, 2009.

Shoveller AK, Stoll B, Ball RO, Burrin DG. Nutritional and functional importance of intestinal sulfur amino acid metabolism. **J. Nutr.**;135(7):1609-1612.2005

Stipanuk MH. Sulfur amino acid metabolism: pathways for production and removal of homocysteine and cysteine. **Annu. Rev. Nutr.**;24:539-577. 2004

Souza, F. A.; Malheiros, E. B.; Carneiro, P. R. O. Positioning and number of nutritional levels in dose-response trials to estimate the optimal-level and the adjustment of the models. **Ciência Rural**, v.44, n.7, p.1204-1209. 2014

Tavernari, F.C; Bernal, L.E.P.; Rostagno, H.S.; Albino, L.F.T; Vieira, R.A. Relação metionina + cistina / lisina digestível para frangos de corte cobb. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 61, n.2, p. 193-20, 2014.

Teixeira, M. P. F. Efeito da composição da ração sobre a energia líquida em frangos de corte: revisão de literatura. **Rev. Eletrônica Nutri Time**. Vol. 14, Nº 06, ISSN: 1983-9006. 2017

Vannucchi, H e Melo, S.S. Hiper-homocisteinemia e risco cardiometabólico. **Arq Bras Endocrinol Metab**. vol.53 no.5 São Paulo July 2009

Vieira, R. Fundamentos de Bioquímica. Textos Didáticos. **Belém do Pará**. p. 159. 2003.

Tabachnick, B. G. e Fidell, L. S. **Using multi variat estatistics(5ª ed.)**. Boston: Pearson Education. 2007

Waterland RA. Assessing the effects of high methionine intake on DNA methylation. **J. Nutr.**;136:1706S -1710S. 2006

Wen C, Chen X, Chen GY, Wu P, Chen YP, Zhou YM, Wang T. Methionine improves breast muscle growth and alters myogenic gene expression in broilers. **J.Anim. Sci.**;92:1068-1073. 2014

Whitaker, H.M.A.; Mendes, A.A.; Garcia, E.A.; Roça, R.O.; Varolli Jr., J.C.; Saldanha, E.P.B. Efeito da Suplementação de Metionina Sobre o Desempenho e a Avaliação de Carcaças de Frangos de Corte. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**. p. 1-9, v.4. 2002.

## CAPÍTULO I – APLICAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS PARA DETERMINAÇÃO DO NÍVEL ÓTIMO DE AMINOÁCIDOS SULFURADOS NO DESEMPENHO PRODUTIVO DE FRANGOS DE CORTE

### RESUMO

Suprir as exigências nutricionais das aves é um dos principais desafios dos nutricionistas, deste modo, objetivou-se determinar com auxílio de modelos matemáticos o nível ótimo de metionina + cistina (Met+Cis) digestível para frangos de corte. Foram utilizados 1296 pintos de corte machos (Cobb 500), avaliados no período de 21 a 42 dias de idade. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com seis tratamentos e nove repetições com 24 animais cada. Para as dietas experimentais elaborou-se uma dieta basal (sem a inclusão de metionina) e as demais foram suplementadas com DL-Metionina 99%, alcançando os níveis de Met+Cis digestíveis na fase de crescimento de 0,770; 0,829; 0,889; 0,948; 1,007; 1,067% e 0,692; 0,741; 0,790; 0,838; 0,887; 0,936% para a fase final. Foram avaliados consumo de ração (CR), ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA), ingestão de metionina (IM), eficiência de utilização da metionina (EM) e rendimento de carcaça. Para determinação do nível ótimo para GP e CA foram utilizados os modelos matemáticos: polinomial quadrática (PQ), segmentada e *linear response plateau* (LRP). Na fase de crescimento o CR não foi influenciado pelos níveis crescentes de Met+Cis digestíveis ( $p>0,05$ ), enquanto para as demais variáveis a maior inclusão proporcionou os melhores resultados ( $p<0,05$ ). Para a fase final o CR diminuiu linearmente com as maiores inclusões ( $p<0,05$ ) e as demais variáveis do desempenho zootécnico responderam positivamente ao aumento dos níveis de Met+Cis digestível nas dietas ( $p<0,05$ ). O rendimento de carcaça aumentou com os maiores níveis de inclusão ( $p<0,05$ ). Os níveis ótimos diferiram entre os diferentes modelos matemáticos.

Conclui-se que na fase de crescimento os modelos PQ e LRP apresentaram o melhor ajuste dos dados para a variável GP indicando os níveis ótimos de Met+Cis digestíveis de 1,030 e 0,910%, respectivamente, enquanto que para a CA o modelo PQ estimou o nível ótimo 0,910%. No período final o modelo LRP apresentou o melhor ajuste dos dados, recomendando os níveis ótimos para GP e melhor CA de 0,820 e 0,870%, respectivamente.

Palavras – chave: desempenho, Met+Cis digestível, nível ótimo, modelos matemáticos.

## **CHAPTER I - APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELS TO DETERMINE OPTIMAL LEVELS OF SULPHURATED AMINO ACIDS FOR GROWTH PERFORMANCE OF BROILERS**

### **ABSTRACT**

The objective of this study was to determine the optimal level of digestible methionine + cystine (Met+Cys) for broilers by using different mathematical models. A total of 1,296 male broilers were distributed in a completely randomized design with 6 treatments and 9 replicates of 24 birds each. From 1 to 21 days old, all birds received a basal diet. Starting at 21 days, the experimental diets were fed, which consisted on a basal diet (with no inclusion of exogenous methionine) and 5 diets supplemented with increasing levels of DL-methionine, which supplied: 0.770, 0.829, 0.889, 0.948, 1.007 and 1.067% Met+Cys respectively, on the growth phase (21 to 35); 0.692, 0.741, 0.790, 0.838, 0.887 and 0.936% Met+Cys respectively, on the final phase (36 to 42 d). The calculated Met+Cys levels for the total period (21 to 42 d) were respectively 0.736, 0.792, 0.847, 0.902, 0.958 and 1.013% for the basal diet and the 5 supplemented diets. Feed intake, body weight gain (BWG), feed conversion ratio (FCR), methionine intake,

efficiency of methionine utilization, carcass yield, breast yield and abdominal fat percentage were recorded. The quadratic polynomial regression, broken-line regression, and linear response plateau models were utilized to calculate the optimal Met+Cys levels for BWG and FCR. During growth phase, feed intake was not affected by the increasing levels of Met+Cys, but it was linearly reduced during the final and total periods ( $P<0.05$ ). Greater Met+Cys levels positively affected the other analyzed variables in every phase ( $P<0.05$ ). The ideal Met+Cys levels differed between the regression models. LRP presented the best data adjustment in all evaluated periods and the estimated Met+Cys levels for maximum BWG and best FCR were 0.910, 0.820 and 0.870% for the growth, final and total phases, respectively.

Keywords: Digestible Met+Cys, mathematical models, optimal levels, performance.

## 1. INTRODUÇÃO

Atender com precisão as exigências nutricionais do frango de corte para as diferentes fases de produção é um desafio para os nutricionistas, focando, em alguns trabalhos, particular atenção aos aminoácidos limitantes. A metionina é um aminoácido sulfurado essencial, o primeiro limitante em frangos de corte, atuando diretamente em diferentes funções do metabolismo das aves, sistema imunológico, empenamento e no desempenho produtivo (CORZO et. al, 2006; JANKOWSKI et. al, 2014; WEN et al, 2014).

Além do conhecimento nutricional dos alimentos e das exigências das aves, os pesquisadores e profissionais da área estão utilizando modelos matemáticos como ferramentas para auxiliá-los na predição de níveis ótimos dos aminoácidos nas dietas, estando entre os mais empregados os modelos de regressões polinomial quadrático (PQ), segmentada e *linear response plateau* (LRP). O modelo PQ é frequentemente

utilizado para determinação de níveis ótimos devido à facilidade na realização dos cálculos e na interpretação dos resultados (NUNES et al., 2004). No modelo, o número de níveis testados pode influenciar na recomendação do nível ótimo, sendo necessário no mínimo três níveis (MORRIS, 1989; EUCLYDES & ROSTAGNO, 2001; KRAPS & LAMBERSON, 2004), além de ser um modelo muito sensível as variações dos níveis, tendendo a estimá-los no intervalo entre os níveis testados (SOUZA et al., 2014). Biologicamente, um ponto de contestação do modelo deve-se ao fato de assumir a simetria bilateral da resposta com a adição de um nutriente limitante, ou seja, descrevendo que a diminuição no desempenho produtivo do animal ocorre na mesma intensidade que o ganho, reduzindo imediatamente após o nível ótimo. Porém, na prática esta situação ocorre somente quando são fornecidas concentrações muito elevadas de um nutriente, as quais são capazes de levar à toxicidade do animal (SIQUEIRA et al, 2009). O modelo de regressão segmentada é utilizado quando se pretende indicar os níveis ótimos de aminoácidos nas dietas que utilizam o conceito de proteína ideal, resultando em exigências menores de aminoácidos, evitando o excesso desses nutrientes nas dietas (MACK et al., 1999; DEPOINT et al., 2007), deste modo, reduzindo a excreção de nitrogênio e o uso dos aminoácidos como fonte de energia (EMMERT & BAKER, 1997). O modelo sugere que a resposta do animal é crescente até atingir o nível exato do nutriente para o máximo desempenho, que a partir do qual não se observaria respostas adicionais ao ganho (PACK et al., 2003), sendo esta uma desvantagem atribuída ao modelo, pois esta situação não necessariamente ocorra, uma vez que níveis acima do indicado pelo modelo podem proporcionar resultados zootécnicos superiores para as variáveis, porém incorrendo em alto erro estatístico. Deste modo, o modelo de regressão segmentada determinará

o nível ótimo que proporcionará o melhor resultado para a variável avaliada combinado com o menor erro estatístico.

O modelo LRP é amplamente utilizado para a determinação de níveis ótimos em virtude da simplicidade de utilização em programas estatísticos e pela facilidade de interpretação dos seus resultados (OVIEDO-RONDÓN et al., 2002; PACK et al., 2003), mas o modelo considera que a resposta do animal frente à adição de doses crescentes de nutrientes limitantes à dieta aumenta até atingir o ponto de platô, que a partir do qual a resposta dos animais ao incremento dos níveis é constante. Porém, esta interrupção abrupta da curva pelo platô é questionada, levando a interpretações equivocadas sobre o nível-ótimo dos nutrientes, tendendo a subestimá-los (REZENDE et al., 2007).

Uma característica similar entre as regressões segmentada e a LRP é o fato de ambas serem modelos descontínuos, ou seja, de possuírem após o ponto de quebra a formação de um novo segmento, podendo ser na regressão segmentada uma nova reta, uma curva ou um platô (PORTZ et al., 2000), enquanto na regressão LRP há especificamente a formação de um platô (SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007).

Diante do exposto, objetivou-se com o auxílio de modelos matemáticos, determinar o nível ótimo de metionina + cistina (Met+Cis) digestível em dietas para frangos de corte nos períodos de crescimento e final.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi realizado após a aprovação do projeto pela Comissão de Ética ao Uso de Animais (CEUA) da Universidade Federal do Paraná, setor de Ciências Agrárias, sob o número 072/2019.

## 2.1 Local, animais e alojamento

O estudo foi conduzido na Fazenda Experimental Canguiri da Universidade Federal do Paraná, localizada no município de Pinhais, Paraná.

Foram utilizados 1296 pintos de corte machos, da linhagem Cobb 500 (Cobb Brazil Ltda, São Paulo, Brasil), de um dia de idade, avaliados no período de 21 a 42 dias de idade. Os animais foram alojados em 54 boxes com 2,06 m<sup>2</sup> de área, equipados com um comedouro tubular, bebedouros tipo nipple, campânula e cama de maravalha. As aves receberam água e ração *ad libitum*. Termômetros de máxima e mínima foram utilizados para verificação da temperatura. As aves receberam iluminação contínua nas primeiras 24 horas de vida, diminuindo gradativamente a iluminação conforme Manual de Manejo de Frangos de Corte Cobb (COBB-VANTRESS, 2013). A temperatura ambiental foi mantida em 32°C no primeiro dia e reduzida até aproximadamente 18°C no dia 42 do experimento. As aves foram inspecionadas, sendo removidas as mortas e anotando-se a data, peso corporal e o tratamento a qual pertencia para posterior cálculo de mortalidade.

## 2.2 Delineamento e dietas experimentais

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, composto de 6 tratamentos e 9 repetições, totalizando 54 unidades experimentais com 24 animais cada.

No período inicial de 1 a 21 dias de idade todos os tratamentos receberam a mesma dieta basal, e para o período experimental, compreendido entre a fase de crescimento (21 a 35 dias) e a fase final (36 a 42 dias), foram incluídos os níveis crescentes de DL-metionina na dieta das aves. As dietas experimentais foram à base

de milho e farelo de soja, formuladas para atender as exigências nutricionais das aves, seguindo as recomendações de Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (ROSTAGNO et al., 2011), exceto para as exigências de metionina, que foram adicionadas conforme a suplementação de cada tratamento. Propositalmente, não foi realizado o ajuste dos níveis de energia e proteína das dietas que receberam a suplementação de metionina sintética, a fim de garantir os mesmos níveis nutricionais dos demais nutrientes em todas as dietas, diferenciando apenas os níveis de Met + Cis digestível.

Os tratamentos eram compostos por uma dieta basal (sem a inclusão de metionina) e cinco dietas suplementadas com níveis crescentes de DL- Metionina 99% com incremento de 0,059% do T1 (0,000) ao T6 (0,295%) para a fase e crescimento e com incremento de 0,049% do T1 (0,000) ao T6 (0,245%) na fase final (Tabela 1).

Tabela 1. Composição percentual e nutricional das dietas experimentais

Ingredientes	Dieta experimentais (%)		
	Inicial	Crescimento	Final
Milho	55,98	68,34	71,75
Farelo de Soja 49%	36,40	24,70	21,50
Óleo de soja	3,50	3,50	3,20
Fosfato bicalcico	1,70	1,69	1,73
Calcário	0,80	0,66	0,69
Sal	0,31	0,30	0,30
Bicarbonato Sódio	0,29	0,23	0,19
DL-Metionina 99%	0,37	_ <sup>1</sup>	_ <sup>2</sup>
L-Treonina 98%	0,11	0,10	0,08
Colina 75%	0,06	0,07	0,08
Premix Mineral <sup>3</sup>	0,05	0,05	0,05
Premix Vitamínico <sup>4</sup>	0,15	0,15	0,15
Biolys 70%	0,22	0,30	0,27
Enradin	0,01	0,01	0,01
Nicamix 25%	0,05	-	-
Inerte	-	_ <sup>5</sup>	_ <sup>6</sup>
Monoensina	-	0,03	-
<b>Níveis Nutricionais calculados</b>			
Energia Metabolizável (Kcal/kg)	3070	3201	3222
Proteína Bruta (%)	21,636	17,639	16,127
Fibra Bruta (%)	2,375	2,298	2,238
Extrato Etéreo (%)	6,508	6,359	6,150
Cálcio (%)	0,781	0,757	0,760
Fosforo disponível (%)	0,427	0,399	0,400
Sódio (%)	0,220	0,200	0,190
Cloro (%)	0,235	0,235	0,235
Potássio (%)	0,933	0,543	0,470
Colina (g)	1697,21	1497,53	1485,34
Met dig (%)	0,661	0,525	0,461
M+C dig (%)	0,952	0,770	0,692
Lisina digestível (%)	1,234	1,002	0,898
Treonina digestível (%)	0,815	0,662	0,593

<sup>1</sup>Níveis de inclusão de DL-Metionina na fase de crescimento (%): T1: 0,000; T2: 0,059; T3: 0,118; T4: 0,177; T5: 0,236; T6: 0,295.

<sup>2</sup>Níveis de inclusão de DL-Metionina na fase final (%): T1: 0,00; T2: 0,049; T3: 0,098; T4: 0,147; T5: 0,196; T6: 0,245.

<sup>3</sup>Níveis de garantia por quilograma de produto: Cobre 20g, Ferro 100g, Manganês 160g, Cobalto 2000.00mg, Iodo 2000.00 mg, Zinco 100g.

<sup>4</sup>Níveis de garantia por quilograma de produto: Vitamina A 9000000.00UI, Vitamina D3 2500000.00UI, Vitamina E 20000.00 UI, Vitamina K3 2500.00 mg, Vitamina B1 1500.00 mg, Vitamina B2 6000.00 mg, Vitamina B6 3000.00mg, Vitamina B12 12000.00 mg, Ácido Pantotânico 12g, Niacina 25g, Ácido Fólico 800.00mg, Biotina 60.00 mg, Selênio 250.00 mg.

<sup>5</sup> Níveis de inclusão de inerte na fase de crescimento: T1: 0,378; T2: 0,319; T3: 0,259; T4: 0,200; T5: 0,141; T6: 0,081.

<sup>6</sup>Níveis de inclusão de inerte na fase final: T1: 0,300; T2: 0,251; T3: 0,203; T4: 0,154; T5: 0,105; T6: 0,056.

### *2.3 Desempenho zootécnico*

Com 20 dias de idade todas as aves foram pesadas individualmente para realização da avaliação de uniformidade e posteriormente foram distribuídas conforme os pesos, assim evitando variação de pesos dentro dos tratamentos. O peso médio das aves no início do experimento foi de  $972 \pm 33$  gramas. Para avaliação de ganho de peso (GP) todas as unidades experimentais foram pesadas nos dias 21, 35 e 42 do experimento. Semanalmente foram pesadas as ofertas e as sobras de ração para a determinação do consumo de ração (CR). A conversão alimentar (CA) foi calculada sendo a relação entre CR e GP. A ingestão de metionina (IM) foi obtida através do cálculo do CR pela porcentagem de inclusão de Met+Cis digestível de cada tratamento. A eficiência da utilização da metionina (EM) foi determinada pela relação entre o GP e a IM (CELLA et al, 2001).

### *2.4 Rendimento de Carcaça*

Aos 42 dias de vida, duas aves por unidade experimental, totalizando 108 aves foram devidamente identificadas e pesadas ainda no galpão experimental. Foram transportadas para o abatedouro experimental, onde foram eutanasiadas por deslocamento cervical após jejum de 12 horas. As aves foram depenadas, evisceradas, pesadas e realizados os cortes para o rendimento de carcaça, peito e gordura abdominal. O rendimento de carcaça foi calculado como o peso da carcaça em relação ao peso vivo e o rendimento das demais partes calculado em relação ao peso de carcaça e expressos em porcentagem.

## 2.5 Análise Estatística

Inicialmente as pressuposições de normalidade (Shapiro Wilk) e homocedasticidade (Levine) foram testadas e atendidas. As análises estatísticas foram conduzidas no RStudio para linguagem R (TEAM, R., 2013; RStudio TEAM, et al, 2015). As variáveis de desempenho e rendimento de carcaça foram submetidas às análises de regressão linear simples (L) e polinomial quadrática (PQ) considerando como significativo  $P < 0,05$ . Graficamente foi representado o comportamento das variáveis GP, CA, IM e EM no período de 21 a 42 dias de idade, sendo considerada a média ponderada dos períodos de crescimento (66,66%) e final (33,34).

Para determinação do nível ótimo de Met+Cis digestível os dados foram ajustados utilizando os modelos de regressões PQ e *Linear response plateau* (LRP) (pacote *easyreg*) e Segmentada (pacote *segmented*), sendo considerado o GP e CA como variáveis dependentes e os níveis de Met+Cis digestível como variável independente. As fórmulas consideradas foram:

1. Regressão linear simples (L):  $y = \beta_0 + \beta_1 X$ , sendo: Y = variável dependente; x = é a concentração de Met+Cis digestível da dieta,  $\beta_0$  = intercepto (intersecção com o eixo y),  $\beta_1$  = coeficiente angular da reta.
2. Regressão polinomial quadrática (PQ):  $y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2$ , sendo: Y = variável dependente; x = é a concentração de Met+Cis digestível da dieta,  $\beta_0$  = intercepto,  $\beta_1$  = coeficiente angular,  $\beta_2$  = coeficiente quadrático. A determinação do nível ótimo é obtida por:  $-\beta_1 / (2 \times \beta_2)$ .
3. Regressão *linear response plateau* (LRP):  $Y = \beta_0 + \beta_1 (X - V)$ , se  $(X \leq V)$ , em que  $\beta_0$  é intercepto da resposta máxima,  $\beta_1$  é a inclinação da reta antes do ponto de quebra e  $(X \leq V)$  é uma expressão booleana, de forma que:  $(X \leq V) = 1$  somente se X, a concentração de Met+Cis digestível na dieta, for menor ou

igual a V, concentração de Met+Cis digestível no ponto de quebra da função.  
 $(X \leq V) = 0$  se X maior que V.

4. Regressão segmentada:  $Y = \beta_0 + \beta_1 * X * (X \leq V) + (\beta_1 * V + \beta_2 * (X - V)) * (X > V)$ , em que  $\beta_0$  é intercepto,  $\beta_1$  é a inclinação da reta antes do ponto de quebra,  $\beta_2$  é a inclinação da reta após o ponto de quebra. Os termos  $(X \leq V)$  e  $(X > V)$  são expressões booleanas, de forma que:  $(X > V) = 1$  somente se X, a concentração da Met+ Cis digestível na dieta, for maior que V, concentração da Met + Cis digestível no ponto de quebra da função.  $(X > V) = 0$  se X menor que V. Da mesma forma,  $(X \leq V) = 1$  somente se X menor ou igual a V e  $(X \leq V) = 0$  se X maior que V.

Os parâmetros de avaliação utilizados para escolha do modelo que promoveu o melhor ajuste dos dados foram:

- Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) que indica o quanto da variável dependente é explicada pelo modelo de regressão, sendo o valor do coeficiente pertencente ao intervalo entre 0 a 1, que quanto mais próximo de 1 melhor foi o ajuste dos dados ao modelo (CHARNET et al., 1999),
- Critério de informação de Akaike (AIC) é uma medida relativa da qualidade dos ajustes de um modelo estatístico, oferecendo numericamente as informações perdidas quando um modelo é utilizado para descrever a realidade de um fenômeno, considerando o mais adequado àquele que apresentar a menor valor para o parâmetro (EMILIANO et al., 2009)
- Soma dos quadrados dos resíduos (SQR) é uma medida que corresponde à variação da variável resposta que não é explicada pelo modelo, considera-se

como adequado o modelo que apresentar a menor SQR (SILVA et al., 2007; SIQUEIRA et al., 2009).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Desempenho zootécnico

Os valores médios para os parâmetros de desempenho zootécnico para os períodos de 21 a 35, 36 a 42 e 21 a 42 dias de idade estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Desempenho zootécnico de frangos de corte alimentados com diferentes níveis de inclusão de Met+Cis digestível nos períodos compreendidos entre 21 a 42 dias de idade.

Período 21 a 35 dias									
Variáveis	Níveis Met + Cis digestível (%)						SEM	P-valor	
	0,77	0,829	0,889	0,948	1,007	1,067		L	PQ
CR (g)	2363	2329	2337	2316	2307	2350	20,143	0,368	0,094
GP (g)	1215	1305	1405	1411	1422	1428	13,84	0,001	0,001 <sup>1</sup>
CA (g/g)	1,88	1,77	1,67	1,64	1,62	1,64	0,007	0,001	0,001 <sup>2</sup>
IM (g)	18,19	19,31	20,78	21,91	23,23	24,89	0,189	0,001 <sup>3</sup>	0,227
EM (g/g)	66,79	67,58	67,61	64,28	61,23	57,37	0,277	0,001	0,001 <sup>4</sup>
Período 36 a 42 dias									
Variáveis	Níveis Met + Cis digestível (%)						SEM	P-valor	
	0,692	0,741	0,79	0,838	0,887	0,936		L	PQ
CR (g)	1309	1274	1281	1286	1252	1248	11,662	0,001 <sup>5</sup>	0,914
GP (g)	581	547	660	658	660	654	8,431	0,001	0,001 <sup>6</sup>
CA (g/g)	2,26	2,33	1,94	1,96	1,9	1,91	0,018	0,001	0,001 <sup>7</sup>
IM (g)	9,06	9,44	10,12	10,77	11,11	11,73	0,093	0,001 <sup>8</sup>	0,813
EM (g/g)	64,13	57,94	65,22	61,1	59,43	55,99	0,57	0,001	0,001 <sup>9</sup>

<sup>1</sup>GP:  $-1261,34 + 5230,91x - 2539,11x^2$ ; ( $R^2:0,72$ )

<sup>2</sup>CA:  $6,3 - 9,33x + 4,65x^2$ ; ( $R^2:0,95$ )

<sup>3</sup>IM:  $16,746 + 1,3254x$ ; ( $R^2:0,99$ )

<sup>4</sup>EM:  $-54,825 + 296,53x - 179,65x^2$ ; ( $R^2:0,98$ )

<sup>5</sup>CR:  $1311,6 - 10,457x$ ; ( $R^2:0,75$ )

<sup>6</sup>GP:  $-1155,85 + 4002,06x - 2203,07x^2$ ; ( $R^2:0,52$ )

<sup>7</sup>CA:  $8,28 - 13,65x + 7,29x^2$ ; ( $R^2:0,70$ )

<sup>8</sup>IM:  $8,4707 + 0,5431x$ ; ( $R^2:0,99$ )

<sup>9</sup>EM:  $-28,129 + 244,54x - 164,74x^2$ ; ( $R^2:0,46$ )

### *3.1.1 Período 21 a 35 dias de idade*

Na fase de crescimento o CR não foi influenciado pelos diferentes níveis de inclusão de Met+Cis digestível ( $p>0,05$ ). Entretanto, observou-se aumento no GP das aves com o aumento dos níveis de Met +Cis nas dietas, apresentando comportamento quadrático ( $p<0,05$ ), obtendo ganho máximo com o nível de 1,067%. A CA resultou em efeito quadrático ( $p<0,05$ ) diminuindo com o incremento dos níveis, apresentando o melhor valor para a variável com o nível de 1,007%. Quanto a IM observou-se aumento linear ( $p<0,05$ ), conforme maior o nível Met+Cis digestível na dieta, enquanto para EM observou-se aumento da eficiência até a inclusão de 0,889% de Met+Cis, havendo redução significativa na eficiência de utilização da metionina com os maiores níveis ( $p<0,05$ ).

### *3.1.2 Período 36 a 42 dias de idade*

Na fase final o CR reduziu linearmente ( $p<0,05$ ) com o aumento dos níveis de Met+Cis digestível das dietas, entretanto o GP apresentou efeito quadrático ( $p<0,05$ ), sendo observado aumento do GP quando fornecida às aves as dietas com os níveis intermediários (0,790; 0,838 e 0,887%) de Met+Cis digestível, porém reduzindo quando alimentadas com o maior nível de inclusão (0,936%). As dietas com os menores níveis de Met+Cis digestível propiciaram os piores resultados para a CA, enquanto os melhores resultados foram observados a partir do nível 0,790% de inclusão, apresentando comportamento quadrático ( $p<0,05$ ). Houve aumento linear para a IM em relação aos maiores níveis de Met+Cis digestível ( $p<0,05$ ), contudo os maiores resultados para a EM foram com as menores inclusões, sendo observada

redução significativa na eficiência da metionina com o aumento dos níveis nas dietas, resultando em efeito quadrático ( $p < 0,05$ ).

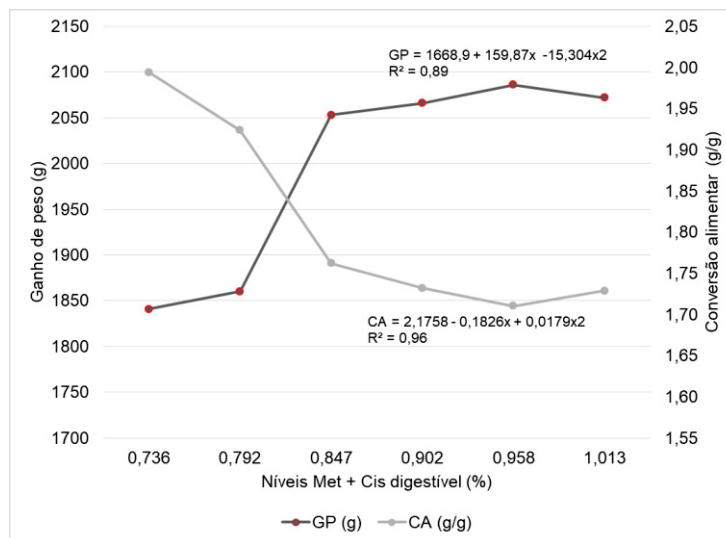


Gráfico 1: Comportamento do ganho de peso (GP) e da conversão alimentar (CA) no período de 21 a 42 dias de idade.

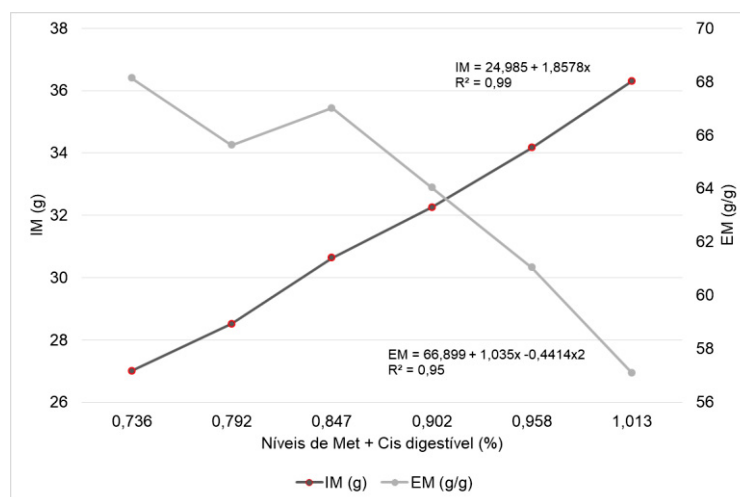


Gráfico 2: Comportamento da ingestão de metionina (IM) e da eficiência da metionina no ganho de peso no período de 21 a 42 dias de idade

Graficamente observa-se que no período de 21 a 42 dias de idade o GP e a CA (Gráfico 1) apresentaram comportamento quadrático ( $p < 0,05$ ), obtendo o maior ganho e a melhor CA com o nível 0,958% de inclusão de Met+Cis digestível. A IM se

comportou de forma semelhante as demais fases avaliadas, apresentando aumento linear na ingestão conforme o aumento da inclusão da metionina da dieta ( $p < 0,05$ ), enquanto a EM foi maior nas dietas com os menores níveis de Met+Cis digestível, apresentando redução da eficiência a partir de 0,847% de inclusão dos níveis das dietas, resultando em efeito quadrático ( $p < 0,05$ ) (Gráfico 2).

### 3.2 Rendimento de Carcaça

Todas as variáveis avaliadas na análise de rendimento de carcaça apresentaram comportamento quadrático ( $P < 0,05$ , Tabela 3). Com o aumento dos níveis de Met+Cis digestível observou-se aumento nos rendimentos da carcaça e peito, observando os maiores resultados a partir do tratamento T4 (0,948/0,838), assim como as maiores inclusões dos níveis proporcionaram carcaças com os menores teores de gordura abdominal.

Tabela 3. Rendimento de carcaça de frangos de corte alimentados com níveis crescentes de Met+Cis digestível no período de 21 a 42 dias de idade.

Variáveis	Níveis Met + Cis digestível (%)						SEM	P-valor	
	T1	T2	T3	T4	T5	T6		Linear	PQ
<b>Rendimento</b>									
Carcaça (%)	77,790	79,170	79,768	79,771	79,569	79,303	0,442	0,020	0,001
Peito (%)	34,921	36,469	38,133	39,706	38,466	39,233	0,421	0,001	0,001
Gordura (%)	0,027	0,024	0,021	0,018	0,017	0,020	0,001	0,001	0,001

Tratamentos: serão considerados os níveis de Met+Cis digestível dos períodos de crescimento/final = T1: 0,770/0,692; T2: 0,829/0,741; T3: 0,889/0,790; T4: 0,948/0,838; T5: 1,007/0,887; T6: 1,067/0,936.

SEM: Standard error of the mean

Rendimento de carcaça:  $24,987 + 120,87x - 66,511x^2$ ; ( $R^2: 0,96$ )

Rendimento de peito:  $-43,537 + 172,87x - 90,24x^2$ ; ( $R^2: 0,92$ )

Rendimento de gordura:  $0,2143 - 0,4158x + 0,2203x^2$ ; ( $R^2: 0,94$ )

### 3.3 Determinação de nível ótimo para o máximo GP e CA

Tabela 4. Determinação de nível ótimo de Met+Cis digestível em dietas para frangos de corte no período de 21 a 42 dias de idade para ganho de peso (GP) e conversão alimentar (CA) por diferentes modelos matemáticos.

Período (dias)	Variável	Modelo	Equação	Parâmetros de avaliação		
				AIC	R <sup>2</sup>	SQR
21-35	GP	PQ	$(-1261,34) + (5230,91)*X + (-2539,11)*X^2$	524,91	0,72	39,61
		Segmentada	$396,12 + (1122,2)*X * (X \leq 0,900) + (1122,22*0,900 + (-924,7*(X-0,900))) * (X > 0,900)$	525,39	0,72	39,44
		LRP	$1422,79 + (1122,22)*(X - 0,910)$ , se $X \leq 0,910$	524,89	0,72	39,60
	CA	PQ	$6,3 + (-9,33)*X + (4,65)*X^2$	-242,24	0,94	0,02
		Segmentada	$3,15 + (-1,66)*X *(X \leq 0,910) + (-1,66*0,910 + (1,64*(X-0,910))) * (X > 0,910)$	-232,19	0,94	0,02
		LRP	$1,63 + (-1,66)*(X - 0,910)$ , se $X \leq 0,910$	-234,10	0,94	0,02
36-42	GP	PQ	$(-1155,85) + (4002,06)*X + (-2203,07)*X^2$	517,46	0,52	36,82
		Segmentada	$(-0,53) + (804,99)*X *(X \leq 0,820) + (804,99 * 0,820 + (-846,26*(X-0,820)))*(X > 0,820)$	514,84	0,56	35,56
		LRP	$657,75 + (804,99)*(X - 0,820)$ , se $X \leq 0,820$	512,89	0,56	35,21
	CA	PQ	$8,28 + (-13,65)*X + (7,29)*X^2$	-81,11	0,70	0,10
		Segmentada	$(4,54) + (-3,19)*X*(X \leq 0,810) + (-3,19*0,810) + (2,7*(X-0,810))*(X > 0,810)$	-84,57	0,73	0,10
		LRP	$1,92 + (-3,19)*(X - 0,820)$ , se $X \leq 0,820$	-85,64	0,73	0,10

PQ: Polinomial quadrática, LRP: Linear response plateau, AIC: Critério de informação de Akaike, R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinação, SQR: Soma dos quadrados dos resíduos, NO: Nível ótimo (%)

A indicação dos níveis ótimos de Met+Cis digestível para o GP e CA nos períodos avaliados estão apresentados na tabela 4. No período de crescimento, os níveis ótimos indicados para o GP foram de 1,030, 0,900 e 0,910% e para a CA 1003, 0,910 e 0,910% para as regressões PQ, segmentada e LRP, respectivamente. Avaliando o ajustamento dos dados para o GP e CA, foram obtidos resultados semelhantes para os parâmetros de avaliação SQR e  $R^2$  entre os modelos matemáticos, diferenciando apenas no parâmetro AIC, observando no GP os menores valores para as regressões PQ e LRP, enquanto para a CA o menor AIC foi obtido com a regressão PQ.

No período final, os níveis ótimos estimados pelas regressões PQ, segmentada e LRP para o GP foram de 0,908, 0,820 e 0,820% e para a CA 0,936, 0,810 e 0,820%, respectivamente. Quanto aos parâmetros de avaliação, observou-se que a regressão LRP apresentou o melhor ajuste dos dados de GP e CA. Para a variável de GP a regressão LRP e segmentada apresentaram resultados semelhantes para SQR e  $R^2$ , porém o LRP apresentando o menor valor para AIC. Para a CA os resultados da SQR foram iguais entre os modelos, entretanto o  $R^2$  da LRP foi igual ao da segmentada, além de indicar o menor valor para o AIC.

## **4. DISCUSSÃO**

### *4.1 Desempenho zootécnico e nível ótimo de Met+Cis digestível*

#### *4.1.1 Período de crescimento*

Em frangos de corte a regulação do consumo da ração pode ser influenciada pelo excesso ou pela falta de algum aminoácido na dieta (WHITAKER et al., 2002; CARVALHO, 2017). Na fase de crescimento não foi observado efeito dos diferentes níveis de Met+Cis digestível no CR, indicando que a diferença entre os níveis testados no período não foi

suficiente para promover aumento ou diminuição no consumo das dietas. Quanto aos resultados obtidos para as demais variáveis do desempenho produtivo, observou-se que os frangos de corte responderam de forma mais eficiente para o GP e CA quando alimentados com dietas com inclusões entre 1,007 e 1,067% de Met+Cis digestível.

Para todos os períodos estudados os modelos matemáticos diferiram quanto aos níveis ótimos indicados, observando que o PQ indicou para as variáveis os maiores níveis quando comparado aos modelos segmentado e LRP, porém, esta diferença entre os níveis ótimos de Met+Cis digestíveis indicados pelos modelos já eram esperados, pois frente a um mesmo banco de dados diferentes modelos indicarão diferentes níveis ótimos para um determinado nutriente, em virtude dos diferentes parâmetros utilizados em suas equações (PESTI et al., 2009). Em estudos que utilizam da regressão PQ para determinação de níveis ótimos em dietas para aves, o modelo tende a superestimá-los, pois é um modelo muito sensível a variação entre os níveis testados, além de ser influenciado pelo número de níveis e pela localização dos mesmos nas diferentes fases da resposta animal (Inicial, resposta, estabilização e tóxica) frente ao aumento de um determinado nutriente da dieta (EUCLYDES & ROSTAGNO, 2001; SOUZA et al., 2014). No estudo realizado por Oliveira et al. (2016) é possível verificar que o nível ótimo estimado de lisina digestível para o GP em frangos de corte do tipo caipira na fase de crescimento foi superior no modelo PQ do que no modelo LRP, sendo de 10,08 e 9,36g de lisina digestível/kg, respectivamente. Resultado semelhante foi observado por Pinheiro et al. (2011) que avaliando níveis de cálcio em dietas para frangos de corte, estimaram como adequados os níveis de 0,95 para os modelos LRP e de 1,07% para PQ.

Para o período de crescimento, os resultados dos parâmetros de avaliação para indicação dos níveis ótimos para o GP indicaram que os modelos PQ e LRP apresentaram os melhores ajustes, indicando os menores valores para o AIC, enquanto para R<sup>2</sup> e SQR os resultados foram semelhantes entre si. Para a CA o modelo LRP também apresentou o

melhor ajuste dos dados com base nos menores valores de AIC. Em suma, o modelo LRP indicou para o período de crescimento o nível ótimo de 0,910% para o GP estimando o ganho máximo de 1432 g enquanto a PQ estimou o nível ótimo de 1030% com GP de 1432. O melhor ajuste para a CA foi com a PQ, indicando o nível de 1003% com CA de 1,61. Os níveis ótimos indicados neste estudo pelas regressões LRP e PQ para as variáveis de GP e CA resultaram um pouco acima do recomendado por Rostagno et al. (2017) que recomendam, para machos de desempenho médio no período de 22 a 33 dias de idade, uma exigência de metionina + cistina digestível de 0,832% para o máximo desempenho. Tavernari et al. (2014) indicaram que para o período de crescimento a exigência de Met+Cis digestível para o GP e CA em frangos de corte macho é de 0,790 e 0,751%, resultados obtidos por meio de regressões linear simples e PQ, respectivamente. Resultados similares também foram observados por Carvalho (2017) e Goulart et al. (2011) para o período de crescimento, no qual estimaram com auxílio da regressão PQ os níveis de Met+Cis digestível de 0,716 e 0,748%, respectivamente, como os mais adequados para o máximo desempenho de frangos de corte.

#### *4.1.2 Período final*

Entre as funções da metionina no metabolismo das aves está a síntese de proteína corporal, porém quando fornecida às aves dietas deficientes em metionina há o estímulo ao aumento da ingestão da ração, apesar de ser observada redução no GP e aumento na CA (CAREW et al., 2003; TESSERAUD et al., 2007), fato facilmente observado neste estudo no período final de produção. A diferença de apenas 6 gramas no GP entre os resultados observados entre os níveis 0,790 e 0,936%, sugere que a utilização do nível de 0,790%, portanto a redução de 0,146% na inclusão de Met+Cis digestível nas dietas, é suficiente para obtenção de bons resultados para as variáveis durante o período final, fato este observado também na CA. Resultado semelhante foi observado por Rostagno et al

(2017), que indicaram para machos de desempenho médio no período de 34 a 42 dias de idade, a exigência de metionina + cistina digestível de 0,750%. Para a indicação do nível ótimo para o GP e CA o modelo matemático LRP apresentou o melhor ajuste dos dados, apresentando o menor valor para o AIC, estimando para ambas as variáveis o nível ótimo de Met+Cis digestível de 0,820% com ganho máximo de 658 gramas e CA de 1,92.

Graficamente, observa-se que no período de 21 a 42 dias de idade os níveis crescentes de Met+Cis digestíveis influenciaram nas variáveis de GP e CA, observando que os melhores resultados foram obtidos com as aves alimentadas com os níveis mais altos de Met+Cis digestível, especialmente com o nível de 0,958%. Os níveis observados neste estudo foram superiores aos indicados por Nascimento et al. (2009) que reportaram o nível de Met+Cis digestível de 0,716% para frangos de corte da linhagem Isa Label para o período de 28 a 56 dias de idade, enquanto Carvalho (2017) estimou o nível de metionina + cistina digestível para frangos de corte machos para a fase de crescimento o nível de 0,716% para o máximo desempenho.

Observando os níveis recomendado de Met+Cis digestível na literatura nota-se que os níveis são inferiores aos reportados em todos os períodos avaliados neste estudo, tal fato justifica-se em virtude do potencial genético dos frangos de corte que aumentou significativamente nos últimos anos, necessitam de um maior aporte nutricional, principalmente dos aminoácidos, para máxima deposição proteica e para obtenção dos melhores resultados para os parâmetros de desempenho produtivo.

#### *4.2 Ingestão de metionina e eficiência de utilização*

A ingestão dos aminoácidos e sua eficiência nas dietas para frangos de corte são outros importantes parâmetros que devem ser observados, devendo ser evitados o excesso e a deficiência dos mesmos (SKLAN & PLAVNIK, 2002; BUTERI et al., 2009).

Nos períodos experimentais a maior IM não ocorreu em virtude do maior CR, mas sim, devido ao maior teor de inclusão do aminoácido nas dietas, ou seja, quanto maior foi a inclusão de Met+Cis digestível nas dietas maior foi a sua ingestão, independente do consumo, como também observados nos estudos de Nascimento et al. (2009) e Haese et al. (2012).

A metionina é considerada o principal aminoácido limitante na dieta das aves por participar de diversos processos metabólicos, sejam eles relacionados à exigência de manutenção ou para a síntese de proteína corporal (JANKOWSKI et. al, 2014). No presente estudo é possível observar que em todas as fases de produção os níveis mais baixos de inclusão de Met+Cis digestível apresentaram os maiores resultados para a EM. É provável que quando as dietas com deficiência de Met+Cis digestível foram ingeridas, estes aminoácidos foram rapidamente absorvidos e direcionados para garantir a manutenção do organismo dos animais, e suprida esta demanda o residual foi utilizado para a deposição de proteína corporal, justificando o fato das dietas com deficiências de Met+Cis digestível terem apresentado redução no GP (OLIVEIRA NETO, 2013). O oposto também foi observado, as dietas com os níveis mais altos de inclusão de Met+Cis digestível apresentaram os menores resultados da EM, apesar de terem apresentado os maiores resultados para o GP. Com base nos resultados obtidos na análise de desempenho zootécnico e realizada a derivada da equação da regressão PQ, a máxima EM para a fase de crescimento é obtida com o nível de 0,825% com eficiência de 67,53 g, enquanto para a fase final a máxima EM é obtida com o nível de 0,742% com eficiência de 66,61g.

#### *4.3 Rendimento de carcaças*

Entre as funções da metionina no metabolismo das aves está a síntese de proteína corporal (JANKOWSKI et. al, 2014), mas quando as aves são alimentadas com dietas com

deficiência de metionina há diminuição na formação de tecido magro, devido a redução no ganho de peso, além de promover aumento na deposição de gordura (CAREW et al., 2003; OLIVEIRA NETO, 2013). Neste estudo, as dietas com as menores inclusões de Met+Cis digestível resultaram em carcaças mais leves, com menor rendimento de peito e maior teor de gordura abdominal, enquanto o aumento na inclusão contribuiu positivamente para o rendimento da carcaça, peito e na redução do teor de gordura abdominal, sendo obtidos os melhores resultados com o nível de 0,902%. Realizando a derivada da equação da regressão PQ, os níveis adequados para o máximo rendimento de carcaça, peito e menor teor de gordura abdominal são 0,908, 0,958 e 0,944% com rendimentos de 79,901, 39,253 e 0,018% respectivamente. No estudo realizado por Carvalho (2017) não foi observado efeitos significativos para rendimento de peito e de gordura abdominal, apenas observado influência dos diferentes níveis de Met+Cis digestível para a variável de rendimento da carcaça, com a indicação do nível de 0,761%.

## 5. CONCLUSÃO

Os modelos PQ e LRP apresentaram o melhor ajuste dos dados no período de crescimento indicando os níveis ótimos de Met+Cis digestíveis para o GP de 1,030 e 0,910%, respectivamente, e de 0,910% para a CA. No período final e total o modelo LRP apresentou o melhor ajuste dos dados, estimando os níveis ótimos para GP e melhor CA de 0,820 e 0,870%, respectivamente.

## 6. REFERÊNCIAS

Buteri, C.B.; Tavernari, F. C.; Rostagno, H.S.; Albino, L. F.T. Exigência de lisina, planos nutricionais e modelos matemáticos na determinação de exigências de frangos de corte. **Acta Veterinaria Brasilica**, v.3, n.2, p.48-61, 2009.

Carew, L.B.; Mcurty, J.P.; Alster, F.A. Effects of methionine deficiency on plasma levels of thyroid hormones, insulin-like growth factor-I and -II, liver and body weights, and feed intake in growing chickens. **Poult. Sci.** 82:1932-1938. 2003

Carvalho, G.B. Níveis e fontes de metionina na nutrição de frangos de corte. Tese de Doutorado. **Escola de Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Goiás.** p.1-123. 2017.

Carvalho, D.C.O.; Albino, L.F.T.; Vargas Junior, J.G.; Toledo, R.S.; Oliveira, J. E.; Souza, R. M. Coeficiente de digestibilidade verdadeira dos aminoácidos e valores de aminoácidos digestíveis do milho submetido a diferentes temperaturas de secagem e períodos de armazenamento. **R. Bras. Zootec.**, v.38, n.5, p.850-856, 2009.

Cella, P. S.; Donzele, J. L.; Oliveira, R. F. M.; Albino, L. F. T.; Ferreira, A. S.; Gomes, P. C.; Valerio, S. R.; Apolonio, L. R. Níveis de lisina mantendo a relação aminoacídica para frangos de corte no período de 1 a 21 dias de idade, em diferentes ambientes térmicos. **Rev. Bras. Zootec.** v.30. 433-439, 2001.

Charnet, R.; Bonvino, H; Freire C. A. L; Charnet, E. M. R. Análise de modelos de regressão linear com aplicações. **Campinas, SP:** Unicamp, 1999.

Cobb-Vantress. Broiler Performance & Nutrition Supplement Cobb500. **Cobb Vantres.Com**, p.14, 2013.

Corzo A, Kidd M, Dozier W, Shack L, Burgess, S. Protein expression of pectoralis major muscle in chickens in response to dietary methionine status. **Brit. J. Nutr.**; 95:703-708, 2006.

Deponti, B.J.; Faria, D. E.; Filho, D.M.F.; Rombola, L. G.; Araujo, L. F. e Junqueira, O. M. Exigências de triptofano e padrão de recuperação do desempenho de poedeiras comerciais após alimentação com rações deficientes em triptofano. **R. Bras. Zootec.**, v.36, n.5, p.1324-1330, 2007

Emiliano, P. C.; Vivanco, M. J. F.; Menezes, F. S. M.; Avelar, F. G. Fundamentos e comparação de critérios de informação: Akaike and Bayesian. **Revista Brasileira Biomatemática**, v. 27, n. 3, p. 394-411, 2009.

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, p.462-470, 1997.

Euclides, R. F.; Rostagno, H. S. Estimativas dos níveis nutricionais via experimentos de desempenho. Nutrição de Aves e Suínos. In: **WORKSHOP LATINO-AMERICANO AJINOMOTO BIOLATINA**, Foz do Iguaçu, PR, p.77-88, 2001.

Goulart, CC.; Costa, FG.P.; Silva, J.H.V.; Souza, J.G.; Rodrigues, V.P.; Oliveira, C.F.S. Exigências de metionina + cistina digestível para frangos de corte de 1 a 42 dias de idade. **Rev. Bras. Zootec.** 40(4):797-803. 2011.

Haese, D.; Kill, J. L.; Haddade, I.R.; Saraiva, A.; Vitória, E.L.; Del Puppo, D. ; Souza, E. O. Exigência de lisina digestível e planos de nutrição para frangos de corte machos mantendo as relações metionina + cistina e treonina digestível na proteína ideal. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.3, p.538-544, mar, 2012

Jankowski J, Kubińska M, Zduńczyk Z. Nutritional and immunomodulatory function of methionine in poultry diets—a review. **Ann. Anim. Sci.**;14(1):17-32. 2014

Kraps, M.; Lamberson, W.R. Biostatistics for Animal Science. CABI Publishing.. 2004.

MACK, S.; BERCOVICI, D.; GROOTE, G. et al. Ideal amino acid profile and dietary lysine specification for broiler chickens of 20 to 40 days of age. **British Poultry Science**, v.40, p.257- 265, 1999.

Morris, T.R. The interpretation of response data from animal feeding trials. In: COLE, D.J.A.; HARESIGN, W. **Recent developments in poultry nutrition**. London:Butterworths.p.1-11. 1989

Nascimento, D.C.N.; Sakomura, N.S.; Siqueira, J.C.; Pinheiro, S.R.F.; Fernandes, J.B.K.; Furlan, R. L. Exigências de metionina + cistina digestível para aves de corte ISA Label criadas em semiconfinamento. **R. Bras. Zootec.**, v.38, n.5, p.869-878, 2009

Nunes, C.C.F.; Morais, A.R.; Muniz, J.A.; Sáfiadi, T. Variâncias do ponto crítico de equações de regressão quadrática. **Ciênc. agrotec.**, v. 28, n. 2, p. 389-396, mar./abr., 2004

Oliveira, R.G.; Pinheiro, S.R.F; Castro, M. R.; Abreu, L.R.A.; Pires, A.V.; Vieira, D.J.; Mota, L.F.M.; Miranda, J.A.; Rocha, G.M.F.; Costa, L.S. Dietary digestible lysine in free-range broiler chickens during the growth phase. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.68, n.3, p.733-738. 2016

Oliveira Neto, A. M. Avaliação de fontes de metionina em rações para frangos de corte em crescimento. Dissertação. **Universidade Federal de Viçosa**, Programa de Pós- Graduação em Zootecnia, P. 59. 2013

Oviedo-Rondón, E.O.; Waldroup, P.W. Models to estimate amino acid requirements for broiler chickens: a review. **International Journal of Poultry Science**, v.5, p.106-113, 2002.

Pack, M.; Hoehler, D.; Lemme, A. Economic assessment of amino acid responses in growing poultry. In: D'MELLO, J.P.F. (Ed.) Amino acids in animal nutrition. **Cambridge: CABI Publishing**, p.459-483. 2003.

Pesti, G.M.; Vedenov, D.; Cason J.A. & Billard, L. A comparison of methods to estimate nutritional requirements from experimental data. **British Poultry Science**, Cambridge,v. 50, p. 16-32, 2009

Pinheiro, S.R.F.; Sakomura, N.K.; Siqueira, J.C.; Marcato, S.M.; Dourado, L.R.B.; Fernandes, J.B.K.; Malheiros, E.B. Dietary calcium levels for ISA Label broilers raised in semi-confined system. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.63, n.1, p.231-238. 2011.

Portz, L.; Dias, C. T. S.; Cyrino, J. E. P. Regressão segmentada como modelo na determinação de exigências nutricionais de peixes. **Scientia Agricola**, v.57, n.4, p.601-607, 2000

Rezende, D. M. L. C; Muniz, J. A.; Ferreira, D. F.; Silva, F. F.; Aquino, L. H. Ajuste de modelos de platô de resposta para a exigência de zinco em frangos de corte. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 468-478, mar./abr., 2007

Rostagno, H. S.; Albino, L. F. T.; Donzele, J. L.; Gomes, P. C.; Oliveira, R. F.; Lopes, D. C.; Ferreira, A. S.; Barreto, S. L. T.; Euclides, R. F. Tabelas Brasileiras de Aves e Suínos. Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais. **Universidade Federal de Viçosa**. 2011

Rostagno, H.S.; Albino, L.F.T.; Hannas, M.I.; Donzele, J.L.; Oliveira, R.F.; Barreto, S.L.T.; Sakomura, N.K.; Perazzo, F.G., Saraiva, A.; Teixeira, M.L.; Rodrigues, P.B. & Brito, C.O. Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos – Composição de alimentos e exigências nutricionais. **Viçosa**, UFV. p 292. 2017

Sakomura, N.K.; Rostagno, H.S. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. Jaboticabal: Funep, p. 283. 2007

Silva, M.C.C.; Fontes, P.C.R.; Miranda, G.V. Modelos estatísticos para descrever a produtividade de batata em função da adubação nitrogenada. **Horticultura Brasileira** 25:360- 364. 2007

Siqueira, J.C.; Sakomura, N.K., Nascimento, D. C. N. e Fernandes, J.B.K. Modelos matemáticos para estimar as exigências de lisina digestível para aves de corte ISA Label. **Resvista Bras. Zootec.**, v.38, n.9, p.1732-1737, 2009.

Sklan D. & Plavnik I. Interactions between dietary crude protein and essential amino acid intake on performance in broilers. **Br. Poult. Sci.** 43:442-449. 2002.

Souza, F. A.; Malheiros, E. B.; Carneiro, P. R. O. Positioning and number of nutritional levels in dose-response trials to estimate the optimal-level and the adjustment of the models. **Ciência Rural**, v.44, n.7, p.1204-1209. 2014

Tavernari, F.C; Bernal, L.E.P.; Rostagno, H.S.; Albino, L.F.T; Vieira, R.A. Relação metionina + cistina / lisina digestível para frangos de corte cobb. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 61, n.2, p. 193-20, 2014.

TEAM, R. Core. R development core team. **RA Lang Environ Stat Comput** , v. 55, p. 275-286, 2013.

TEAM, RStudio et al. RStudio: integrated development for R. RStudio, **Inc., Boston, MA** URL <http://www.rstudio.com> , v. 42, p. 14, 2015.

Tesseraud, S.; Métayer-Coustard, S.; Boussaid, S.; Crochet, S.; Audouin, E.; Derouet, M.; Seilliez, I. Insulin and amino acid availability regulate atrogen-1 in avian QT6 cells. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* Vol. 357, p.181-186. 2007.

Wen C, Chen X, Chen GY, Wu P, Chen YP, Zhou YM, Wang T. Methionine improves breast muscle growth and alters myogenic gene expression in broilers. **J. Anim. Sci.**;92:1068-1073. 2014

Whitaker, H.M.A.; Mendes, A.A.; Garcia, E.A.; Roça, R.O.; Varolli Jr., J.C.; Saldanha, E.P.B. Efeito da Suplementação de Metionina Sobre o Desempenho e a Avaliação de Carcaças de Frangos de Corte. **Revista Brasileira de Ciência Avícola.** p. 1-9, v.4. 2002.

## CAPÍTULO II – DETERMINAÇÃO DO NÍVEL ÓTIMO DE ENERGIA METABOLIZÁVEL NO DESEMPENHO PRODUTIVO DE FRANGOS DE CORTE COM A UTILIZAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS.

### RESUMO

Na nutrição de frangos de corte a elaboração de dietas que atendam às exigências energéticas nas diferentes fases de produção é um fator importante a ser considerado. Deste modo, objetivou-se determinar com auxílio de modelos matemáticos o nível ótimo de energia metabolizável para frangos de corte em diferentes períodos de produção. Foram utilizados 900 frangos de corte machos Cobb 500, avaliados no período de 21 a 42 dias de idade. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com cinco tratamentos e nove repetições com 20 animais cada. As dietas experimentais foram à base de milho e farelo de soja, formuladas para atender as exigências nutricionais das aves, exceto para EM. Os tratamentos eram compostos por cinco dietas peletizadas/trituradas suplementadas com níveis crescentes de EM, sendo T1: 2850; T2: 2950; T3: 3050; T4: 3150 e T5: 3250 kcal/kg. Foram avaliados os períodos de crescimento (21 a 35 dias), final (36 a 42 dias) e período total (21 a 42 dias de idade). Foram avaliados consumo de ração (CR), ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA), consumo total de energia (CTE) e eficiência da utilização de energia dietética para o GP (EEGP). Para determinação do nível ótimo para CA foram utilizados os modelos matemáticos polinomial quadrática (PQ), segmentada e *linear response plateau* (LRP). Foram avaliados também rendimento da carcaça e dos cortes. Em todos os períodos avaliados o GP não foi influenciado pelo aumento nos níveis de energia metabolizável da dieta ( $p>0,05$ ), enquanto o CR e CA diminuíram linearmente com o aumento dos níveis de energia. O CTE aumentou com o incremento de energia das dietas nos períodos avaliados ( $p<0,05$ ). A EEGP piorou com a inclusão dos níveis crescente de energia das dietas ( $p<0,05$ ). O rendimento da carcaça e dos cortes não foi influenciado pelos diferentes níveis de inclusão de energia metabolizável das dietas ( $p>0,05$ ). Os níveis ótimos diferiram entre os diferentes modelos matemáticos, observando que o modelo matemático LRP apresentou o melhor ajuste dos dados nos períodos avaliados, estimando os níveis ótimos de energia metabolizável para a CA de 3182, 3224 e 3191 kcal/kg para os períodos de crescimento, final e total, respectivamente.

Palavras - chave: Desempenho produtivo, Energia metabolizável, *Linear response plateau*, Nível ótimo.

## **CHAPTER II - DETERMINATION OF OPTIMAL DIETARY LEVEL OF METABOLIZABLE ENERGY FOR GROWTH PERFORMANCE OF BROILERS USING DIFFERENT MATHEMATICAL MODELS**

### **ABSTRACT**

The formulation of diets that adequately meet energy requirements in the different phases of broiler production is of utter importance. The objective of this study was to determine the optimal level of metabolizable energy (ME) for broiler chickens in various production phases through the use of different mathematical models. A total of 900 broilers were distributed in a completely randomized design from 21 to 42 days of age, with 5 treatments and 9 replicates of 20 birds each. Experimental diets were based on corn and soybean meal and formulated to meet the nutritional requirements of broilers, except for ME requirements. Dietary treatments consisted on 5 pelleted/crushed diets supplemented with increasing levels of ME: 2,850 (T1); 2,950 (T2); 3,050 (T3); 3,150 (T4); and 3,250 kcal/kg (T5), divided into growth (21 to 35 days), final (36 to 42 days) and total (21 to 42 days) phases. Feed intake (FI), body weight gain (BWG), feed conversion ratio (FCR), total energy intake, efficiency of energy use for BWG, and carcass and cuts yields were measured. The ideal ME level for best FCR was determined with the use of quadratic polynomial, broken-line and linear response plateau models. In all evaluated periods, BWG was not influenced by ME levels, whereas FI and FCR linearly decreased linearly with increasing ME levels. Total energy intake increased and the energy use efficiency for BWG decreased with higher ME levels ( $P < 0.05$ ). Neither carcass nor cuts yields were influenced by the different ME levels. The ideal dietary ME levels differed between mathematical models; The linear response plateau model presented the best data adjustment for all the evaluated phases, estimating 3,182, 3,224 and 3,191 kcal/kg as ideal ME levels for best FCR on growth, final and total phases, respectively.

Key-words: Growth performance, Linear response plateau, Metabolizable energy, Optimal level.

## 1. INTRODUÇÃO

Com o avanço no melhoramento genético das linhagens comerciais de frangos de corte têm se observado animais com melhores características de desempenho produtivo e melhor qualidade de carcaça, porém mais exigentes quanto aos seus requerimentos nutricionais, demandando de dietas balanceadas que garantam o fornecimento adequado dos nutrientes. A energia, embora não seja um nutriente, é considerada um dos componentes fundamentais nas dietas (SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007), além de onerar o custo de formulação de ração (MENDES et al., 2004). A elaboração de dietas que atendam às exigências energéticas dos frangos de corte nas diferentes fases de produção é um fator importante a ser considerado, pois idade das aves é um dos parâmetros que interfere no aumento na digestibilidade dos alimentos, em virtude do maior desenvolvimento do trato digestório (MELLO et al., 2009), melhorando o aproveitamento dos nutrientes e energia.

Buscando programas nutricionais que visem a suplementação mais precisa dos nutrientes para as aves, os profissionais do setor avícola estão utilizando de ferramentas para auxiliá-los na elaboração das dietas, como os modelos matemáticos que são empregados para determinação de níveis nutricionais ótimos. Na avicultura, é observado que modelos lineares são frequentemente utilizados para esta finalidade (POMPEU et al., 2013; NUNES et al., 2015), por serem considerados modelos de fácil utilização nos programas estatísticos e interpretação dos resultados (OVIEDO-RONDÓN & WALDROUP., 2002; PACK et al.; 2003), podendo citar os modelos polinomial quadrático (PQ), *linear response plateau* (LRP) e segmentada.

O modelo de regressão PQ é um dos mais utilizados nas pesquisas do setor agropecuário, devido a simplicidade na realização dos cálculos e interpretação dos fenômenos biológicos (NUNES et al., 2004). Caracteriza por uma parábola, que pode ser

de ordem crescente ou decrescente, no gráfico da variável resposta em função da variável independente, indicando um ponto de máximo ou de mínima. O modelo de regressão LRP também é amplamente utilizado para determinação de níveis ótimos, o qual combina respostas lineares com pontos de platô. No modelo LRP a resposta do animal frente à adição de doses crescentes de nutrientes limitantes à dieta aumenta até atingir o ponto de platô, que a partir do qual a resposta ao incremento dos níveis é constante. Tanto o modelo LRP quanto a segmentada são descontínuos, ou seja, possuem após o ponto de “quebra ou ruptura” a formação de um novo segmento, porém no modelo segmentada pode apresentar como novo segmento a formação de uma nova reta, uma curva ou um platô, enquanto que no LRP há necessariamente a formação de um platô (PORTZ et al., 2000; SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007), sendo a segmentada também amplamente utilizado na nutrição animal para indicação de nível ótimo de um determinado nutriente da dieta (PORTZ et al., 2000).

Diante do exposto, objetivou-se com o auxílio de modelos matemáticos, determinar o nível ótimo de energia metabolizável em dietas para frangos de corte nos períodos de crescimento, final e experimental total.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi realizado após a aprovação do projeto pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA/CNPSA) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) Suínos e Aves.

### *2.1 Local, Animais e Alojamento*

O estudo foi conduzido na EMBRAPA Suínos e Aves, localizada no município de Concórdia, Santa Catarina, Brasil. Foram utilizados 900 pintos de corte machos, da

linhagem Cobb 500 (Cobb Brazil Ltda, São Paulo, Brasil) de um dia de idade. Os animais foram alojados em 45 boxes com 2,06 m<sup>2</sup> de área, equipados com um comedouro tubular, bebedouros tipo nipple, campânula e cama de maravalha. As aves receberam água e ração *ad libitum*. Termômetros de máxima e mínima foram utilizados para verificação da temperatura. As aves receberam iluminação contínua nas primeiras 24 horas de vida, diminuindo gradativamente a iluminação conforme Manual de Manejo de Frangos de Corte Cobb (COBB-VANTRESS, 2013). A temperatura ambiental foi mantida em 32°C no primeiro dia e reduzida até aproximadamente 18°C no dia 42 do experimento. As aves foram inspecionadas, sendo removidas as mortas e anotando-se a data, peso corporal e o tratamento a qual pertencia para posterior cálculo de mortalidade.

## *2.2 Delineamento e dietas experimentais*

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, composto de 5 tratamentos e 9 repetições, totalizando 45 unidades experimentais com 20 animais cada.

No período inicial de 1 a 21 dias de idade todos os tratamentos receberam a mesma dieta basal, e para o período experimental, compreendido entre as fases de crescimento (21 a 35 dias) e final (36 a 42 dias) foram formuladas dietas com níveis crescentes de energia metabolizável (EM) para as aves. As dietas experimentais foram à base de milho e farelo de soja, formuladas para atender as exigências nutricionais das aves, exceto para EM. Propositamente, não foi realizado o ajuste entre os níveis de energia e proteína das dietas que receberam a suplementação energética, a fim de garantir que todos os tratamentos apresentassem os mesmos níveis nutricionais dos demais nutrientes das dietas, diferenciando apenas os níveis de energia metabolizável.

As dietas foram peletizadas, sendo utilizado uma peletizadora (model Koppers Júnior C40, CPM, Brazil) com capacidade de 3 toneladas/hora operando com pressão de 2.4

kgf/cm<sup>2</sup> e condicionada a uma temperatura de 68-70°C por 15 segundos. Após o processo de peletização as dietas foram trituradas para redução do tamanho de partículas a serem fornecidas as aves.

Os tratamentos eram compostos por cinco dietas suplementadas com níveis crescentes de EM, sendo 2850, 2950, 3050, 3150 e 3250 kcal/kg, conforme observado na Tabela 1.

Tabela 1. Composição percentual e nutricional das dietas experimentais

Ingredientes	Crescimento					Final				
	Níveis de EM (kcal/kg)					Níveis de EM (kcal/kg)				
	2850	2950	3050	3150	3250	2850	2950	3050	3150	3250
Milho (7.5%)	56,00	56,00	56,00	56,00	56,00	59,04	59,04	59,04	59,04	59,04
Farelo de soja (45%)	33,13	33,13	33,13	33,13	33,13	31,08	31,08	31,08	31,08	31,08
Óleo de soja	2,34	3,48	4,61	5,75	6,89	1,76	2,90	4,03	5,17	6,31
Inerte	5,00	3,86	2,73	1,59	0,45	5,00	3,86	2,73	1,59	0,45
Fosfato bicalcico <sup>1</sup>	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Calcário <sup>2</sup>	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
Sal	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
DL-Metionina	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
Adsorvente de micotoxinas	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
L-Lisina	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
Premix vitamínico <sup>3</sup>	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Premix mineral <sup>4</sup>	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
L-Treonina	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Colina	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Antoxidante (BHT)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Coccidiostático <sup>5</sup>	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	-	-	-	-	-
Colistina <sup>6</sup>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-	-	-	-	-
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Composição nutricional calculado										
ME, kcal/kg	2850	2950	3050	3150	3250	2850	2950	3050	3150	3250
PB, %	19,19	19,19	19,19	19,19	19,19	18,46	18,46	18,46	18,46	18,46
Ca, %	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
P dig, %	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
P total, %	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54

<sup>1</sup> Cálcio: mínimo: 210g/kg, máximo 250g/kg; Fósforo: 180g/kg;

<sup>2</sup> Cálcio: mínimo 33%;

<sup>3</sup> Níveis de garantia por kg de produto: Vitamina A: 9,000,000 IU, Vitamina D3: 2,500,000 IU, Vitamina E: 20,000 IU, Vitamina K3: 2,500mg, Vitamina B1: 1,500mg, Vitamina B2: 6,000mg, Vitamina B2: 6,000mg, Vitamina B6: 3,000mg, Vitamina B12: 12,000mcg, Ácido pantotênico: 12g, Niacina: 25g, Ácido Fólico: 800mg, Biotina: 60mg, Selênio: 250mg.

<sup>4</sup> Níveis de garantia por kg de produto: Cobre: 20g, Ferro: 100g, Manganês: 160g, Cobalto: 2,000mg, Iodo: 2,000mg, Zinco: 100g.

<sup>5</sup> Monensina Sódica (Coban, Elanco)

<sup>6</sup> Colistin 4800 WSP (Kepron).

### *2.3 Desempenho zootécnico*

Com 21 dias de idade todas as aves foram pesadas individualmente para dar início ao período experimental. O peso médio das aves no início do experimento foi de  $901 \pm 21$  gramas. Para avaliação de ganho de peso (GP) todas as unidades experimentais foram pesadas nos dias 21, 35 e 42 do experimento. Semanalmente foram pesadas as ofertas e as sobras de ração para a determinação do consumo de ração (CR). A conversão alimentar (CA) foi calculada sendo a relação entre CR e GP. Foi calculado o consumo total de energia (CTE) em cada período. A razão entre a ingestão de energia dietética e o GP foi calculada para determinar a eficiência da utilização de energia dietética (EEGP) sendo expressa como ingestão de calorias por grama de ganho de peso corporal (GOPINGER et al., 2017).

### *2.4 Rendimento de Carcaça*

Aos 42 dias de vida, duas aves por unidade experimental, totalizando 90 aves, foram devidamente identificadas e pesadas. Os animais foram abatidos, sendo eletricamente atordoados e sangrados após jejum de 12 horas. As aves foram depenadas, evisceradas e armazenadas por 24 horas em câmara de resfriamento ( $0 - 5^{\circ}\text{C}$ ). Após resfriadas as carcaças foram pesadas e realizados os cortes para o rendimento de carcaça, peito e gordura abdominal. O rendimento de carcaça foi calculado como o peso da carcaça resfriada em relação ao peso vivo e o rendimento das demais partes calculadas em relação ao peso de carcaça resfriada e expressos em percentagem.

## 2.4 Análise Estatística

Inicialmente as pressuposições de normalidade (Shapiro Wilk) e homocedasticidade (Levine) foram testadas e atendidas. As análises estatísticas foram conduzidas no RStudio para linguagem R (TEAM, R., 2013; RStudio TEAM, et al., 2015). As variáveis de desempenho e rendimento de carcaça foram submetidas às análises de regressão linear simples (L) e polinomial quadrática (PQ) considerando como significativo  $P < 0,05$ .

Para determinação do nível ótimo da energia metabolizável os dados foram ajustados utilizando os modelos de regressões PQ e *linear response plateau* (LRP) (pacote *easyreg*) e segmentada (pacote *segmented*), sendo considerada a CA como variável dependente e os níveis de energia metabolizável como variável independente. Para avaliação da similaridade ou diferença no comportamento dos modelos matemáticos com a regressão linear simples foi realizada análise de variância, sendo considerado significativo  $P < 0,05$ .

As fórmulas consideradas foram:

1. Regressão linear simples (L):  $y = \beta_0 + \beta_1 X$ , sendo: Y = variável dependente; x = é a concentração de energia metabolizável da dieta,  $\beta_0$  = intercepto,  $\beta_1$  = coeficiente angular da reta.
2. Regressão polinomial quadrática (PQ):  $y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2$ , sendo: Y = variável dependente; x = é a concentração da energia metabolizável da dieta,  $\beta_0$  = intercepto,  $\beta_1$  = coeficiente angular,  $\beta_2$  = coeficiente quadrático. A determinação do nível ótimo é obtida por:  $-\beta_1 / (2 \times \beta_2)$ .
3. Regressão *linear response plateau* (LRP):  $Y = \beta_0 + \beta_1 (X - V)$ , se  $(X \leq V)$ , em que  $\beta_0$  é intercepto da resposta máxima,  $\beta_1$  é a inclinação da reta antes do ponto de quebra e  $(X \leq V)$  é uma expressão booleana, de forma que:  $(X \leq V) = 1$  somente se X, a concentração da energia metabolizável na dieta, for menor ou igual a V,

concentração da energia metabolizável no ponto de quebra da função.  $(X \leq V) = 0$  se  $X$  maior que  $V$ .

4. Regressão segmentada:  $Y = \beta_0 + \beta_1 X \cdot (X \leq V) + (\beta_1 V + \beta_2 \cdot (X - V)) \cdot (X > V)$ , em que  $\beta_0$  é intercepto,  $\beta_1$  é a inclinação da reta antes do ponto de quebra,  $\beta_2$  é a inclinação da reta após o ponto de quebra. Os termos  $(X \leq V)$  e  $(X > V)$  são expressões booleanas, de forma que:  $(X > V) = 1$  somente se  $X$ , a concentração da energia metabolizável na dieta, for maior que  $V$ , concentração da energia metabolizável no ponto de quebra da função.  $(X > V) = 0$  se  $X$  menor que  $V$ . Da mesma forma,  $(X \leq V) = 1$  somente se  $X$  menor ou igual a  $V$  e  $(X \leq V) = 0$  se  $X$  maior que  $V$ .

Os parâmetros de avaliação utilizados para escolha do modelo que promova o melhor ajuste dos dados foram:

- Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) que indica o quanto da variável dependente é explicada pelo modelo de regressão, sendo o valor do coeficiente pertencente ao intervalo entre 0 a 1, que quanto mais próximo de 1 melhor foi o ajuste dos dados ao modelo (CHARNET et al., 1999),
- Critério de informação de Akaike (AIC) que é uma medida relativa da qualidade dos ajustes de um modelo estatístico, oferecendo numericamente as informações perdidas quando um modelo é utilizado para descrever a realidade de um fenômeno, considerando o mais adequado àquele que apresentar a menor valor para o parâmetro (EMILIANO et al., 2009)
- Soma dos quadrados dos resíduos (SQR) que é uma medida que corresponde à variação da variável resposta que não é explicada pelo modelo, considera-se como adequado o modelo que apresentar a menor SQR (SILVA et al., 2007; SIQUEIRA et al., 2009).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Desempenho zootécnico

Os valores médios para os parâmetros de desempenho zootécnico para os períodos de 21 a 35, 36 a 42 e 21 a 42 dias de idade estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Desempenho zootécnico de frangos de corte alimentados com diferentes níveis de inclusão de energia metabolizável nos períodos compreendidos entre 21 a 42 dias de idade.

Períodos (dias)	Variáveis	Níveis de Energia Metabolizável (kcal/kg)					SEM	P-valor	
		2850	2950	3050	3150	3250		L	PQ
21 a 35	CR (g) <sup>1</sup>	2330	2245	2187	2160	2148	15,077	0,001	0,070
	GP (g)	1409	1392	1396	1394	1393	12,078	0,450	0,558
	CA (g:g) <sup>2</sup>	1,668	1,615	1,571	1,538	1,532	0,009	0,001	0,084
	CTE (kcal) <sup>3</sup>	6641	6623	6672	6806	6981	46,201	0,001	0,001
	EEGP (kcal:g) <sup>4</sup>	4,737	4,746	4,790	4,846	4,980	0,028	0,001	0,101
36 a 42	CR (g) <sup>5</sup>	1561	1486	1474	1442	1397	13,274	0,001	0,403
	GP (g)	761	735	738	752	746	10,891	0,756	0,218
	CA (g:g) <sup>6</sup>	2,066	2,050	1,999	1,939	1,872	0,021	0,001	0,155
	CTE (kcal) <sup>7</sup>	4451	4384	4494	4542	4540	40,356	0,013	0,662
	EEGP (kcal:g) <sup>8</sup>	5,888	6,049	6,159	6,060	6,105	0,069	0,047	0,092
21 a 42	CR (g) <sup>9</sup>	3912	3764	3639	3554	3553	26,508	0,001	0,098
	GP (g)	2170	2126	2137	2127	2143	16,008	0,284	0,105
	CA (g:g) <sup>10</sup>	1,803	1,775	1,717	1,672	1,647	0,009	0,001	0,290
	CTE (kcal) <sup>11</sup>	11150	11104	11100	11196	11483	80,343	0,025	0,015
	EEGP (kcal:g) <sup>12</sup>	5,158	5,212	5,228	5,266	5,359	0,028	0,001	0,420

CR: consumo de ração, GP: ganho de peso, CA: conversão alimentar, CTE: consumo total de energia, EEGP: eficiência da energia quando ao ganho de peso, SEM: erro padrão da média, L: regressão linear simples, PQ: regressão polinomial quadrática.

<sup>1</sup>CR:  $2348,7 - 44,9x$ ; ( $R^2$ : 0,90)

<sup>2</sup>CA:  $1,6895 - 0,0349x$ ; ( $R^2$ : 0,94)

<sup>3</sup>CTE:  $6721,2 - 115,56x + 33,643x^2$ ; ( $R^2$ : 0,99)

<sup>4</sup>EEGP:  $4,644 + 0,0586x$ ; ( $R^2$ : 0,87)

<sup>5</sup>CR:  $1583,6 - 37,2x$ ; ( $R^2$ : 0,94)

<sup>6</sup>CA:  $2,1349 - 0,0499x$ ; ( $R^2$ : 0,96)

<sup>7</sup>CTE:  $4381,4 + 33,6x$ ; ( $R^2$ : 0,64)

<sup>8</sup>EEGP:  $5,9187 + 0,0445x$ ; ( $R^2$ : 0,48)

<sup>9</sup>CR:  $3962,8 - 92,8x$ ; ( $R^2$ : 0,91)

<sup>10</sup>CA:  $1,8473 - 0,0415x$ ; ( $R^2$ : 0,98)

<sup>11</sup>CTE:  $11362 - 252,49x + 54,714x^2$ ; ( $R^2$ : 0,98)

<sup>12</sup>EEGP:  $5,1078 + 0,0456x$ ; ( $R^2$ : 0,93)

Durante todos os períodos experimentais (21 a 35, 36 a 42 e 21 a 42 dias de idade) as variáveis de CR, GP, CA, CTE e EEGP comportaram-se de forma semelhante, sendo

que o GP não foi influenciado pelo aumento nos níveis de energia metabolizável da dieta, não apresentando efeito significativo ( $p>0,05$ ), enquanto CR, CA e EEGP apresentaram comportamento linear ( $p<0,05$ ). O CR e a CA diminuíram linearmente com o aumento dos níveis de energia e para a EEGP houve aumento linear com a inclusão crescente dos níveis de energia das dietas. Para o CTE foi observado efeito quadrático para os períodos de crescimento e total, e linear para o período final. Nos períodos de crescimento e total houve redução no consumo de energia entre os tratamentos 2950 e 3050 kcal/kg, posteriormente aumentando expressivamente a ingestão de energia nos tratamentos com os níveis de 3150 e 3250 kcal/kg. No período final, a variável aumentou linearmente com o aumento dos teores de energia da dieta.

### 3.2 Rendimento de Carcaça

Não houve efeito dos diferentes níveis de inclusão de energia metabolizável das dietas sobre as variáveis de rendimento de carcaça ( $p>0,05$ , Tabela 3).

Tabela 3. Rendimento de carcaça de frangos de corte alimentados com níveis crescentes de energia metabolizável no período de 21 a 42 dias de idade.

Variáveis (%)	Níveis de Energia Metabolizável (kcal/kg)					SEM	P-valor	
	2850	2950	3050	3150	3250		L	PQ
R. Carcaça	80,99	80,58	80,07	80,84	80,09	0,345	0,159	0,643
R. Peito	34,76	34,66	34,50	34,70	33,71	0,438	0,141	0,383
R. Coxa+Scoxa	28,89	29,08	29,12	29,15	29,28	0,218	0,213	0,874
R. Gordura abd.	1,37	1,42	1,52	1,54	1,48	0,097	0,261	0,428

SEM: erro padrão da média, L: regressão linear simples, PQ: regressão polinomial quadrática.

### 3.3 Determinação de nível ótimo para a CA

As indicações dos níveis ótimos de energia metabolizável para CA nos períodos avaliados estão apresentadas na tabela 4.

No período de crescimento, os níveis ótimos indicados para a CA foram de 3264, 3105 e 3182 kcal/kg para as regressões PQ, segmentada e LRP, respectivamente. Avaliando o ajustamento dos dados foram obtidos resultados semelhantes para os parâmetros de avaliação  $R^2$  e SQR entre os modelos matemáticos, diferenciando apenas no parâmetro AIC, apresentando os menores valores para as regressões PQ e LRP.

Tabela 4. Determinação de nível ótimo da energia metabolizável em dietas de frangos de corte no período de 21 a 42 dias de idade para conversão alimentar por diferentes modelos matemáticos.

Período (Dias)	Modelos	Equação	Parâmetros de avaliação			Nível ótimo
			AIC	$R^2$	SQR	
21-35	PQ	$10.040946 + (-0.005214)*X + (0,000000799)*X^2$	-187,93	0,80	0,03	3264
	Segmentada	$3.04430 + (-0.00048)*X*(X \leq 3105) + (-0.00048*3105 + (0.00043*(X-3105)) * (X > 3105))$	-185,31	0,80	0,03	3105
	LRP	$1.51527 + (-0.000453)*(X - 3182), \text{ se } X \leq 3182$	-187,06	0,80	0,03	3182
36-42	PQ	$(-5.836284) + (0.005609)*X + (-0,000001)*X^2$	-111,40	0,74	0,04	2814
	Segmentada	$2.06881 + (-0,000006)*X*(X \leq 2963) + (-0,000006*2963 + (-0.00061*(X-2963)) * (X > 2963))$	-114,40	0,74	0,04	2963
	LRP	$1.893919 + (-0,0005)*(X - 3224), \text{ se } X \leq 3224$	-115,57	0,74	0,04	3224
21-42	PQ	$4.815306 + (-0.001627)*X + (0,000000199)*X^2$	-170,59	0,85	0,03	4069
	Segmentada	$3.03420 + (-0.000432)*X*(X \leq 3153) + (-0.000432 * 3153 + (0.00013 *(X-3153)) * (X > 3153))$	-168,66	0,85	0,03	3153
	LRP	$1.650747 + (-0.000431)*(X - 3191), \text{ se } X \leq 3191$	-170,66	0,85	0,02	3191

PQ: Polinomial quadrática, LRP: Linear response plateau, AIC: Critério de informação de Akaike,  $R^2$ : Coeficiente de determinação, SQR: Soma dos quadrados dos resíduos.

No período final, os níveis ótimos estimados pelas regressões PQ, segmentada e LRP para a CA foram de 2814, 2963 e 3224 kcal/kg, respectivamente. Quanto aos parâmetros de avaliação, se observou resultados semelhantes entre os modelos para o  $R^2$  e SQR, entretanto o menor valor de AIC foi observado na regressão LRP.

No período experimental total, os níveis ótimos indicados para a CA foram de 4069, 3153 e 3191 kcal/kg para os modelos de regressões PQ, segmentada e LRP, respectivamente. Os valores de  $R^2$  e SQR foram semelhantes entre os modelos, e os menores valores de AIC foram obtidos para as regressões PQ e LRP.

O comportamento dos modelos matemáticos apresentou-se diferente estaticamente do modelo linear simples ( $p < 0,05$ ) nos períodos de crescimento e final, porém no período total apenas o modelo LRP apresentou diferença estatística ( $p < 0,05$ ), enquanto os modelos de regressão PQ e segmentada apresentaram comportamento semelhante a regressão linear simples ( $p > 0,05$ ).

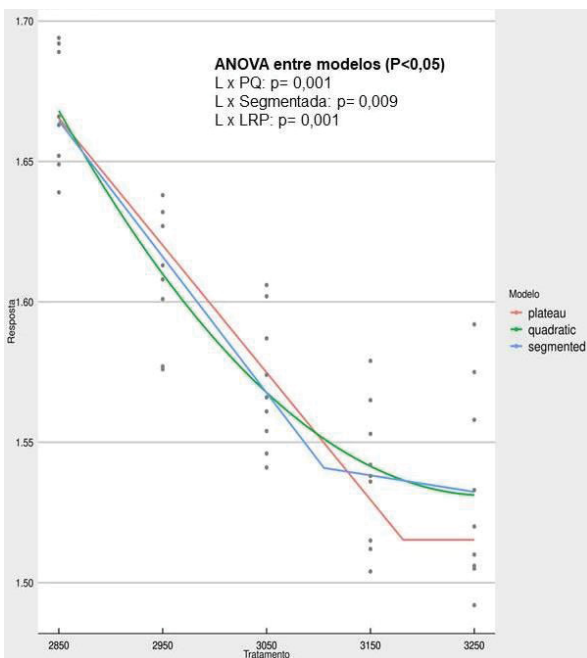


Gráfico 1: gráfico do comportamento dos modelos matemáticos sobre a CA no período de 21 a 35 dias.

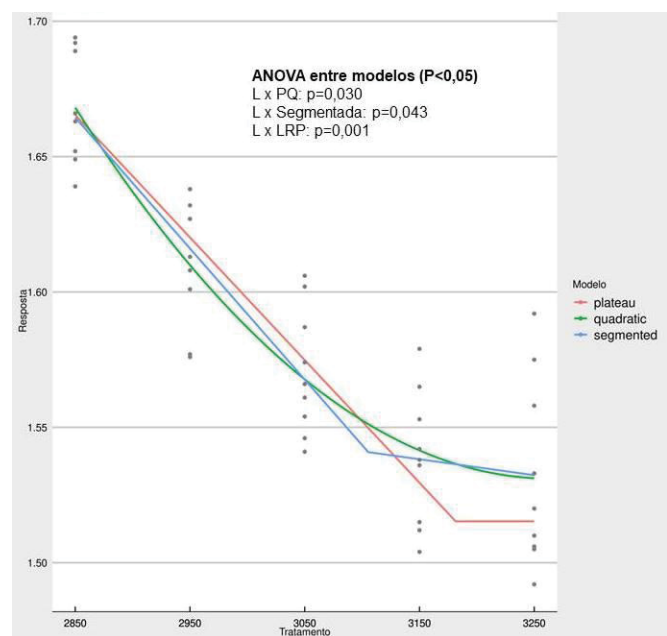


Gráfico 2: gráfico do comportamento dos modelos matemáticos sobre a CA no período de 36 a 42 dias.

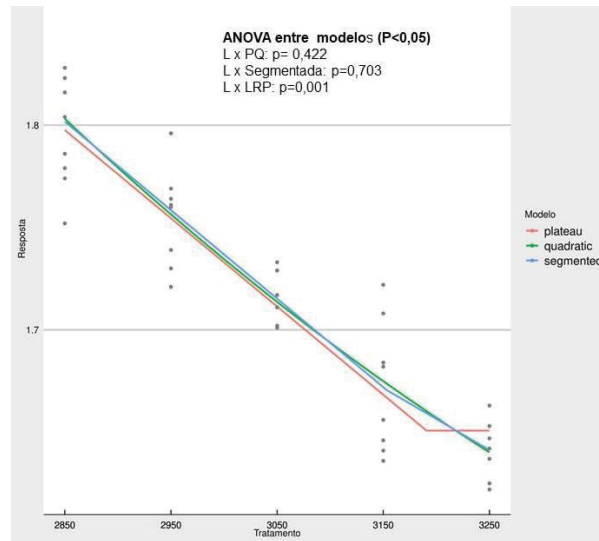


Gráfico 3: gráfico do comportamento dos modelos matemáticos sobre a CA no período de 21 a 42 dias.

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1 Desempenho zootécnico e nível ótimo de energia metabolizável

A ingestão de alimentos pelas aves pode ser regulada por diversos fatores, tais como fisiológicos, ambientais e nutricionais, e dentre os fatores nutricionais destaca-se os níveis de energia metabolizável da dieta. No presente estudo observa-se em todos os períodos avaliados que o CR foi influenciado pelos níveis energéticos das dietas, ocorrendo redução de ingestão com a maior inclusão de energia metabolizável. Esse efeito no CR é justificado considerando que o animal pode regular o consumo em função da densidade energética da dieta observando redução no CR quando os níveis estiverem acima do recomendado e aumento no CR quando os níveis estiverem abaixo das necessidades do animal (BARBOSA et al, 2008; NASCIMENTO et al, 2011; GOPINGER et al., 2017). Este comportamento foi observado também por Ferreira et al. (2015) que, avaliando seis níveis crescentes de energia metabolizável (2800, 2900, 3000, 3100, 3200 e 3300 kcal/kg) em dietas para frangos de corte machos e fêmeas no período de 1 a 42 dias de idade,

observaram que independente do sexo das aves houve redução no CR com o aumento dos níveis energéticos da dieta, assim como também reportado por Alvarenga et al. (2011) que observaram redução no CR quando as aves foram alimentadas como os níveis mais altos de energia metabolizável aparente. Para a variável CTE observou-se nos períodos avaliados aumento na ingestão de energia com o incremento dos níveis de energia metabolizável da dieta. O aumento no CTE com os maiores níveis é justificado devido ao maior teor de inclusão de energia das dietas, ou seja, quanto maior a inclusão de energia metabolizável nas dietas maior foi a sua ingestão energética, mesmo ocorrendo redução de ingestão de ração de 182 g, 164 g e 359 g entre os tratamentos com as dietas com a menor inclusão (2850 kcal/kg) e a maior (3250 kcal/kg) de energia metabolizável nos períodos de crescimento, final e total, respectivamente. Esperava-se que com o aumento na quantidade de ração consumida pelas dietas com os menores teores energéticos seria possível igualar-se na quantidade de energia ingerida em relação às dietas com os maiores teores energéticas, porém isto não ocorreu possivelmente em virtude da limitação gástrica.

Em todos os períodos é possível observar que a menor ingestão de energia ocorreu com o tratamento de 2950 kcal/kg e não com o menor nível de 2850 kcal/kg, podendo estar relacionado com a diminuição brusca no CR entre os níveis de 2850 e 2950 Kcal/kg, com redução no CR de 85, 75 e 148 gramas entre nos períodos de crescimento, final e total, respectivamente, este fato não ocorreu entre os demais tratamentos, os quais apresentaram redução média de 32, 27 e 70 gramas entre si, nas fases de crescimento, final e total, deste modo, podendo ter contribuído para a ocorrência da menor ingestão de energia do tratamento de 2950 Kcal/kg.

Apesar de ser relatado por diversos autores (ARAÚJO et al., 2005; MOREIRA et al., 2012; SAVOLDI et al., 2012; ZHAO & KIM, 2017) que o aumento dos níveis energéticos das dietas favorece o GP, neste estudo não foi observado influência dos níveis de energia

metabolizável nas diferentes fases de produção para o GP. Resultados semelhantes foram observados por Alvarenga et al. (2011), Duarte et al. (2012) e Rodríguez et al. (2016) que também não obtiveram diferença no GP dos frangos de corte quando foram alimentados com diferentes níveis energéticos da dieta.

A variável EEGP comportou-se de maneira semelhante entre os períodos avaliados, piorando com o aumento dos níveis de energia da dieta. O fato de não ter sido observado diferença no GP entre os tratamentos, mas ter sido verificado maior consumo energético dos tratamentos com as maiores inclusões de energia metabolizável resultou na redução da eficiência para o GP, principalmente para as dietas com os níveis de 3150 e 3250 kcal/kg. Nas dietas com os maiores níveis energéticos houve provavelmente o desbalanço entre a relação energia e proteína, acarretando na falta principalmente dos aminoácidos utilizados para a síntese proteica, deste modo, limitando o crescimento de tecido magro (DUARTE et al., 2007), fato que pode ter contribuído para não ter sido observado maior GP entre as aves alimentadas com as dietas mais energéticas. Portanto, demonstrou-se neste estudo que as aves que foram alimentadas com dietas com os teores mais baixos de energia metabolizável foram mais eficientes na utilização da energia, pois utilizaram menos energia por grama de GP corporal.

Na produção de frangos de corte a CA é um dos parâmetros zootécnicos de maior relevância, devido a sua importância econômica para o setor. Tem sido demonstrado na literatura os efeitos positivos do aumento dos níveis energéticos das dietas para as aves no desempenho produtivo, em especial para a CA (DOZIER et al., 2011). Na análise de desempenho produtivo, em todos os períodos avaliados, a CA melhorou com o aumento dos níveis de energia metabolizável, em virtude do menor consumo das dietas, apesar de ter apresentado a pior eficiência no uso da energia com os níveis mais energéticos. Resultados semelhantes foram reportados por Abudabos et al. (2014), que avaliando níveis

crescentes de energia (2925, 2950, 2975 e 3000 kcal/kg) na dieta de frangos de corte no período de 1 a 35 dias de idade, observaram os melhores resultados para a CA quando as aves foram alimentadas com os níveis mais altos de energia da dieta, assim como observado por Ge et al. (2019) que avaliando o desempenho de frangos de corte no período inicial, suplementados com dois níveis energéticos na dieta (2940 e 3030 kcal/kg) relataram que a melhor CA foi observada nas aves que foram alimentadas com a dieta com o maior teor de energia.

Determinando o nível ótimo de energia metabolizável para obtenção dos melhores resultados para a CA observou-se em todos os períodos avaliados que a indicação dos níveis energéticos adequados diferiu entre os modelos matemáticos, sendo este resultado já esperado, pois em virtude dos diferentes parâmetros utilizados em suas equações os modelos indicarão níveis ótimos distintos, apesar de utilizarem o mesmo banco de dados (PESTI et al., 2009). Alguns modelos podem ser mais sensíveis à variação dos dados, como o caso do modelo PQ em que o número de níveis testados e a localização dos níveis nas diferentes fases da resposta animal (inicial, resposta, estabilização e tóxica) ao aumento de um nutriente na dieta, influenciam diretamente na determinação do nível ótimo, geralmente tendendo a superestima-lo (EUCLYDES & ROSTAGNO, 2001; SOUZA et al., 2014). Os modelos descontínuos, como por exemplo LRP e segmentada, o número de níveis apresenta menor impacto na indicação dos níveis ótimos, porém sendo influenciados pela posição dos níveis nas diferentes fases da resposta animal, apresentando resultados mais confiáveis quando os níveis testados encontram-se próximos do verdadeiro requerimento, encontrando-se principalmente nas fases de resposta e estabilização (SOUZA et al., 2014). Neste estudo observa-se que nos períodos de crescimento e experimental total o modelo de regressão PQ manteve seu comportamento indicando os maiores níveis ótimo para a CA quando comparado aos demais modelos matemáticos avaliados, reforçando uma de

suas características que é a superestimação dos níveis. Na fase de crescimento, os modelos matemáticos que apresentaram o melhor ajuste dos dados foram os modelos PQ e LRP, indicando os menores valores para AIC, entretanto para os parâmetros de avaliação  $R^2$  e SQR os resultados foram semelhantes entre todos os modelos. Os níveis ótimos de energia metabolizável preditos pelos modelos PQ e LRP foram de 3264 e 3182 kcal/kg indicando a CA ótima de 1,53 e 151, respectivamente. Observa-se que o modelo o LRP determinou o nível ótimo dentro do intervalo dos níveis testados, enquanto o PQ apresentou o nível um pouco acima dos avaliados neste estudo, indicando que no modelo PQ houve aumento no grau da curvatura da variável resposta para a predição do nível ótimo, deste modo, resultando em um nível acima dos avaliados. O nível ótimo indicado pelo modelo LRP, aproximou-se do nível recomendado por Rostagno et al. (2017) que indicam para machos de desempenho médio no período de 22 a 33 dias de idade o nível de energia metabolizável de 3150 kcal/kg para o máximo desempenho produtivo. Assim como reportado por Rodríguez et al. (2016) que avaliando quatro nível de energia metabolizável (3040, 3080, 3120 e 3160 kcal/kg) observaram que a melhor CA em frangos de corte nos períodos de crescimento e final foi obtida com 3120 kcal/kg.

No período final, os resultados dos parâmetros de avaliação  $R^2$  e SQR foram semelhantes entre todos os modelos, diferenciando apenas nos valores de AIC, observando que o modelo matemático que realizou o melhor ajustamento dos dados apresentando o menor valor de AIC foi o LRP indicando o nível ótimo de 3224 kcal/kg sugerindo uma CA ótima de 1,89. O resultado obtido neste estudo mostrou-se muito próximo ao indicado por Rostagno et al. (2017) que recomendam o nível de energia metabolizável de 3200 kcal/kg para frangos de corte machos de desempenho médio no período de 34 a 42 dias de idade.

Avaliando o comportamento dos modelos matemáticos testados em relação à regressão linear simples, pois na análise de desempenho produtivo foi observado que a CA apresentou comportamento linear decrescente em todos os períodos avaliados, é possível observar nas fases de crescimento e final que os modelos PQ, LRP e segmentada mostraram-se diferentes estatisticamente da regressão linear simples, o que indica que os modelos testados podem ser adequadamente utilizados para determinação dos níveis ótimos, já que no modelo linear simples isto não é possível, pois a mesma é caracterizada por uma reta, que representa um conjunto de pontos que seguem uma única direção, sem a ocorrência de alteração em seu ângulo (MARTINS, 2019), não havendo pontos de “quebra” ou “ruptura”, deste modo, não sendo utilizada para predição de níveis ótimos.

Avaliando todo o período experimental (21 a 42 dias), os modelos matemáticos que realizaram o melhor ajuste dos dados foram o PQ e LRP, apresentando os melhores valores para AIC, enquanto os demais parâmetros de avaliação foram semelhantes entre todos os modelos. Os níveis ótimos de energia metabolizável indicado pelos modelos PQ e LRP foram de 4069 e 3191 kcal/kg com a indicação de CA ótima de 1,51 e 1,65, respectivamente. Como já observado no período de crescimento, o modelo PQ conseguiu se ajustar aos dados, porém aumentando a curvatura da variável resposta para além dos níveis testados, implicando na indicação de um nível ótimo muito superior aos avaliados, além de indicar uma CA abaixo do encontrado na literatura e nos manuais de linhagens para o período (FERREIRA et al., 2015; GOPINGER et al., 2017), podendo ser comercialmente um valor dificilmente alcançado a campo. Diferentemente da CA ótima indicada pela regressão LRP que se aproximou da CA estimada para aves aos 42 dias de idade pelo manual da linhagem Cobb 500® que é de 1,61 (COBB-VANTRESS, 2013). Apesar de considerar as diferenças entre os modelos matemáticos, procura-se em estudos de determinação de níveis ótimos estimar o nível dentro do intervalo dos níveis testados,

demonstrando, deste modo, que o PQ pode não ser o modelo mais adequado ao estudo. Quando se utiliza de modelos matemáticos para a determinação de nível ótimo de um componente da dieta é importante considerar os parâmetros estatísticos, contudo, é igualmente importante conciliar os resultados obtidos com os fatores biológicos e econômicos na nutrição animal, o que nos sugere indicar que no período de 21 a 42 dias de idade o nível ótimo de energia metabolizável indicado pela PQ mostrou-se incompatível com os níveis de energia utilizados atualmente na nutrição de frangos de corte, tornando-se inviável biologicamente a suplementação de dietas para frangos de corte para o período. Outro fator a ser observado é a diferença de 878 kcal/kg entre os modelos PQ e LRP, o que implicaria em maior custo econômico com as dietas caso optasse pela indicação de nível ótimo da PQ, lembrando que a energia é um dos componentes das dietas que mais onera o custo das formulações de ração (MENDES et al., 2004). Reforçando ainda os resultados observados, o modelo PQ apresentou o comportamento semelhante à regressão linear simples, sendo graficamente observado que no intervalo dos níveis testados predomina a formação de uma reta decrescente para o modelo, demonstrando que não houve mudanças de inclinação do ângulo da reta, fato também observado na regressão segmentada, desta forma, demonstraram não serem adequados para determinação do nível ótimo, pois poderão indicar níveis com baixa confiabilidade, em virtude da semelhança no comportamento com a regressão linear simples. Por fim, o nível ótimo indicado pela regressão LRP demonstrou ser o mais adequado para atender as exigências energéticas dos frangos de corte no período de 21 a 42 dias de idade

#### *4.2 Rendimento de carcaça*

O aumento dos níveis de energia metabolizável nas dietas pode proporcionar resultados positivos para as variáveis de desempenho zootécnico, no entanto, em níveis

acima das necessidades nutricionais das aves podem acarretar negativamente nas características de carcaça (MENDES et al., 2004; MEZA et al. 2015). Neste estudo, o rendimento da carcaça e dos cortes não foi influenciado pelos diferentes níveis de energia metabolizável, indicando que os níveis mais altos de energia não foram suficientes para interferir nas características da carcaça, estando provavelmente relacionado ao avanço genético das linhagens comerciais (GOPINGER et al., 2017), tornando as aves mais exigentes quanto aos requisitos nutricionais para a máxima expressão genética, principalmente dos parâmetros de desempenho produtivo e qualidade de carcaça. Resultados semelhantes foram reportados por Meza et al. (2013) que avaliando os níveis de energia de 2800, 2950, 3100 e 3250 kcal/kg em frangos de corte no período de 21 a 42 dias de idade, não obtiveram diferença no rendimento da carcaça, peito, coxa e sobrecoxa conforme o aumento dos níveis energéticos. Em estudo mais recente Meza et al. (2015) também avaliando níveis crescentes de energia (3000, 3120, 3240 e 3360 kcal/kg) e níveis de lisina 0,800; 0,900; 1,000 e 1,100% em aves no período de 35 a 49 dias de idade, não observaram efeito dos diferentes níveis de energia metabolizável nas características de rendimento de carcaça, peito, coxa e sobrecoxa e gordura abdominal. Assim também relatado por Abudabos et al. (2014) que avaliando quatro níveis de energia (2925, 2950, 2975 e 3000 kcal/kg) em dietas para frangos de corte não obtiveram resultados significativos para rendimento de peito, coxa, sobrecoxa e gordura abdominal aos 35 dias de idade.

## 5. CONCLUSÃO

O modelo *linear response plateau* apresentou o melhor ajuste dos dados para todos os períodos avaliados, estimando os níveis ótimos de energia metabolizável para obtenção

dos melhores resultados para a CA de 3182, 3224 e 3191 kcal/kg para os períodos de crescimento, final e experimental total, respectivamente.

## 6. REFERÊNCIAS

Abudabos, A. M.; Saleh, F; Lemme, A. & Zakaria, H. A. H. The Relationship Between Guanidino Acetic Acid and Metabolisable Energy Level of Diets on Performance of Broiler Chickens. **Italian Journal of Animal Science**, 13:3, 3269, 2014. DOI: 10.4081/ijas.2014.3269

Alvarenga, R.R; Nagata, A. K.; Rodrigues, P. B.; Zangeronimo, M. G.; Pucci, L. E. A.; Hespanhol, R. Adição de fitase em rações com diferentes níveis de energia metabolizável, proteína bruta e fósforo disponível para frangos de corte de 1 a 21 dias. **Ci. Anim. Bras.**, Goiânia, v.12, n.4, p. 602 - 609, out./dez. 2011. DOI: 10.5216/cab.v12i4.10247

Araújo, L.F.; Junqueira, O.M.; Araújo, C.S.S.; Barbosa, L.C.G.S.; Ortolan, J.H.; Faria, D.E.; Stringhini, J.H. Energy and Lysine for Broilers from 44 to 55 Days of Age. **Brazilian Journal of Poultry Science**. v.7 / n.4 / 237 – 241, 2005.

Barbosa, F.J.V.; Lopes, J.B.; Figueirêdo, A. V.; Abreu, M. L. T.; Dourado, L. R. B.; Farias, L. A.; Pires, J.E.P. Níveis de energia metabolizável em rações para frangos de corte mantidos em ambiente de alta temperatura. **R. Bras. Zootec.**, v.37, n.5, p.849-855, 2008

Cobb-Vantress. Broiler Performance & Nutrition Supplement Cobb500. **Cobb Vantres.Com**, p.14, 2013.

Charnet, R.; Bonvino, H; Freire C. A. L; Charnet, E. M. R. Análise de modelos de regressão linear com aplicações. **Campinas**, SP: Unicamp, 1999.

Dozier, W.A.; Gehring, C.K.; Corzo, A.; Olanrewaju, H.A. Apparent metabolizable energy needs of male and female broilers from 36 to 47 days of age. **Poultry Science** 90 :804–814, 2011. doi: 10.3382/ps.2010-01132

Duarte, K. F.; Junqueira, O. M.; Filardi, R. S.; Laurentiz, A. C.; Souza, H. B. A.;Oliveira, T. M. F. S. Efeito dos níveis de energia e programas de alimentação sobre a qualidade de carcaça e desempenho de frangos de corte abatidos tardiamente. **Acta Sci. Anim. Sci.** v. 29, n. 1, p. 39-47, 2007.

Duarte, K.F.; Junqueira, O.M.; Borges, L.L.; Santos, E.T.; Marques, R.H.; Quadros, T.C.O.; Domingues, C.H.F. Performance and duodenum morphometry of broiler chickens submitted

to different metabolizable energy levels and feed programs at 42 to 57 days of age. **Sci. Anim. Bras.**, Goiânia, v.3, n.2, p. 197-204, abr./jun 2012. DOI: 10.5216/cab.v13i2.9781

Emiliano, P. C.; Vivanco, M. J. F.; Menezes, F. S. M.; Avelar, F. G. Fundamentos e comparação de critérios de informação: Akaike and Bayesian. **Revista Brasileira Biomatemática**, v. 27, n. 3, p. 394-411, 2009.

Euclides, R. F.; Rostagno, H. S. Estimativas dos níveis nutricionais via experimentos de desempenho. Nutrição de Aves e Suínos. In: **Workshop Latino-Americano Ajinomoto Biolatina**, Foz do Iguaçu, PR, p.77-88, 2001.

Ferreira, G.S.; Pinto, M.F.; Neto, M.G.; Ponsano, E.H.G.; Gonçalves, C. A.; Bossolani, I.L.C.; Pereira, A.G. Accurate adjustment of energy level in broiler chickens diet for controlling the performance and the lipid composition of meat. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.1, p.104-110, jan, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20130206>

Ge, X. K; Wang, A. A.; Ying, Z. X.; Zhang, L. G.; Su, W. P.; Cheng, K.; Feng, C. C.; Zhou, Y. M.; Zhang, L. L.; Wang, T. Effects of diets with different energy and bile acids levels on growth performance and lipid metabolism in broilers. **Poultry Science** 98:887–895, 2019. <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pey434>

Gopinger, E; Krabbe, E.L.; Surek, D.; Lopes, L.S.; Avila, V.S. Live Performance, Carcass, and Bone Quality Responses of Grower and Finisher Broilers to Dietary Metabolizable Energy Levels. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v.19, n.4, p.559-566, 2017.

Martins, M. E. G. Regressão Linear Simples. **Rev. Ciência Elem.**, V.7, 03:045. 2019. <doi.org/10.24927/rce2019.045>

Mello, H. H. C.; Gomes, P. C.; Rostagno, H. S.; Albino, L. F. T.; Souza, R. M.; Calderano, A. A. Valores de energia metabolizável de alguns alimentos obtidos com aves de diferentes idades. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, n. 5, p. 863-868, 2009.

Mendes, A.A.; Moreira, J.; Oliveira, E.G.; Garcia, E. A.; Almeida, M.I.M.; Garcia, R.G. Efeitos da Energia da Dieta sobre Desempenho, Rendimento de Carcaça e Gordura Abdominal de Frangos de Corte. **R. Bras. Zootec.**, v.33, n.6, p.2300-2307, 2004.

Meza, S.K.L.; Nunes, R.V.; Tsutsumi, C.Y.; Scherer, C.; Savoldi, T.L. Efeito dos níveis de energia metabolizável e lisina digestível sobre o rendimento de carcaça de frangos de corte com 42 dias. **Scientia Agraria Paranaensis-SAP**, v.12, p. 420-424, 2013. DOI: 10.18188/1983-1471/sap.v12nsupp420-424

Meza, S.K.L.; Nunes, R.V.; Tsutsumi, C.Y.; Vieites, F.M.; Scherer, C. Henz, J.R.; Silva, I.M.; Bayerle, D.F. Metabolizable energy and digestible lysine levels on the composition and carcass yield of broilers. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 2, p. 1079-1090, 2015. DOI: 10.5433/1679-0359.2015v36n2p1079

Moreira, A.S.; Santos, M.S.V.; Vieira, S. S.; Tavares, F.B.; Manno, M.C. Performance of broiler chickens fed diets containing different levels of metabolizable energy. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.64, n.4, p.1009-1016, 2012.

Nascimento, G. A. J.; Rodrigues, P. B.; Freitas, R. T. F.; Reis Neto, R. V.; Lima, R. R.; Allaman, I. B. Equações de predição para estimar valores da energia metabolizável de alimentos concentrados energéticos para aves utilizando a meta-análise. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 63, p.222-230, 2011.

Nunes, C.C.F.; Morais, A.R.; Muniz, J.A.; Sáfyadi, T. Variâncias do ponto crítico de equações de regressão quadrática. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 28, n. 2, p. 389-396, mar./abr., 2004

Nunes, R.V.; Schneider, S.E.; Souza, C.; Sangali, C.P.; Polese, C.; Bueno, R.S.; Vieites, F.M. Exigência de lisina digestível para poedeiras semipesadas de 50 a 66 semanas de idade. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.67, n.6, p.1675-1683, 2015.

Oviedo-Rondón, E.O.; Waldroup, P.W. Models to estimate amino acid requirements for broiler chickens: a review. **International Journal of Poultry Science**, v.5, p.106-113, 2002. DOI: 10.3923/ijps.2002.106.113

Pack, M.; Hoehler, D.; Lemme, A. Economic assessment of amino acid responses in growing poultry. In: D'MELLO, J.P.F. (Ed.) Amino acids in animal nutrition. Cambridge: **CABI Publishing**, p.459-483. 2003.

Pesti, G.M.; Vedenov, D.; Cason J.A. & Billard, L.. A comparison of methods to estimate nutritional requirements from experimental data. **British Poultry Science**, Cambridge, v. 50, p. 16-32, 2009

Pompeu, M.A.; Baião, N.C.; Lara, L.J.C.; Ecco, R.; Rocha, J.S.R.; Fernandes, M.N.S; Barbosa, V.M.; Miranda, D.J.A. Suplementação de colina em dietas para frangos de corte machos em fase de crescimento. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.65, n.6, p.1836-1842, 2013

Portz, L.; Dias, C. T. S.; Cyrino, J. E. P. Regressão segmentada como modelo na determinação de exigências nutricionais de peixes. **Scientia Agricola**, v.57, n.4, p.601-607, out./dez. 2000

Rodríguez, F.I.; Chavira, J.S.; Gómez, M.F.M.; Nunez, O. M.M.; Vizcarra, V.M.G.; Florentino, O.F.G.; León, J.A.R. Effect of diets with different energy concentrations on growth performance, carcass characteristics and meat chemical composition of broiler chickens in dry tropics. **Springer Plus** 5, 1937, 2016. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-3608-0>

Rostagno, H.S.; Albino, L.F.T.; Hannas, M.I.; Donzele, J.L.; Oliveira, R.F.; Barreto, S.L.T.; Sakomura, N.K.; Perazzo, F.G., Saraiva, A.; Teixeira, M.L.; Rodrigues, P.B.; Brito, C.O. Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos – Composição de alimentos e exigências nutricionais. **Viçosa**, UFV. p 292. 2017

Sakomura, N.K.; Rostagno, H.S. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. Jaboticabal: **Funep**, p. 283. 2007

Savoldi, T.L.; Nunes, R.V.; Scherer, C.; Tsutsumi, C.Y.; Scheneiders, J.L.; Marques, M.F.G.; Schone, R.A.; Meza, S.K.L. Níveis de energia metabolizável e lisina digestível para o desempenho de pintos de corte de 1 a 10 dias de idade. **Scientia Agraria Paranaensis**, Volume 11, p.49-58, 2012.

Silva, M.C.C.; Fontes, P.C.R.; Miranda, G.V. Modelos estatísticos para descrever a produtividade de batata em função da adubação nitrogenada. **Horticultura Brasileira** 25:360- 364. 2007

Siqueira, J.C.; Sakomura, N.K.; Nascimento, D. C. N.; Fernandes, J.B.K. Modelos matemáticos para estimar as exigências de lisina digestível para aves de corte ISA Label. **Revista Bras. Zootec.**, v.38, n.9, p.1732-1737, 2009.

Souza, F. A.; Malheiros, E. B.; Carneiro, P. R. O. Positioning and number of nutritional levels in dose-response trials to estimate the optimal-level and the adjustment of the models. **Ciência Rural**, v.44, n.7, p.1204-1209. 2014

TEAM, R. Core. R development core team. **RA Lang Environ Stat Comput** , v. 55, p. 275-286, 2013.

TEAM, RStudio et al. RStudio: integrated development for R. RStudio, **Inc.**, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com> , v. 42, p. 14, 2015.

Zhao, P. Y.; Kim, I. H. Effect of diets with different energy and lysophospholipids levels on performance, nutrient metabolism, and body composition in broilers. **Poultry Science** 96:1341–1347, 2017. <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pew469>

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A indústria avícola busca constantemente ser mais eficiente na produção de frangos de corte, lançando mão de estratégias de manejo e de ferramentas tecnológicas, a fim de garantir o máximo desempenho produtivo das aves com o menor custo de produção. Na nutrição, para elaboração de dietas que atendam precisamente a demanda nutricional das aves, os profissionais estão utilizando de programas e modelos matemáticos para determinação dos níveis ótimos de diferentes componentes das dietas, podendo citar como os mais estudados os aminoácidos limitantes e a energia.

Os modelos utilizados para predição de níveis ótimos são formados por um conjunto de parâmetros matemáticos, que combinados em equações estatísticas resultam no nível nutricional que melhor atenda aos requisitos do método dos mínimos quadrados, que consiste em determinar a reta ou o ponto que minimiza a soma dos quadrados dos desvios (erros), deste modo, indicando o nível considerado ótimo combinado com o menor erro estatístico. Porém, é importante salientar que o nível ótimo indicado pelos modelos matemáticos não necessariamente será o nível que resultará na máxima resposta para a variável avaliada, uma vez que níveis acima do indicado pelos modelos podem proporcionar resultados zootécnicos superiores para a variável, entretanto incorrendo em alto erro estatístico, comprometendo a confiabilidade dos resultados. Outro fator importante a se considerar é que modelos matemáticos diferentes resultarão, mesmo que utilizando o mesmo banco de dados, em níveis ótimos distintos em decorrência dos diferentes parâmetros matemáticos combinados em suas equações, o que não significa dizer que um modelo seja melhor que outro, pois apenas são modelos matemáticos distintos, devendo ao profissional avaliar qual modelo tenha representado melhor o seu banco de dados e para isso são utilizados os parâmetros de avaliação, que nada mais são que indicadores que

nos auxiliarão a definir numericamente o modelo que melhor tenha realizado o ajustamento dos dados.

No capítulo I foram avaliados níveis crescentes de metionina + cistina digestível, sendo possível observar que a metionina pode influenciar na regulação do consumo da dieta, pois quando as aves são alimentadas com dietas com níveis abaixo do recomendado há o aumento na ingestão dos alimentos para tentar suprir a sua demanda nutricional pelo aminoácido. Em todos os períodos as variáveis GP e CA responderam positivamente ao aumento nos níveis de Met+Cis digestível. O modelo *linear response plateau* (LRP) realizou o melhor ajuste dos dados para o GP e CA em todos os períodos avaliados, indicando em cada período o mesmo nível ótimo para ambas as variáveis, o que necessariamente pode não ocorrer em outros bancos de dados, pois o modelo pode indicar níveis distintos do aminoácido para as variáveis no mesmo período de produção, fato que pode ser facilmente observado nos outros modelos matemáticos testados. Os níveis ótimos indicados pelo modelo LRP mostraram-se um pouco acima dos níveis recomendados na literatura, fato que se justifica em virtude do aumento no potencial genético dos frangos de corte nos últimos anos, que necessitam de um maior aporte nutricional, especialmente dos aminoácidos utilizados para deposição proteica, assim garantindo os melhores resultados para os parâmetros de desempenho produtivo.

Para as próximas avaliações de níveis de metionina recomenda-se que sejam realizados exames para avaliação de parâmetros sanguíneos, tamanho e peso do fígado, e teores nitrogênio e ácido úrico na cama aviária, pois ajudaram a determinar de forma mais precisa sobre o efeito do excesso ou da falta de metionina das dietas, o que resultará em informações que auxiliarão a entender e a discutir os resultados da eficiência no uso da metionina. Por fim, o aumento na inclusão de Met+Cis digestível também contribuiu

positivamente para aumentar o rendimento da carcaça e peito, assim como reduzir do teor de gordura abdominal.

No capítulo II avaliando níveis crescentes de energia metabolizável, confirmou-se que o teor energético das dietas possui grande influência na regulação do CR, sendo que quanto maior o nível de energia da dieta menor será a ingestão dos alimentos. Apesar das aves alimentadas com as dietas com menor teor energético terem consumido maior quantidade de ração não se observou similar consumo total de energia em relação às dietas com os maiores teores energéticas, possivelmente em virtude da limitação gástrica.

É muito importante o correto balanceamento dos níveis de energia, proteína e principalmente dos aminoácidos limitante à dieta, pois é provável que nas dietas com os maiores níveis energéticos tenha ocorrido desbalanço entre a relação energia e proteína, acarretando na falta principalmente dos aminoácidos utilizados para a síntese proteica, resultando na redução do crescimento de tecido magro, fato que pode ter contribuído para não ter sido observado diferença no GP das aves entre os níveis com os maiores e menores teores energéticos, assim como ter sido observado os piores resultados para a eficiência da energia para o GP para as dietas com os maiores teores de energia. A CA foi favorecida com o aumento dos níveis energéticos das dietas.

Para predição do nível ótimo da energia metabolizável da dieta é importante considerar além dos parâmetros estatísticos os fatores biológicos e econômicos na nutrição animal, deste modo, sendo observado que o modelo que atendeu a estas recomendações e que apresentou o melhor ajuste dos dados em todos os períodos avaliados foi o LRP indicando os melhores níveis ótimos para a CA. Apesar de ter sido observado bom ajuste dos dados com a regressão polinomial quadrática, mas por ter indicado um nível ótimo muito superior ao utilizado atualmente pela indústria avícola, o modelo foi desconsiderado por tornar-se inviável tanto biologicamente quanto economicamente.

Devido ao avanço na qualidade genética dos frangos de corte, no qual temos animais mais exigentes quanto aos seus requerimentos nutricionais para a máxima expressão no desempenho produtivo e qualidade de carcaça, é provável que o parâmetro “gordura abdominal” não seja atualmente o mais adequado em uma análise de rendimento de carcaça, pois como observado neste estudo, não houve efeito do aumento dos níveis energéticos sobre a variável gordura abdominal, sendo provavelmente o mais adequado avaliar a “gordura total da carcaça”. É provável que a gordura excedente da dieta esteja sendo distribuída de forma proporcional na carcaça do animal, não sendo concentrada necessariamente na porção abdominal da ave.

## REFERÊNCIAS

- Abudabos, A. M.; Saleh, F; Lemme, A. & Zakaria, H. A. H. The Relationship Between Guanidino Acetic Acid and Metabolisable Energy Level of Diets on Performance of Broiler Chickens. **Italian Journal of Animal Science**, 13:3, 3269, 2014. DOI: 10.4081/ijas.2014.3269
- Acácio, R. M. Exigência e eficiência de utilização do triptofano para frangos de corte. Dissertação. **Universidade Estadual de São Paulo**. 2018
- Alvarenga, A. M. T. Modelos lineares generalizados: aplicação a dados de acidentes rodoviários. Dissertação. Mestrado em Gestão da Informação. p.105. Faculdade de Ciências. **Universidade de Lisboa**. 2015
- Amarante Júnior, V. S.; Costa, F. G. P.;Barros, L. R.; Nascimento, G.A.J.; Brandão, P. A.; Silva, J.H.V.; Pereira, W. E.; Nunes, R. V.; Costa, J. S. Níveis de Metionina + Cistina para Frangos de Corte nos Períodos de 22 a 42 e de 43 a49 Dias de Idade. **R. Bras. Zootec.**, v.34, n.4, p.1195-1201, 2005
- Araújo, L.F.; Junqueira, O.M.; Araújo, C.S.S.; Barbosa, L.C.G.S.; Ortolan, J.H.; Faria, D.E.; Stringhini, J.H. Energy and Lysine for Broilers from 44 to 55 Days of Age. **Brazilian Journal of Poultry Science**. v.7 / n.4 / 237 – 241, 2005.
- Barbosa, F.J.V.; Lopes, J.B.; Figueirêdo, A. V.; Abreu, M. L. T.; Dourado, L. R. B.; Farias, L. A.; Pires, J.E.P. Níveis de energia metabolizável em rações para frangos de corte mantidos em ambiente de alta temperatura. **R. Bras. Zootec.**, v.37, n.5, p.849-855, 2008
- Baker DH. Comparative species utilizationand toxicity of sulfur amino acids. **The J. Nutr.**;136(6):1670S-1675S.2006
- Borges, B.S.; Nunes, R. C; Stringhni, J. H.; Mascarenhas, A.G.;Mello, H. H. C.; Martins, J. M. S.; Noletto, R. A.; Oliveira, M.D. Níveis de triptofano digestível para frangos de corte machos nas dietas pré-inicial e inicial. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 37, n. 4, suplemento 1, p. 2529-2538, 2016
- Bunchasak, C. Role of dietary methionine in poultry production. **Japan Poultry Science**,v. 46, p.169-179, 2009.
- Buteri, C.B.; Tavernari, F. C.; Rostagno, H.S.; Albino, L. F.T. Exigência de lisina, planos nutricionais e modelos matemáticos na determinação de exigências de frangos de corte. **Acta Veterinaria Brasilica**, v.3, n.2, p.48-61, 2009.
- Bydlowski, S. P.; Magnanelli, A. C.; Chamone, D. A. F. Hiper Homocisteinemia e Doenças Vaso-Oclusivas. **Arq Bras Cardiol**. volume 71, (nº 1), 1998

Carew, L. B.; MCMurtry, J. P.; Alster, F. A. Effects of methionine deficiencies on plasma levels of thyroid hormones, insulin-like growth factors -I and -II, liver and bodyweights, and feed intake in growing chickens. **Poultry Science**, v.82, p.1932-1938, 2003.

Carvalho, D.C.O.; Albino, L.F.T.; Vargas Junior, J.G.; Toledo, R.S.; Oliveira, J. E.; Souza, R. M. Coeficiente de digestibilidade verdadeira dos aminoácidos e valores de aminoácidos digestíveis do milho submetido a diferentes temperaturas de secagem e períodos de armazenamento. **R. Bras. Zootec.**, v.38, n.5, p.850-856, 2009.

Carvalho, G. B. Níveis e Fontes de metionina na nutrição de frangos de corte. Tese de Doutorado. **Escola de Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Goiás**. 2017.

Castilha, L. D.; Pozza, P. C.; Costa, P. B.; Silva, Y. L.; Nunes, R. V.; Neumann, M. E. Metabolismo e importância da arginina na nutrição de suínos. **Scientia Agraria Paranaensis - SAP**, v.13, n.1, p.10-21, 2014.

Castro, M. R.; Pinheiro, S. R. F.; Lima, H. J. D; Pires, A. V.; Vieira, D.J.; Abreu, L. R. A.; Mota, L. F. M.; Oliveira, R. G. Relações metionina + cistina: lisina digestíveis para codornas de corte machos em fase de terminação. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.**, Salvador, v.17, n.2, p.162-173. 2016.

Cella, P. S.; Donzele, J. L.; Oliveira, R. F. M.; Albino, L. F. T.; Ferreira, A. S.; Gomes, P. C.; Valerio, S. R.; Apolonio, L. R. Níveis de lisina mantendo a relação aminoacídica para frangos de corte no período de 1 a 21 dias de idade, em diferentes ambientes térmicos. **Rev. Bras. Zootec.** v.30. 433-439, 2001.

Champe, P., Harvey, R. F. DR Bioquímica ilustrada. 3a.ed. Porto Alegre: **Artmed**. 2006

Charnet, R.; Bonvino, H; Freire C. A. L; Charnet, E. M. R. Análise de modelos de regressão linear com aplicações. Campinas, SP: **Unicamp**, 1999.

Coelho, L. S. S.; Costa, P. M. A.; Silva, M. A.; Pereira, J. A. A.; Rostagno, H. S.; Barbosa, H. P. Modelos para estimar exigências nutricionais em suínos. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 16, n. 1, p. 102-110, 1987

Cobb-Vantress. Broiler Performance & Nutrition Supplement Cobb500. **Cobb Vantres.Com**, p.14, 2013.

Corzo A, Kidd M, Dozier W, Shack L, Burgess, S. Protein expression of pectoralis major muscle in chickens in response to dietary methionine status. **Brit. J. Nutr.**;95:703-708, 2006.

Cotan, J. L. V.; Lanna, E. A. T.; Bomfim, M. A. D.; Donzele, J. L.; Ribeiro, F. B. & Serafini, M. A. Níveis de energia digestível e proteína bruta em rações para alevinos de lambari tambuí. **R. Bras. Zootec.**, v.35, n.3, p.634-640, 2006

Charnet, R.; Bonvino, H; Freire C. A. L; Charnet, E. M. R. Análise de modelos de regressão linear com aplicações. **Campinas**, SP: Unicamp, 1999.

Deponti, B.J.; Faria, D. E.; Filho, D.M.F.; Rombola, L. G.; Araujo, L. F. e Junqueira, O. M. Exigências de triptofano e padrão de recuperação do desempenho de poedeiras comerciais após alimentação com rações deficientes em triptofano. **R. Bras. Zootec.**, v.36, n.5, p.1324-1330, 2007

Dozier, W.A.; Gehring, C.K.; Corzo, A.; Olanrewaju, H.A. Apparent metabolizable energy needs of male and female broilers from 36 to 47 days of age. **Poultry Science** 90 :804–814, 2011. doi: 10.3382/ps.2010-01132

Duarte, K. F.; Junqueira, O. M.; Filardi, R. S.; Laurentiz, A. C.; Souza, H. B. A.; Oliveira, T. M. F. S. Efeito dos níveis de energia e programas de alimentação sobre a qualidade de carcaça e desempenho de frangos de corte abatidos tardiamente. **Acta Sci. Anim. Sci.** v. 29, n. 1, p. 39-47, 2007.

Duarte, K.F.; Junqueira, O.M.; Borges, L.L.; Santos, E.T.; Marques, R.H.; Quadros, T.C.O.; Domingues, C.H.F. Performance and duodenum morphometry of broiler chickens submitted to different metabolizable energy levels and feed programs at 42 to 57 days of age. **Sci. Anim. Bras.**, Goiânia, v.3, n.2, p. 197-204, abr./jun 2012. DOI: 10.5216/cab.v13i2.9781

Emiliano, P. C.; Vivanco, M. J. F.; Menezes, F. S. M.; Avelar, F. G. Fundamentos e comparação de critérios de informação: Akaike and Bayesian. **Revista Brasileira Biomatemática**, v. 27, n. 3, p. 394-411, 2009.

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, p.462-470, 1997.

Euclides, R. F.; Rostagno, H. S. Estimativas dos níveis nutricionais via experimentos de desempenho. Nutrição de Aves e Suínos. In: **Workshop Latino-Americano Ajinomoto Biolatina**, Foz do Iguaçu, PR, p.77-88, 2001.

Fagundes, N. S. Desenvolvimento do sistema digestório e da capacidade digestiva de frangos de corte alimentados com diferentes níveis de energia metabolizável. Dissertação de mestrado. **Universidade Federal de Uberlândia**. Minas Gerais. 2011

Ferreira, G. S.; Pinto, M. F.; Garcia Neto, M.; Ponsano, E. H. G.; Gonçalves, C. A.; Bossolani, I. L. C.; Pereira, A. G. Accurate adjustment of energy level in broiler chickens diet

for controlling the performance and the lipid composition of meat. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.1, p.104-110, jan, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20130206>

Fernandes, M. N. S. Relação aminoácido sulfurado/ lisina: efeitos sobre o desempenho, rendimento e composição da carcaça de frangos de corte. Dissertação (Mestre em Zootecnia). **Universidade Federal de Minas Gerais**. p. 49. 2009

Frenhani, P. B.; Burini, R. C. Mecanismos de absorção de aminoácidos e oligopeptídios. Controle e implicações na dietoterapia humana. **Arq Gastroenterol**. V. 36 - no. 4 - out/dez. 1999

Gahl, M.J.; Crenshaw, T.D. & Benevenga, N.J. Diminishing returns in weight, nitrogen, and lysine gain of pigs fed six level so lysine from three supplemental sources. **Journal of Animal Science**, Volume 72, Issue12, p. 3177–3187, 1994

Ge, X. K; Wang, A. A.; Ying, Z. X.; Zhang, L. G.; Su, W. P.; Cheng, K.; Feng, C. C.; Zhou, Y. M.; Zhang, L. L.; Wang, T. Effects of diets with different energy and bile acids levels on growth performance and lipid metabolism in broilers. **Poultry Science** 98:887–895, 2019. <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pey434>

Grimble RF. The effect so sulfur amino acid intake on immune function in humans. **J. Nutr.**;136:1660–1665.2006

Gomide, E. M.; Rodrigues, P. B.; Freitas, R. T. F.; Fialho, E. T. Planos nutricionais com a utilização de aminoácidos e fitase para frangos de corte mantendo o conceito de proteína ideal nas dietas. **R. Bras. Zootec.**, v.36, n.6, p.1769-1774, 2007

Gopinger, E; Krabbe, E.L.; Surek, D.; Lopes, L.S.; Avila, V.S. Live Performance, Carcass, and Bone Quality Responses of Grower and Finisher Broilers to Dietary Metabolizable Energy Levels. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v.19, n.4, p.559-566, 2017.

Goulart, CC.; Costa, FG.P.; Silva, J.H.V.; Souza, J.G.; Rodrigues, V.P.; Oliveira, C.F.S. Exigências de metionina + cistina digestível para frangos de corte de 1 a 42 dias de idade. **Rev. Bras. Zootec.** 40(4):797-803. 2011.

Haese, D.; Kill, J. L.; Haddade, I.R.; Saraiva, A.; Vitória, E.L.; Del Puppo, D. ; Souza, E. O. Exigência de lisina digestível e planos de nutrição para frangos de corte machos mantendo as relações metionina + cistina e treonina digestível na proteína ideal. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.3, p.538-544, mar, 2012

Jankowski J, Kubińska M, Zduńczyk Z. Nutrition and immunomodulatory function of methionine in poultry diets—a review. **Ann. Anim. Sci.**;14(1):17-32. 2014

Kauomar N, Farhoomand P, Ebrahzhadehim SK. Effects of chromium methionine supplements on the performance and serum metabolites of broiler chickens. **J. Food Agric. Environ.** 9:292-294.2011.

Kessler, A.M.; Snizek Jr.; P.N., Brugalli, I. Manipulação da quantidade de gordura na carcaça de frangos. In: Conferência Apinco 2000 de Ciência e Tecnologia Avícola, Campinas, 2000. **Anais...**Campinas: FACTA, p.107-133. 2000

Kidd, M.T. Dietas de baixa proteína suplementadas com aminoácidos para frangos de corte. In: WORKSHOP LATINO-AMERICANO AJINOMOTO BIOLATINA, 2001, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** Foz do Iguaçu, PR, p.62-67. 2001

Kraps, M.; Lamberson, W.R. Biostatistics for Animal Science. CABI Publishing.. 2004.

Lamberson, W.R. & Firman, J.D. A comparison of quadratic versus segmented regression procedures for estimating nutrient requirements. **Poultry Science** 81:481-484. 2002.

Leite RS, Rocha JSR, Michel BC, Lara LJC, Ornelas EA, Cançado SV, Baião NC. Efeitos de planos nutricionais e de fontes de metionina sobre o desempenho, rendimento e composição de carcaças de frangos de corte. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**;61(5):1120-1127.2009.

Lehninger, A. L.; Nelson, D. L.; Cox, M. M. **Princípios de bioquímica. 3. ed.** São Paulo: Sarvier, 975p., 2011

Lima, M. B. Modelos matemáticos para predição das exigências nutricionais da colina para frangos de corte. Dissertação. **Universidade de São Paulo**. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 2012

Lucena, L. R. R.; Holanda, M. A. C.; Holanda, M. C. R.; Sousa, A. Ajuste de modelos de regressão lineares, não lineares e sigmoidal no ganho de peso simulado de frangos de corte. **Agrarian Academy**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.4, n.8; p.35. 2017

Mack, S.; Bercovici, D.; Groote, G. et al. Ideal amino acid profile and dietary lysine specification for broiler chickens of 20 to 40 days of age. **British Poultry Science**, v.40, p.257- 265, 1999.

Mangueira, R. A. F. Abordagem bayesiana de modelos de regressão com platô de resposta. Tese de doutorado em Ciências na área de Estatística e Experimentação Agrônômica. **Universidade de São Paulo**. 2019

Maroufyan, E.; Kasim, A.; Hashemi, S.R.; ChwenLoh, T.; Bejo, M.H.; Davoodi, H. The effect of methionine and threonine supplementations on immune responses of broiler chickens challenged with infectious bursal disease. **American J. of Appl. Poult. Sci.**;7: 44–50, 2010.

Martins, R.A.; Assunção, A.S.A. Importância dos aminoácidos na nutrição de frangos de corte. Revisão de Literatura. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**. V.12. n.4. 2018

Martins, M. E. G. Regressão Linear Simples. **Rev. Ciência Elem.**, V.7, 03:045. 2019. doi.org/10.24927/rce2019.045

Mazerolle, M. J. Mouvement set reproduction de samphibiensentourbiersperturbées. Tese. Doutorado em ciências Florestais. P. 78. **Université Lavral**, Québec. 2004

Mello, H. H. C.; Gomes, P. C.; Rostagno, H. S.; Albino, L. F. T.; Souza, R. M.; Calderano, A. A. Valores de energia metabolizável de alguns alimentos obtidos com aves de diferentes idades. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, n. 5, p. 863-868, 2009.

Mendes, A.A.; Moreira, J.; Oliveira, E.G.; Garcia, E. A.; Almeida, M.I.M.; Garcia, R.G. Efeitos da Energia da Dieta sobre Desempenho, Rendimento de Carcaça e Gordura Abdominal de Frangos de Corte. **R. Bras. Zootec.**, v.33, n.6, p.2300-2307, 2004.

Meza, S.K.L.; Nunes, R.V.; Tsutsumi, C.Y.; Scherer, C.; Savoldi, T.L. Efeito dos níveis de energia metabolizável e lisina digestível sobre o rendimento de carcaça de frangos de corte com 42 dias. **Scientia Agraria Paranaensis-SAP**, v.12, p. 420-424, 2013. DOI: 10.18188/1983-1471/sap.v12nsupp420-424

Meza, S.K.L.; Nunes, R.V.; Tsutsumi, C.Y.; Vieites, F.M.; Scherer, C. Henz, J.R.; Silva, I.M.; Bayerle, D.F. Metabolizable energy and digestible lysine levels on the composition and carcass yield of broilers. Semina: **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 2, p. 1079-1090, 2015. DOI: 10.5433/1679-0359.2015v36n2p1079

Moreira, A.S.; Santos, M.S.V.; Vieira, S. S.; Tavares, F.B.; Manno, M.C. Performance of broiler chickens fed diets containing different levels of metabolizable energy. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.64, n.4, p.1009-1016, 2012.

Morris, T.R. The interpretation of response data from animal feeding trials. In: COLE, D.J.A.; HARESIGN, W. **Recent developments in poultry nutrition**. London: Butterworths.p.1-11. 1989

Mota, L.F.M.; Alcântara, D.C.; Abreu, L.R.A; Costa, L.S.; Pires, A.V.; Bonafé, C.M.; Silva, M.A.; Pinheiro, S.R.F. Crescimento de codornas de diferentes grupos genéticos por meio de modelos não lineares. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.67, n.5, p.1372-1380, 2015

Nascimento, D.C.N.; Sakomura, N.S.; Siqueira, J.C.; Pinheiro, S.R.F.; Fernandes, J.B.K.; Furlan, R. L. Exigências de metionina + cistina digestível para aves de corte ISA Label criadas em semiconfinamento. **R. Bras. Zootec.**, v.38, n.5, p.869-878, 2009

Nunes, C.C.F.; Morais, A.R.; Muniz, J.A.; Sáfadi, T. Variâncias do ponto crítico de equações de regressão quadrática. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 28, n. 2, p. 389-396, mar./abr., 2004

Nunes, R.V.; Schneider, S.E.; Souza, C.; Sangali, C.P.; Polese, C.; Bueno, R.S.; Vieites, F.M. Exigência de lisina digestível para poedeiras semipesadas de 50 a 66 semanas de idade. **Rev. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.67, n.6, p.1675-1683, 2015.

Oliveira Neto, A. M. Avaliação de fontes de metionina em rações para frangos de corte em crescimento. Dissertação. **Universidade Federal de Viçosa**, Programa de Pós- Graduação em Zootecnia, P. 59. 2013

Oliveira Neto AR. Nutrição de não ruminantes. In: Oliveira Neto AR. Metabolismo e exigência de metionina. **Jaboticabal/Brasil**: Funep.;218-239. 2014

Oliveira, R. G.; Pinheiro, S. R. F.; Costa, L. S.; Pires, A. V.; Vieira, D. J.; Castro, M. R.; Abreu, L. R. A.; Siqueira, J. C. Digestible lysine in rations for free range broiler chickens. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.**, Salvador, v.17, n.3, p.424-437, 2016

Oliveira, C.F.S.; Tavares, J. M. N.; Corrêa, G. S.S.; Vieira, B. S.; Barbosa, S.A.P.V.; Corrêa, A. B.; C. A. R.L. Mathematical models to describe the growth curves of white-egg layers. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 39, n. 3, p. 1327-1334, 2018

Oviedo-Rondón, E.O.; Waldroup, P.W. Models to estimate amino acid requirements for broiler chickens: a review. **International Journal of Poultry Science**, v.5, p.106-113, 2002.

Pack, M. Models used to estimate nutriente requirements withem phasis in economic aspects. 402 In: Simpósio Internacional Sobre Exigências Nutricionais de aves e Suínos. 1996, 403 Viçosa, **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, P.43-54. 404. 1996.

Pack, M.; Hoehler, D.; Lemme, A. Economic assessment of amino acid responses in growing poultry. In: D'MELLO, J.P.F.(Ed.) Amino acids in animal cutrition. **Cambridge: CABI Publishing**, p.459-483.2003.

Parks, J.R. A theory of feeding and growth of animals. **Springer-Verlag**, Heidelberg, Berlim, 322p. 1982

Pessôa, G. B. S.; Tavernari, F. C.; Vieira, R. A.; Albino; L. F. T. Novos wrconceitos em nutrição de aves. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.**, Salvador, v.13, n.3, p.755-774 jul./set., 2012.

Pesti, G.M.; Vedenov, D.; Cason J.A. & Billard, L.. A comparison of methods to estimate nutritional requirements from experimental data. **British Poultry Science**, Cambridge, v. 50, p. 16-32, 2009

Pillai PB, Fanatico AC, Beers KW, Blair ME, Emmert JL. Homocysteine remethylation in young broilers fed varying levels of methionine, choline and betaine. **Poult.Sci.**;85:90-95. 2006

Pinheiro, S. R. F.; Sakomura, N. K.; Kawauchi, I. M.; Bonato, M. A.; Dorigam, J. C. P.; Fernandes, J. B. K. Níveis de cloreto de sódio para aves de corte da linhagem Colonial criadas em semi confinamento. **R. Bras. Zootec.**, v.40, n.7, p.1545-1553, 2011

Pompeu, M.A.; Baião, N.C.; Lara, L.J.C.; Ecco, R.; Rocha, J.S.R.; Fernandes, M.N.S; Barbosa, V.M.; Miranda, D.J.A. Suplementação de colina em dietas para frangos de corte machos em fase de crescimento. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.65, n.6, p.1836-1842, 2013

Portz, L.; Dias, C. T. S.; Cyrino, J. E. P. Regressão segmentada como modelo na determinação de exigências nutricionais de peixes. **Scientia Agricola**, v.57, n.4, p.601-607, out./dez. 2000

Regazzi, A. J.; Silva, C. H. O. Testes para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear em dados de experimento com delineamento em blocos casualizado. **Rev. Ceres, Viçosa**, v. 57, n.3, p. 315-320, mai/jun, 2010

Rezende, D. M. L. C; Muniz, J. A.; Ferreira, D. F.; Silva, F. F.; Aquino, L. H. Ajuste de modelos de platô de resposta para a exigência de zinco em frangos de corte. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 468-478, 2007

Robbins, K.L. A method, SAS program, and example for fitting the broken-line to growth data. Tennessee: **University of Tennessee**, Agricultural Experiment Station, p.8. 1986.

Rodrigueiro, R.J.B.; Albino, L.F.T.; Rostagno, H.S.; Gomes, P.C.; Pozza, P.C.; Neme, R. Exigência de Metionina + Cistina para Frangos de Corte na Fase de Crescimento e Acabamento. **Rev. bras. zootec.**, 29(2):507-517, 2000

Rodrigues, S. C. A. Modelo de Regressão Linear e suas Aplicações. Relatório de Estágio para obtenção do Grau de Mestre em Ensino de Matemática no 3º Ciclo do Ensino Básico e no Ensino Secundário. **Universidade da Beira Interior**. Covilhã. Portugal. 2012

Rodríguez, F.I.; Chavira, J.S.; Gómez, M.F.M.; Nunez, O. M.M.; Vizcarra, V.M.G.; Florentino, O.F.G.; León, J.A.R. Effect of diets with different energy concentrations on growth performance, carcass characteristics and meat chemical composition of broiler

chickens in dry tropics. **Springer Plus** 5, 1937, 2016. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-3608-0>

Rosa, E. P. M.; Kiefer, C.; Souza, K. M. R.; Silva, J. B.; Ozelame, A. M; Gomes, E. N. O.; Rosa, R; A. Níveis de lisina digestível para frangos de corte tipo caipira de 28 a 56 dias de idade. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.**, Salvador, v.15, n.4, p.872-880 out./dez., 2014

Rostagno, H.S.; Bünzen, S.; Sakomura, N. K. and Albino, L. F. T. Avanços metodológicos na avaliação de alimentos e de exigências nutricionais para aves e suínos. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.36, p.295-304, 2007

Rostagno, H. S.; Albino, L. F. T.; Donzele, J. L.; Gomes, P. C.; Oliveira, R. F.; Lopes, D. C.; Ferreira, A. S.; Barreto, S. L. T.; Euclides, R. F. Tabelas Brasileiras de Aves e Suínos. Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais. **Universidade Federal de Viçosa**. 2011

Rostagno, H,S.; Albino, L.F.T.; Hannas, M.I.; Donzele, J.L.; Oliveira, R.F.; Barreto, S.L.T.; Sakomura, N.K.; Perazzo, F.G., Saraiva, A.; Teixeira, M.L.; Rodrigues, P.B. & Brito, C.O. Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos – Composição de alimentos e exigências nutricionais. **Viçosa**, UFV. p 292. 2017

Santo, H. E. & Daniel, F. Calculating and reporting effect sizes on scientific papers (3): Guide to report regression model and ANOVA effect sizes. **Revista Portuguesa de Investigação Comportamental e Social** 2018, Vol. 4 (1): 43-60

Sakomura, N.K.; Rostagno, H.S. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. **Jaboticabal: Funep**, p. 283. 2007

Savoldi, T.L.; Nunes, R.V.; Scherer, C.; Tsutsumi, C.Y.; Scheneiders, J.L.; Marques, M.F.G.; Schone, R.A.; Meza, S.K.L. Níveis de energia metabolizável e lisina digestível para o desempenho de pintos de corte de 1 a 10 dias de idade. **Scientia Agraria Paranaensis**, Volume 11, p.49-58, 2012.

Scottá, B. A.; Pereira, C. M. C.; Bernardino, V. M. P. Energia Metabolizável e Aminoácidos Digestíveis dos Alimentos para Frangos de Corte. Ver. **Eletrônica Nutri Time**. v.9, nº 04. p.1861 - 1874. 2012

Silva, M.C.C.; Fontes, P.C.R.; Miranda, G.V. Modelos estatísticos para descrever a produtividade de batata em função da adubação nitrogenada. **Horticultura Brasileira** 25:360- 364. 2007

Silva, J. C.; Bomfim, M.A.D.; Lanna, E.A.T.; Ribeiro, F. B.; Siqueira, J. C.; Sousa, T. J. R.; Marchão, R. S.; Nascimento, D. C. N. Exigência de lisina para juvenis de tambaqui. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 39, n. 5, p. 2157-2168. 2018

Siqueira, J.C.; Sakomura, N.K., Nascimento, D. C. N. e Fernandes, J.B.K. Modelos matemáticos para estimar as exigências de lisina digestível para aves de corte ISA Label. **Revista Bras. Zootec.**, v.38, n.9, p.1732-1737, 2009.

Sklan D. & Plavnik I. Interactions between dietary crude protein and essential amino acid intake on performance in broilers. **Br. Poult. Sci.** 43:442-449. 2002.

Shoveller AK, Stoll B, Ball RO, Burrin DG. Nutritional and functional importance of intestinal sulfur amino acid metabolism. **J. Nutr.**;135(7):1609-1612.2005

Stipanuk MH. Sulfur amino acid metabolism: pathways for production and removal of homocysteine and cysteine. **Annu. Rev. Nutr.**;24:539-577. 2004

Souza, F. A.; Malheiros, E. B.; Carneiro, P. R. O. Positioning and number of nutritional levels in dose-response trials to estimate the optimal-level and the adjustment of the models. **Ciência Rural**, v.44, n.7, p.1204-1209. 2014

Tabachnick, B. G. e Fidell, L. S. **Using multi variat estatistics(5ª ed.)**. Boston: Pearson Education. 2007

Tavernari, F.C; Bernal, L.E.P.; Rostagno, H.S.; Albino, L.F.T; Vieira, R.A. Relação metionina + cistina / lisina digestível para frangos de corte cobb. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 61, n.2, p. 193-20, 2014.

Teixeira, M. P. F. Efeito da composição da ração sobre a energia líquida em frangos de corte: revisão de literatura. **Rev. Eletrônica Nutri Time**. Vol. 14, Nº 06, ISSN: 1983-9006. 2017

TEAM, R. Core. R development core team. **RA Lang Environ Stat Comput** , v. 55, p. 275-286, 2013.

TEAM, RStudio et al. RStudio: integrated development for R. RStudio, **Inc., Boston**, MA URL <http://www.rstudio.com> , v. 42, p. 14, 2015.

Tesseraud, S.; Métayer-Coustard, S.; Boussaid, S.; Crochet, S.; Audouin, E.; Derouet, M.; Seilliez, I. Insulin and amino acid availability regulate atrogen-1 in avian QT6 cells. **Biochem. Biophys. Res. Commun.** Vol. 357, p.181-186. 2007.

Vannucchi H e Melo, S.S. Hiper-homocisteinemia e risco cardiometabólico. **Arq Bras Endocrinol Metab.** vol.53 no.5 São Paulo July 2009

Vieira, R. Fundamentos de Bioquímica. Textos Didaticos. **Belém do Pará.** p. 159. 2003.

Zhao, P. Y.; Kim, I. H. Effect of diets with different energy and lysophospholipids levels on performance, nutrient metabolism, and body composition in broilers. **Poultry Science** 96:1341–1347, 2017. <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pew469>

Waterland RA. Assessing the effects of high methionine intake on DNA methylation. **J. Nutr.**;136:1706S -1710S. 2006

Wen C, Chen X, Chen GY, Wu P, Chen YP, Zhou YM, Wang T. Methionine improves breast muscle growth and alters myogenic gene expression in broilers. **J. Anim. Sci.**;92:1068-1073. 2014

Whitaker, H.M.A.; Mendes, A.A.; Garcia, E.A.; Roça, R.O.; Varolli Jr., J.C.; Saldanha, E.P.B. Efeito da Suplementação de Metionina Sobre o Desempenho e a Avaliação de Carcaças de Frangos de Corte. **Revista Brasileira de Ciência Avícola.** p. 1-9, v.4. 2002.