

RESSALVA

Atendendo solicitação da autora,
o texto completo desta tese será
disponibilizado somente a partir
de 20/04/2025.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA
CÂMPUS DE ARAÇATUBA

PATRÍCIA MARTINIANO DE OLIVEIRA CARVALHO

**MODELOS MATEMÁTICOS APLICADOS PARA ANÁLISE
DA CURVA DE CRESCIMENTO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
NA PRODUÇÃO DE FRANGOS DE CORTE**

ARAÇATUBA – SP
2021

PATRÍCIA MARTINIANO DE OLIVEIRA CARVALHO

**Modelos matemáticos aplicados para análise da curva de
crescimento e eficiência energética na produção de
frangos de corte**

Tese apresentada à Faculdade de Medicina Veterinária de Araçatuba da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Unesp, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciência Animal (Medicina Veterinária Preventiva e Produção Animal).

Orientador: Prof. Dr. Marcos Franke Pinto

Coorientador: Prof. Dr. Manoel Garcia Neto
Coorientador: Prof. Dr. Max José de Araujo Faria Junior

**ARAÇATUBA – SP
2021**

C331m	Carvalho, Patrícia Martiniano de Oliveira Modelos matemáticos aplicados para análise da curva de crescimento e eficiência energética na produção de frangos de corte / Patrícia Martiniano de Oliveira Carvalho. -- Araçatuba, 2021 111 f. : il., tabs. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Medicina Veterinária, Araçatuba Orientador: Marcos Franke Pinto Coorientador: Manoel Garcia Neto ; Max José de Araujo Faria Junior 1. Avaliação energética. 2. Energia cinética. 3. Força ontogênica do crescimento. 4. Programa prático de modelagem de forças. 5. Relação input-output. I. Título.
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Medicina Veterinária, Araçatuba. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Araçatuba

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: Modelos matemáticos aplicados para análise da curva de crescimento e eficiência energética na produção de frangos de corte

AUTORA: PATRICIA MARTINIANO DE OLIVEIRA CARVALHO

ORIENTADOR: MARCOS FRANKE PINTO

COORIENTADOR: MANOEL GARCIA NETO

COORIENTADOR: MAX JOSÉ DE ARAUJO FARIA JUNIOR

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em CIÊNCIA ANIMAL, área: Medicina Veterinária Preventiva e Produção Animal pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. MAX JOSÉ DE ARAUJO FARIA JUNIOR (Participação Virtual)
Departamento de Produção e Saúde Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Câmpus de Araçatuba/Unesp

Prof. Dr. CECILIO VIEGA SOARES FILHO (Participação Virtual)
Departamento de Produção e Saúde Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Câmpus de Araçatuba/UNESP

Pesquisador LEANDRO KANAMARU FRANCO DE LIMA (Participação Virtual)
Centro Nacional de Pesquisa em Pesca, Aquicultura e Sistemas Agrícolas / Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

Prof. Dr. DANILO FLORENTINO PEREIRA (Participação Virtual)
Departamento de Gestão, Desenvolvimento e Tecnologia / Faculdade de Ciências e Engenharia - Câmpus de Tupã/UNESP

Prof. Dr. THIAGO LUÍS MAGNANI GRASSI (Participação Virtual)
Curso de Medicina Veterinária, Faculdade de Ciências Agrárias / Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE), Presidente Prudente/SP

Araçatuba, 20 de abril de 2021.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: Modelos matemáticos aplicados para análise da curva de crescimento e eficiência energética na produção de frangos de corte

AUTORA: PATRICIA MARTINIANO DE OLIVEIRA CARVALHO

ORIENTADOR: MARCOS FRANKE PINTO

COORIENTADOR: MANOEL GARCIA NETO

COORIENTADOR: MAX JOSÉ DE ARAUJO FARIA JUNIOR

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em CIÊNCIA ANIMAL, área: Medicina Veterinária Preventiva e Produção Animal pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. MAX JOSÉ DE ARAUJO FARIA JUNIOR (Participação Virtual)

Departamento de Produção e Saúde Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Câmpus de Araçatuba/Unesp



Prof. Dr. CECILIO VIEGA SOARES FILHO (Participação Virtual)

Departamento de Produção e Saúde Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Câmpus de Araçatuba/UNESP

Pesquisador LEANDRO KANAMARU FRANCO DE LIMA (Participação Virtual)

Centro Nacional de Pesquisa em Pesca, Aquicultura e Sistemas Agrícolas / Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

Prof. Dr. DANILO FLORENTINO PEREIRA (Participação Virtual)

Departamento de Gestão, Desenvolvimento e Tecnologia / Faculdade de Ciências e Engenharia - Câmpus de Tupã/UNESP

Prof. Dr. THIAGO LUÍS MAGNANI GRASSI (Participação Virtual)

Curso de Medicina Veterinária, Faculdade de Ciências Agrárias / Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE), Presidente Prudente/SP

Araçatuba, 20 de abril de 2021.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Araçatuba

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: Modelos matemáticos aplicados para análise da curva de crescimento e eficiência energética na produção de frangos de corte

AUTORA: PATRICIA MARTINIANO DE OLIVEIRA CARVALHO

ORIENTADOR: MARCOS FRANKE PINTO

COORDENADOR: MANOEL GARCIA NETO

COORDENADOR: MAX JOSÉ DE ARAUJO FARIA JUNIOR

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em CIÊNCIA ANIMAL, área: Medicina Veterinária Preventiva e Produção Animal pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. MAX JOSÉ DE ARAUJO FARIA JUNIOR (Participação Virtual)
Departamento de Produção e Saúde Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Câmpus de Araçatuba/Unesp

Prof. Dr. CECILIO VIEGA SOARES FILHO (Participação Virtual)
Departamento de Produção e Saúde Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Câmpus de Araçatuba/UNESP


Pesquisador LEANDRO KANAMARU FRANCO DE LIMA (Participação Virtual)
Centro Nacional de Pesquisa em Pesca, Aquicultura e Sistemas Agrícolas / Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

Prof. Dr. DANILO FLORENTINO PEREIRA (Participação Virtual)
Departamento de Gestão, Desenvolvimento e Tecnologia / Faculdade de Ciências e Engenharia - Câmpus de Tupã/UNESP

Prof. Dr. THIAGO LUÍS MAGNANI GRASSI (Participação Virtual)
Curso de Medicina Veterinária, Faculdade de Ciências Agrárias / Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE), Presidente Prudente/SP

Araçatuba, 20 de abril de 2021.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: Modelos matemáticos aplicados para análise da curva de crescimento e eficiência energética na produção de frangos de corte

AUTORA: PATRICIA MARTINIANO DE OLIVEIRA CARVALHO

ORIENTADOR: MARCOS FRANKE PINTO

COORIENTADOR: MANOEL GARCIA NETO

COORIENTADOR: MAX JOSÉ DE ARAUJO FARIA JUNIOR

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em CIÊNCIA ANIMAL, área: Medicina Veterinária Preventiva e Produção Animal pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. MAX JOSÉ DE ARAUJO FARIA JUNIOR (Participação Virtual)
Departamento de Produção e Saúde Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Câmpus de Araçatuba/Unesp

Prof. Dr. CECILIO VIEGA SOARES FILHO (Participação Virtual)
Departamento de Produção e Saúde Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Câmpus de Araçatuba/UNESP

Pesquisador LEANDRO KANAMARU FRANCO DE LIMA (Participação Virtual)
Centro Nacional de Pesquisa em Pesca, Aquicultura e Sistemas Agrícolas / Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

Prof. Dr. DANILO FLORENTINO PEREIRA (Participação Virtual)
Departamento de Gestão, Desenvolvimento e Tecnologia / Faculdade de Ciências e Engenharia - Câmpus de Tupã/UNESP

Prof. Dr. THIAGO LUÍS MAGNANI GRASSI (Participação Virtual)
Curso de Medicina Veterinária, Faculdade de Ciências Agrárias / Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE), Presidente Prudente/SP

Araçatuba, 20 de abril de 2021.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Campus de Araçatuba

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: Modelos matemáticos aplicados para análise da curva de crescimento e eficiência energética na produção de frangos de corte

AUTORA: PATRICIA MARTINIANO DE OLIVEIRA CARVALHO

ORIENTADOR: MARCOS FRANKE PINTO

COORIENTADOR: MANOEL GARCIA NETO

COORIENTADOR: MAX JOSÉ DE ARAUJO FARIA JUNIOR

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em CIÊNCIA ANIMAL, área: Medicina Veterinária Preventiva e Produção Animal pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. MAX JOSÉ DE ARAUJO FARIA JUNIOR (Participação Virtual)
Departamento de Produção e Saúde Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Campus de Araçatuba/Unesp

Prof. Dr. CECILIO VIEGA SOARES FILHO (Participação Virtual)
Departamento de Produção e Saúde Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Campus de Araçatuba/UNESP

Pesquisador LEANDRO KANAMARU FRANCO DE LIMA (Participação Virtual)
Centro Nacional de Pesquisa em Pesca, Aquicultura e Sistemas Agrícolas / Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

Prof. Dr. DANILO FLORENTINO PEREIRA (Participação Virtual)
Departamento de Gestão, Desenvolvimento e Tecnologia / Faculdade de Ciências e Engenharia - Campus de Tupa/UNESP

Prof. Dr. THIAGO LUÍS MAGNANI GRASSI (Participação Virtual)
Curso de Medicina Veterinária, Faculdade de Ciências Agrárias / Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE), Presidente Prudente/SP

Araçatuba, 20 de abril de 2021.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

PATRÍCIA MARTINIANO DE OLIVEIRA CARVALHO - nascida em 30 de novembro de 1977, em São Paulo – SP, cursou o ensino fundamental e médio no Colégio Sagrado Coração de Jesus, no município de São Paulo – SP. Ingressou no curso de Medicina Veterinária na Faculdade de Medicina Veterinária de Araçatuba/UNESP – SP em 2007 e formou-se no ano de 2011. Durante a graduação foi aluna de iniciação científica, com bolsa FAPESP. Iniciou em 2012, como aluna especial e em 2013, como aluna regular do curso de mestrado em Ciência Animal na Faculdade de Medicina Veterinária de Araçatuba/UNESP – SP, na área de Medicina Veterinária Preventiva e Produção Animal, com bolsa CAPES, concluindo-o no ano de 2015. Atualmente é doutoranda, bolsista CAPES, vinculada à área de Medicina Veterinária Preventiva e Produção Animal, no programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Faculdade de Medicina Veterinária de Araçatuba/UNESP – SP, sob orientação do professor Marcos Franke Pinto.

Dedico

*A Deus por conceder mais essa vitória em
minha vida.*

*Aos meus pais, irmã e esposo por me apoiarem
nesta trajetória em busca do meu sonho.*

AGRADECIMENTOS

Aos meus amados pais Oscar e Vita, alicerces da minha vida, que estiveram sempre ao meu lado oferecendo incentivo e apoio;

À minha querida e amada irmã Tatiana, que participou de todos os momentos importantes em minha vida, sem sua ajuda tudo se tornaria mais difícil;

Ao meu esposo Nilson, meu grande amor, companheiro fiel, grande presente de Deus em minha vida;

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Medicina Veterinária - campus de Araçatuba, e ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal, pela oportunidade da realização do Curso de Doutorado, e pelo suporte e todos os ensinamentos adquiridos através deste Corpo Docente que em sua totalidade é referência em competência, dedicação e amor à profissão;

Ao professor Marcos Franke Pinto por aceitar ser meu orientador, pelo apoio e por todos os ensinamentos;

Ao professor Max José de Araujo Faria Junior, meu coorientador pela segunda vez! Sou grata pela oportunidade que o senhor me ofereceu, pois não tinha expectativa de retornar à Araçatuba e retomar meus estudos, até o momento em que o senhor me propôs este projeto que agora, com a graça de Deus concluímos. Agradeço por fazer parte de momentos tão marcantes em minha vida acadêmica;

Ao professor Manoel Garcia Neto, exemplo de dedicação, perseverança. Sou imensamente grata pela generosidade do senhor e pela disponibilidade em me ensinar com tanto entusiasmo. Se não fosse todo esse cuidado, certamente, eu não estaria preparada. Agradeço imensamente por acreditar na minha capacidade.

Ao professor Luiz Eduardo Corrêa Fonseca, pelos conselhos e apoio. Estagiar na disciplina de Avicultura e Suinocultura foi uma experiência maravilhosa. O senhor me deu a oportunidade de ministrar aula e de acompanhar de perto todo o trabalho de elaboração de conteúdo, avaliações, enfim, sou muito grata por ter acreditado no meu potencial;

Aos professores e amigos Dr. Wilson Machado de Souza e Dona Nair Trevisan Machado de Souza pelos conselhos, amizade e carinho;

Aos membros das bancas da qualificação e da defesa de tese, professores Cecílio Viegas Soares Filho, Danilo Florentino Pereira, Leandro Kanamaru Franco de Lima, Leda Gobbo de Freitas Bueno e Thiago Luís Magnani Grassi, pela participação e sugestões;

Aos funcionários Daniela Manzatti Soares Danelussi, João Paulo Montoro Kampara, Joelmir Oliveira Cardoso, Alexandre Naba, a bibliotecária Cristina Alexandra de Godoy e o Ederson Vasconcelos Pereira por todas as orientações tão precisas e fundamentais;

Ao amigo Sr. William Raduan Ansarah (*in memoriam*), por ter apoiado meus estudos desde o início da graduação, sei que ficaria orgulhoso em saber que concluiu mais uma etapa do meu crescimento profissional;

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Enfim, a todos que direta e indiretamente contribuíram para a execução desta dissertação;

Que Deus com sua infinita misericórdia e bondade abençoe a todos extraordinariamente.

*“O maior valor de uma imagem é quando ela nos força a
notar o que nunca esperávamos ver”*

(John Turkey)

CARVALHO, P. M. O. **Modelos matemáticos aplicados para análise da curva de crescimento e eficiência energética na produção de frangos de corte.** 2021. 111 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) – Faculdade de Medicina Veterinária de Araçatuba, Universidade Estadual Paulista, Araçatuba, 2021.

RESUMO

A avicultura é uma atividade que apresenta um alto consumo energético, o que gera externalidades negativas. Diante do crescimento populacional e a necessidade crescente de aumentar a produção, sem que isso implique em prejuízos ambientais, medidas que garantam a obtenção de melhores índices de eficiência energética são primordiais, como a mensuração da relação *output/input*, ferramenta econômica útil que avalia o sistema produtivo a longo prazo. O objetivo deste estudo foi aplicar o Programa Prático de Modelagem de Forças (PPFM), o qual trabalha com a força ontogênica do crescimento e avaliação da eficiência energética através da energia cinética, cuja soma culmina no princípio da ação, na análise das curvas de crescimento de frangos de corte e também na avaliação da energia retida na carcaça em função da idade, através do modelo de Richards, no contexto da análise da eficiência energética para o sistema produtivo de carcaças evisceradas, como também expressar, em modelo matemático, a eficiência no uso de energia relacionando os *inputs* e *outputs* envolvidos na produção de frangos de corte. Foram utilizados dados dos padrões de crescimento de 384 frangos de corte (128 aves/linhagem), de ambos os sexos, segundo as linhagens Cobb 500, Hubbard Flex e Ross 380 para a modelagem das curvas de crescimento, e para estimar a eficiência energética foram empregados dados dos padrões de crescimento de 560 frangos de corte machos, da linhagem Cobb 500, de 1 a 56 dias de idade, alimentados com rações de diferentes níveis de energia metabolizável (EM) (2850, 3000, 3150 e 3300 kcal kg⁻¹ de ração). Pintainhos e ração foram considerados como *inputs*, e a carcaça eviscerada como *output*. Para avaliar a energia depositada na carcaça (ER_{carc}) calculou-se a energia retida como gordura (ER_{gord}) e na forma de proteína (ER_{prot}). A determinação dos *inputs* obteve-se mediante o conhecimento das energias retidas no pintainho (ER_{pint}) e no alimento (ER_{alim}). A eficiência no uso de energia (EUE), produtividade energética (PEn) e energia líquida (EL) foram calculados. Os dados

foram submetidos à análise de variância e ajustaram-se as regressões polinomiais significativas. A análise de superfície de resposta foi empregada para verificar e quantificar os efeitos sinérgicos e antagônicos. Através da análise energética do sistema produtivo, os índices EUE, PEn, EL encontrados foram 30%, 0,024 kg MJ⁻¹ e -72,53 MJ, respectivamente. Os resultados revelaram que a produção de frangos de corte avaliada possui baixa eficiência energética. Portanto, medidas são necessárias para melhorar os índices energéticos, como utilizar menos energia *input* através de dietas que atendam precisamente às necessidades energéticas das aves, já que a ração é o insumo que mais demanda energia, e/ou melhorar o rendimento de carne, através da utilização de outras partes da ave, como pescoço, pés e cabeça.

Palavras-chave: Avaliação energética. Energia cinética. Força ontogênica do crescimento. Programa prático de modelagem de forças. Relação *input-output*.

CARVALHO, P. M. O. **Mathematical models applied to growth curve analysis and energy efficiency in broiler chicken production.** 2021. 111 f. Thesis (Doctorate in Animal Science) – Faculty of Veterinary Medicine of Araçatuba, São Paulo State University, Araçatuba, 2021.

ABSTRACT

Aviculture is an activity that presents a high consumption of energy, which generates negative externalities. Due to population growth and the growing need of increasing production, without this implicating in environmental harms, measures which ensure the achievement of better indexes of energy efficiency are paramount, as the measurement of the output/input ratio, a useful economic tool that assesses, in the long term, the productive system. This study has aimed to apply the Practical Program for Forces Modeling (PPFM), which works with the ontogenetic growth force and energy efficiency assessment through kinetic energy, whose sum culminates in the action principle, in the analysis of broiler chickens growth curves and also in the assessment of energy retained in the carcass in function of age, through the Richards model, in the context of energy efficiency analysis for the productive system of the eviscerated carcass, as well as expressing, in a mathematical model, energy use efficiency relating the inputs and outputs involved in broiler chicken production. Data from the growth patterns of 384 broiler chickens (128 poultry/strain), from both sexes, according to the Cobb 500, Hubbard Flex, and Ross 380 strains were used to model the growth curves and, in order to estimate energy efficiency, data from the growth patterns of 560 male broiler chickens from the Cobb 500 strain, from 1 to 56 days of age, fed with feeds of different metabolizable energy (ME) levels (2850, 3000, 3150, and 3300 kcal kg⁻¹ of feed) were employed. Chicks and feed were considered inputs, and the eviscerated carcass, outputs. For the assessment of the energy deposited in the carcass (ER_{carc}), the energy retained as fat (ER_{fat}) and in the form of protein (ER_{prot}) was calculated. The determination of the inputs was obtained through the knowledge of the energies retained in the chicken (ER_{chick}) and in the feed (ER_{feed}). The energy use efficiency (EUE), energy productivity (EP), and net energy (NE) were calculated. Data was submitted to analysis of variance and significant polynomial regressions were adjusted. Response surface analysis was employed to verify and quantify the synergetic and antagonistic effects. EUE, Pen,

and EL indexes of 30%, 0,024 kg MJ⁻¹, and -72,53 MJ, respectively, were found through productive system energy analysis. The results revealed that the broiler chicken production assessed has low energy efficiency. Therefore, measures are needed to improve the energy indicators, as using less energy input through diets with precise energy requirements, since the feed is the highest energy input, and/or improving meat yield, through the use of others parts of birds, such as neck, feet and head.

Keywords: Energy analysis. Kinetic energy. Input-output ratio. Ontogenetic growth force. Practical program for forces modeling.

LISTA DE FIGURAS

CHAPTER 1 – PPFM: A NEW CONCEPT IN GROWTH CURVE MODELING

- Figure 1** – Interface of data entry. Initial adjustment of the parameters. Five indicators of quality of adjustment of the growth curve54
- Figure 2** – Graphic representation of the growth curve by the traditional method (accumulation of mass in function of time) for broiler chickens, of both sexes, according strains57
- Figure 3** – Location of the critical points F_0 , F_1 , F_2 , F_3 , and respective phases58
- Figure 4** – Action calculation62
- Figure 5** – Graphic representation of the approach of the growth process by the PPFM (energy assessment) for broiler chickens, of both sexes, according strains65

CHAPTER 2 – ENERGY ANALYSIS OF THE PRODUCTION OF BROILER CHICKENS FED WITH FEEDS OF DIFFERENT ENERGY LEVELS

- Figure 1** – Response surface over the effect of metabolizable energy (ME) and days of life in broiler chickens for: energy retained by feeding (1A), energy retained in the carcass (1B), energy use efficiency (1C), energy productivity (1D), and net energy (1E)83
- Figure 2** – Curves adjusted for energy retained in the carcass, in function of age, for male broiler chickens, according to treatments90
- Figure 3** – Graphic representation of the energy assessment for broiler chickens fed with feed of different energy densities, according to the PPFM91

LISTA DE TABELAS

CHAPTER 1 – PPFM: A NEW CONCEPT IN GROWTH CURVE MODELING

- Table 1** – Estimate of the parameters of the Gompertz and Richards functions for the live weight and percentage variation between estimated and observed weight of broiler chickens, of both sexes, according to the strains, of 1 up to 106 days of age through different approaches of the growth process .60
- Table 2** – Accumulated mass and action (sum of all useful work) for males and females according to strains64

CHAPTER 2 – ENERGY ANALYSIS OF THE PRODUCTION OF BROILER CHICKENS FED WITH FEEDS OF DIFFERENT ENERGY LEVELS

- Table 1** – Composition of the feeds for broiler chickens males, according to treatment and breeding phase78
- Table 2** – Regression equations' coefficients that describe the response surface models in function of the metabolizable energy and age and analysis of variance for male broiler chickens of the Cobb 500 line82
- Table 3** – Averages in function of the metabolizable energy variations for Cobb 500 male broiler chickens for slaughter at 43 days of age84
- Table 4** – Parameters of the Richards function that describe the model adjustment in function of metabolizable energy variations of feed and of age for Cobb 500 male broiler chickens89

LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS

$|a|$: aceleração; acceleration

a : parâmetro da função de Richards referente à assíntota superior; parameter of Richards' function related upper horizontal asymptote of the curve

A: limite assintótico do peso quando a idade se aproxima do infinito; asymptotic weight limit when age approaches infinity

ABIEC: Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes

ABPA: Associação Brasileira de Proteína Animal

AIC: critério de informação de Akaike

AIC_c: critério de informação de Akaike corrigido; corrected Akaike information criterion

Ag: idade das aves – dias; poultry age – days

a_1 : valor do intercepto da função; value of the intercept of the function

a_2 e a_3 : valores dos parâmetros para energia metabolizável e idade, respectivamente; values of the parameters for metabolizable energy and age, respectively

a_4 e a_6 : valores dos parâmetros quadráticos para energia metabolizável e idade, respectivamente; values of the quadratic parameters for metabolizable energy and age, respectively

a_5 : valor do parâmetro de interação entre idade e energia; value of the parameter of interaction between age and metabolizable energy

b : parâmetro da função de Richards relacionado à forma da curva; parameter of Richard's function related of curve shape – indicates indirectly the position of the inflexion point

B: taxa de maturidade; maturity rate

BE; EB: balanço eletrolítico; electrolyte balance

BIC: bayesian information criterion; critério de informação bayesiano

c : crescimento relativo máximo; the maximum relative growth

Ca/P: relação Ca/P; Calcium/Phosphorus ratio

CAPES: Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior

CEPEA: Centro de Estudos avançados em Economia Aplicada

CEUA: Comissão de Ética no Uso de Animais; Ethics Committee in the Use of Animals

Cl^- : Cloro; Chlorine

Co: Cobalto

COBEA: Colégio Brasileiro de Experimentação Animal; Brazilian College of Animal Experimentation

Cu: Cobre; Copper

CV: coeficiente de variação; coefficients of variation

d : idade no ponto de máxima taxa de crescimento; the age at maximum rate of growth

DPR: desvio padrão residual

E_D : estimativa de energia direta

E_I : estimativa de energia indireta

E_{input} : estimativa de energia consumida no processo de produção

EL; NE: energia líquida; net energy

EM; ME: energia metabolizável da ração; metabolizable energy of the feed

E_{output} : estimativa de energia que sai no processo de produção

ER_{alim} ; ER_{feed} : energia retida na ração; energy retained in the feed

ER_{carc} : energia retida na carcaça; energy retained in the carcass

ER_{gord} ; ER_{fat} : energia retida como gordura; energy retained as fat

ER_{pint} ; ER_{chick} : energia retida no pintainho; energy retained in the chicken

ER_{prot} : energia retida na forma de proteína; energy retained in the form of protein

EUE: eficiência no uso de energia; energy use efficiency

F: força resultante do crescimento; force resulting from growth

FAPESP: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

Fe: Ferro; Iron

F_i : ponto de inflexão; inflexion point

FMVA: Faculdade de Medicina Veterinária de Araçatuba; Faculty of Veterinary Medicine of Araçatuba

F_0 : ponto que marca o início do crescimento na curva; represents the start of growth curve

F_1 : ponto que sinaliza o início da fase linear e fim da fase exponencial crescente; marks the start of the linear phase and the end of the exponential increase phase

F_2 : ponto que demarca o fim da fase linear e início da fase exponencial decrescente; symbolizes the end of the linear phase and start of the exponential decrease phase

F_3 : ponto de saturação do crescimento – “platô biológico”; start of the stationary phase – sets the “biological plateau”

g: gramas; grams

I: Iodo; Iodine

IU: Unidade Internacional de medida em farmacologia

k : número de variáveis do modelo polinomial

K^+ : Potássio; Potassium

kcal kg^{-1} : quilocaloria por quilograma; kilocalorie per kilogram

K_E : energia cinética; kinetic energy

$K_{E\max}$: representa o momento em que alcançou o ápice da eficiência energética; represents the moment in which the energy efficiency is at its peak

kg: quilograma; kilogram

kg hab^{-1} : quilograma por habitante

kg MJ^{-1} : quilograma por megajoule de energia; kilogram per megajoule of energy

L: efeito linear; effect linear

$\log(n)$: logaritmo

$\log L(\hat{\theta})$: logaritmo da função de verossimilhança

m: massa; mass

mEq: miliequivalentes; miliequivalents

MJ: megajoule de energia; megajoule of energy

MJ/eviscerated carcass: megajoule de energia por carcaça eviscerada; megajoule of energy per eviscerated carcass

MJ/poultry: megajoule de energia por ave; megajoule of energy per poultry

MMQ; LSM: método dos mínimos quadrados; least squares method

Mn: Manganês; manganese

n : número de observações

Na^+ : Sódio; Sodium

ns: não significativo; non significant

p : número de parâmetros da função (modelo)

PE_n; EP: produtividade energética; energy productivity

P_i : ponto de inflexão da curva de crescimento; inflexion point of the growth curve

PPFM: Programa Prático de Modelagem de Forças; Practical Program for Forces Modeling

PPFR: Programa Prático de Formulação de Ração; Practical Program for Formulation of Rations

P_1 : ponto da curva de crescimento onde a aceleração é máxima; point of growth curve where the acceleration is maximum

P_2 : ponto da curva de crescimento onde a desaceleração é máxima; point of growth curve where the deceleration is maximum

Q: efeito quadrático; effect quadratic

QMR: quadrado médio dos resíduos

RE; ER: relação eletrolítica; electrolyte ration

R^2 : coeficiente de determinação; determination coefficient

R^2_{adj} : coeficiente de determinação ajustado; adjusted determination coefficient

SAS: *Statistical Analysis System*

Se: Selênio; Selenium

SQR; SSR: soma dos quadrados dos resíduos; residual sum of the squares

SQT: soma dos quadrados total

T_{action} : número de dias totais para o crescimento; total of days for growth

T_i : idade no ponto de inflexão; age at the inflexion point

$T_{KE\ max}$: idade – dia no pico do investimento energético; age – day of the peak of energy investment

T_3 : idade na maturidade; age at maturity

UC Davis: Universidade da Califórnia, Davis; University of California, Davis

UNESP: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”; São Paulo State University “Júlio de Mesquita Filho”

v: velocidade; velocity

VBA: Visual Basic for Application

Vit. A: Vitamina A – Retinol; Vitamin A – Retinol

Vit. B₁: Vitamina B₁ – Tiamina; Vitamin B₁ – Thiamine

Vit. B₂: Vitamina B₂ – Riboflavina; Vitamin B₂ – Riboflavin

Vit. B₆: Vitamina B₆ – Piridoxina; Vitamin B₆ – Pyridoxine

Vit. B₁₂: Vitamina B₁₂ – Cobalamina; Vitamin B₁₂ – Cobalamin

Vit. D₃: Vitamina D₃ – Colicalciferol; Vitamin D₃ – Cholicalciferol

Vit. E: Vitamina E – Tocoferol; Vitamin E – Tocopherol

Vit. K₃: Vitamina K₃ – Menadiona; Vitamin K₃ – Menadione

W_{action} : peso alcançado no final do crescimento; weight reached at the end of growth

W_{fat} : conteúdo estimado de gordura depositado na carcaça em kg; estimated fat content deposited in the carcass (kg)

W_i : peso no ponto de inflexão; weight at the inflexion point

$\frac{W_i}{A}$: posição do ponto de inflexão na curva; the position of the point of inflexion in the curve

$W_{KE\ max}$: peso no pico do investimento energético; weight at the peak of energy investment

W_{mean} : peso médio; average weight

W_{prot} : quantidade estimada de proteína depositada na carcaça; estimated amount of protein deposited in the carcass

W_3 : peso na maturidade; weight at maturity

x : matriz do desenho experimental

x_i : variável independente

x_j : variável independente

Y : resposta para a variável do estudo; response for the variable in study

y_i : i-ésimo valor observado

$\hat{y}_i$: i-ésimo valor estimado

Zn: Zinco; Zinc

β : vetor constituído pelos coeficientes do modelo ajustado

β_i : parâmetro de regressão para efeito do coeficiente linear

β_{ii} : parâmetro de regressão para o efeito quadrático

β_{ij} : parâmetro de regressão para o efeito de interação

β_0 : termo constante da função polinomial de 1º e 2º grau

ε : resíduo

Σ : somatório

σ^2 : variância residual

$\tilde{\sigma}^2$: estimador de máxima verossimilhança

APÊNDICE A – Referências da Introdução Geral

ABIEC. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. **Beef Report – Perfil da Pecuária no Brasil 2020**. Relatório Anual. 2020. Disponível em: <<http://abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2020/>>. Acesso em: 20 set. 2020.

ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual**. 2020. Disponível em: <https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2020/05/abpa_relatorio_anual_2020_portugues_web.pdf>. Acesso em: 21 set. 2020.

AFONSO, V. A. C.; QUIRINO, C. R.; COSTA, R. L. D.; SILVA, R. M. C. Aplicação de modelos não-lineares no ajuste de curvas de crescimento em fêmeas ovinas (*Ovis áries*) da raça Santa Inês criadas na região norte Fluminense/RJ. **B. Industr. Anim.**, v. 66, n. 2, p. 115-120, fev. 2009. Disponível em: <<http://www.iz.sp.gov.br/bia/index.php/bia/article/view/1097>>. Acesso em: 15 set. 2020.

AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE Trans. Autom. Control**, v. 19, n. 6, p. 716-723, Dec. 1974. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1100705>>. Acesso em: 14 nov. 2020.

AMARAL, F. F.; ALMEIDA, F. A.; COSTA, S. C.; LEME, R. C.; PAIVA, A. P. Aplicação da metodologia de superfície de resposta para otimização do processo de solda a ponto no aço galvanizado AISI 1006. **Soldag. Insp.**, v. 23, n. 2, p. 129-142, abr./jun. 2018.

AMID, S.; MESRI-GUNDOSHMIAN, T.; RAFIEE, S.; SHAHGOLI, G. Energy and economic analysis of broiler production under different farm sizes. **Elixir Agric.**, v. 78, p. 29688-29693, Jan. 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/270576245_Energy_and_economic_analysis_of_broiler_production_under_different_farm_sizes>. Acesso em: 30 nov. 2020.

AMID, S.; MESRI-GUNDOSHMIAN, T. Prediction of output energy based on different energy inputs on broiler production using application of adaptive neural-fuzzy inference system. **Agric. Sci. Dev.**, v. 5, n. 2, p. 14-21, June 2016.

AMID, S.; MESRI-GUNDOSHMIAN, T.; SHAHGOLI, G.; RAFIEE, S. Energy use pattern and optimization of energy required for broiler production using data envelopments analysis. **Inf. Process. Agric.**, v. 3, n. 2, p. 83-91, June 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.inpa.2016.03.003>>. Acesso em: 14 set. 2018.

AMINI, S.; KAZEMI, N.; MARZBAN, A. Evaluation of energy consumption and economic analysis for traditional and modern farms of broiler production. **Biol. Forum. Int. J.**, v. 7, n. 1, p. 905-911, Jan. 2015.

ATILGAN, A.; KOKNAROGLU, H. Cultural energy analysis on broilers reared in different capacity poultry houses. **Ital. J. Anim. Sci.**, v. 5, n. 4, p. 393-400, Mar. 2006. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.4081/ijas.2006.393>>. Acesso em: 26 jun. 2018.

BALDWIN, R. L. **Modeling Ruminant Digestion and Metabolism**. 1 ed. Netherlands: Springer Science & Business Media, 1995. 578p.

BARROZO, S. **Modelos matemáticos no contexto da COVID-19: uma abordagem didática**. Araraquara: Centro de Ciências de Araraquara, [2020]. Disponível em: <cca.iq.unesp.br/arquivos/Artigo-modelagem-matematica.pdf>. Acesso em: 07 fev. 2021.

BAŞ, D.; BOYACI, I. H. Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology. **J. Food Eng.**, v. 78, n. 3, p. 836-845, Feb. 2007.

BEZERRA, M. A.; SANTELLI, R. E.; OLIVEIRA, E. P.; VILLAR, L. S.; ESCALEIRA, L. A. Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. **Talanta**, v. 76, n. 5, p. 965-977, Sept. 2008.

BLACK, J. L. Brief history and future of animal simulation models for science and application. **Anim. Prod. Sci.**, v. 54, n. 12, p. 1883-1895, Sept. 2014.

BOX, G. E.P.; WILSON, K. B. On the experimental attainment of optimum conditions. **J. R. Stat. Soc.**, v. 13, n. 1, p. 1-45, Jan. 1951. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/2983966>>. Acesso em 10 fev. 2021.

BOX, G. E. P. The exploration and exploitation of response surfaces: Some general considerations and examples. **Biometrics**, v. 10, n.1, p. 16-60, Mar. 1954. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/3001663>>. Acesso em: 10 fev. 2021.

BOX, G. E. P., YOULE, P. V. The exploration and exploitation of response surfaces: An example of the link between the fitted surface and the mechanism of the system. **Biometrics**, v. 11, n. 3, p. 287-323, Sept. 1955. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/3001769>>. Acesso em: 10 fev. 2021.

BRADLEY, N. **The response surface methodology**. 2007. 73f. Dissertation (Master of Science – Applied Mathematics & Computer Science) – Indiana University South Bend, South Bend, 2007.

BRASIL. Lei nº 11.794, de 8 de outubro de 2008. Regulamenta o inciso VII do parágrafo 1º do artigo 225 da Constituição Federal, estabelecendo procedimentos para o uso científico de animais; revoga a Lei nº 6.638, de 8 de maio de 1979; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 9 out. 2008 Seção 1.

BRASIL. Ministério da ciência, tecnologia, inovações e comunicações. Resolução normativa CONCEA nº 17, de 3 de julho de 2014. Dispõe sobre o reconhecimento de métodos alternativos ao uso de animais em atividades de pesquisa no Brasil e dá outras providências. **Normativas do CONCEA**, Brasília, 26 set. 2016.

BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. Multimodel inference: Understanding AIC and BIC in model selection. **Sociol. Methods Res.**, v. 33, n. 2, p. 261-304, Nov. 2004.

CAETANO, V. C.; FARIA, D. E.; CANIATTO, A. R. M.; FARIA FILHO, D. E.; NAKAGI, V. S. Desempenho e rendimento de carcaça em frangos de corte de um a 46 dias alimentados com dietas contendo diferentes níveis de valina e reduzido teor proteico. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v. 67, n. 6, p. 1721-1728, nov./dez. 2015.

CAMPOS, A. T.; SAGLIETTI, J. R. C.; CAMPOS, A. T.; BUENO, O. C.; RESENDE, H.; GASPARINO, E.; KLOSOWSKI, E. S. Custo energético de construção de uma instalação para armazenagem de feno. **Ciênc. Rural**, v. 33, n. 4, p. 667-672, jul./ago. 2003.

CAMPOS, A. T.; SAGLIETTI, J. R. C.; CAMPOS, A. T.; BUENO, O. C. Análise energética na produção de feno de *Cynodon dactylon* (L.) Pers. **Eng. Agr.**, v. 25, n. 2, p. 349-358, maio/ago. 2005.

CANAKCI, M.; AKINCI, I. Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production. **Energy**, v. 31, n. 8-9, p. 1243-1256, July 2006.

CEPEA. Competitividade da carne de frango é recorde em 2020. **Diárias de Mercado**. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/diarias-de-mercado/-5.aspx>>. Acesso em: 05 jan. 2021.

DAMASCENO, F. A.; YANAGI JUNIOR, T.; LIMA, R. R.; GOMES, R. C. C.; MORAES, S. R. P. Avaliação do bem-estar de frangos de corte em dois galpões comerciais climatizados. **Ciênc. Agrotec.**, v. 34, n. 4, p. 1031-1038, jul./ago. 2010.

DARMANI KUHI, H.; PORTER, T.; LÓPEZ, S.; KEBREAB, E.; STRATHE, A. B.; DUMAS, A.; DIJKSTRA, J.; FRANCE, J. A review of mathematical functions for the analysis of growth in poultry. **World's Poult. Sci. J.**, v. 66, n. 2, p. 227-240, June 2010.

DEMUNER, L. F., SUCKEVERIS, D.; MUÑOZ, J. A.; CAETANO, V. C.; LIMA, C. G.; FARIA FILHO, D. E.; FARIA, D. E. Adjustment of growth models in broiler chickens. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 52, n. 12, p. 1241-1252, Dec. 2017.

DIAS, A. **Seleção multivariada e identidade de modelos não lineares para o crescimento e acúmulo de nutrientes em frutos de mangueira**. 2014. 138 f. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, 2014.

DUMAS, A.; DIJKSTRA, J.; FRANCE, J. Mathematical modelling in animal nutrition: a centenary review. **J. Agric. Sci.**, v. 146, n. 2, p. 123-142, Apr. 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1017/S0021859608007703>>. Acesso em: 13 nov. 2020.

EBRAHIMI, S.; MESRI GUNDOSHMIAN, T.; ABDI, R.; JADIDI, M. R. Energy efficiency improvement for broiler production using non-parametric techniques. **Agri. Eng. Int.: CIGR J.**, v. 18, n. 2, p. 121-132, June 2016.

EMILIANO, P. C. **Crítérios de informação: como eles se comportam em diferentes modelos**. 2013. 193f. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

ENERGIA. In: Michaelis, **Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa**. São Paulo: Melhoramentos, 2020. Disponível em: <<https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/energia/>>. Acesso em: 05 dez. 2020.

FITZHUGH JR H. A. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. **J. Anim. Sci.**, v. 42, n. 4, p. 1036-1051, Apr. 1976. Disponível em: <<http://jas.fass.org/content/42/4/1036>>. Acesso em: 06 ago. 2020.

FREITAS, A. R. Curvas de crescimento na produção animal. **R. Bras. Zootec.**, v. 34, n. 3, p. 786-795, maio/jun. 2005.

GARCIA NETO, M.; KEBREAB, E.; FARIA JUNIOR, M. J. A. **PPFM: Practical Program for Forces Modeling**. [2020]. Disponível em: <<http://sites.google.com/view/ppfm-spreadsheet>>. Acesso em: 08 jul. 2020.

GOUS, R. M.; MORAN JR, E. T.; STILBORN, H. R.; BRADFORD, G. D.; EMMANS, G. C. Evaluation of the parameters needed to describe the overall growth, the chemical growth, and the growth of feathers and breast muscles of broilers. **Poult. Sci.**, v. 78, n. 2, p. 812-821, June 1999.

GUIMARÃES, V. P.; RODRIGUES, M. T.; SARMENTO, J. L. R.; ROCHA, D. T. Utilização de funções matemáticas no estudo da curva de lactação em caprinos. **R. Bras. Zootec.**, v. 35, n. 2, p. 535-543, mar./abr. 2006.

HARLOW, H. B.; IVEY, F. J. Accuracy, precision, and commercial benefits of growth modelling for broilers. **J. Appl. Poult. Res.**, v.3, n.4, p. 391-402, Dec. 1994.

HATIRLI, S. A.; OZKAN, B.; FERT, C. An econometric analysis of energy input-output in Turkish agriculture. **Renew. Sust. Energ. Rev.**, v. 9, n. 6, p. 608-623, Dec. 2005.

HEIDARI, M. D.; OMID, M.; AKRAM, A. Optimization of energy consumption of broiler production farms using data envelopment analysis approach. **Mod. Appl. Sci.**, v. 5, n. 3, p. 69-78, June 2011a.

HEIDARI, M. D.; OMID, M.; AKRAM, A. Energy efficiency and econometric analysis of broiler production farms. **Energy**, v. 36, n. 11, p. 6536-6541, Nov. 2011b.

HEITSCHMIDT, R. K.; SHORT, R. E.; GRINGS, E. E. Ecosystems, sustainability, and animal agriculture. **J. Anim. Sci.**, v. 74, n. 6, p. 1395-1405, June 1996. Disponível em: <<https://doi.org/10.2527/1996.7461395x>>. Acesso em: 06 dez. 2020.

HETZ, E. J. Energy utilization in Chilean agriculture. **Agric. Mech. Asia Africa Latin America**, v. 23, n. 2, p. 52-56, 1992.

KEMMER, G.; KELLER, S. Nonlinear least-squares data fitting in Excel spreadsheets. **Nat. Protoc.**, v. 5, n. 2, p. 267-281, Jan. 2010.

KILIC, I. Analysis of the energy efficiency of poultry houses in the Bursa region of Turkey. **J. Appl. Anim. Res.**, v. 44, n. 1, p. 165-172, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/09712119.2015.1021813>>. Acesso em: 06 mar. 2019.

MARCATO, S. M. **Características do crescimento corporal dos órgãos e tecidos de duas linhagens comerciais de frangos de corte**. 2007. 183 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2008.

MARCATO, S. M.; SAKOMURA, N. K.; MUNARI, D. P.; FERNANDES, J. B. K.; KAWAUCHI, I. M.; BONATO, M. A. Growth and body nutrient deposition of two broiler commercial genetic lines. **Braz. J. Poult. Sci.**, v. 10, n. 2, p. 117-123, Apr./June 2008.

MARCATO, S. M.; SAKOMURA, N. K.; FERNANDES, J. B. K.; SIQUEIRA, J. C.; DOURADO, L. R. B.; FREITAS, E. R. Crescimento e deposição de nutrientes nos órgãos de frangos de corte de duas linhagens comerciais. **R. Bras. Zootec.**, v. 39, n. 5, p. 1082-1091, maio 2010.

MARTINS, F. G. L.; BARBOSA, J. A.; CARVALHO, R. C. S.; VELOSO, A. V.; MARIN, D. B. Análise energética da produção de milho para silagem cultivado em diferentes espaçamentos. **Energ. Agric.**, v. 30, n. 4, p.418-428, out./dez. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2015v30n4p418-428>>. Acesso em: 30 set. 2020.

MCMANUS, C.; EVANGELISTA, C.; FERNANDES, L. A. C.; MIRANDA, R. M.; MORENO-BERNAL, F. E.; SANTOS, N. R. Curvas de crescimento de ovinos Bergamácia criados no Distrito Federal. **R. Bras. Zootec.**, v. 32, n. 5, p. 1207-1212, set./out. 2003.

MELLO, R.; MAGALHÃES, A. L. R.; BREDA, F. C., REGAZZI, A. J. Modelos para ajuste da produção de gases em silagens de girassol e milho. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 43, n. 2, p. 261-269, fev. 2008.

MENDES, P. N.; JERÔNIMO, G. C. C.; TURCI, L. F. R; PAMPLIN, P.A.Z. Modelagem otimizada de indicadores biológicos de qualidade da água. **Revista DAE**, v. 68, n. 221, p. 131-141, jan./mar. 2020. Disponível em: <http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_221_n_1830.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2020.

MIGNON-GRASTEAU, S. Genetic parameters of growth curve parameters in male and female chickens. **Br. Poult. Sci.**, v. 40, n. 1, p. 44-51, June 1999. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/00071669987827>>. Acesso em: 06 nov. 2020.

MISCHAN, M. M.; PINHO, S. Z. Conceitos gerais. In: **Modelos não lineares: funções assintóticas de crescimento**. 1 ed. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2014. p. 9-28.

MONTGOMERY, D. C. Response Surface Methods and Designs. In: Montgomery, D. C. **Design and analysis of experiments**. 9ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2017. p. 489-568.

NABAVI-PELESARAEI, A.; FALLAH, A.; HEMATIAN, A. Relation between energy inputs and yield of broiler production in Guilan province of Iran. In: The Second International Conference on Agriculture and Natural Resources, 2, 2013, Kermanshah. **Anais...**Kermanshah: Razi University, 2013, p.109-117.

NOVAES, C. G.; YAMAKI, R. T.; Paula, V. F.; NASCIMENTO JÚNIOR, B. B.; BARRETO, J. A.; VALASQUES, G. S.; BEZERRA, M. A. Otimização de métodos analíticos usando metodologia de superfícies de resposta – parte I: variáveis de processo. **Rev. Virtual Quim.**, v. 9, n. 3, p. 1184-1215, maio/jun. 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20170070>>. Acesso em: 06 fev. 2021.

ORNELLAS, A. J. “Energia” até Aristóteles. In: ORNELLAS, A. J. **A energia dos tempos antigos aos dias atuais**. 1 ed. Maceió: EDUFAL, 2006. p.10-13.

ORTIZ-CAÑAVATE, J.; HERNANZ, J. L. Energy for Biological systems. In: **Energy and Biomass Engineering**. Volume V. EUA: CIGR- The International Commission of Agricultural Engineering, 1999. p. 13-138.

PISHGAR-KOMLEH, S. H.; KEYHANI, A.; RAFIEE, S. H.; SEFEEDPARI, P. Energy use and economic analysis of corn silage production under three cultivated area levels in Tehran province of Iran. **Energy**, v. 36, n. 5, p. 3335-3341, May 2011.

PISHGAR-KOMLEH, S. H.; AKRAM, A.; KEYHANI, A.; VAN ZELM, R. Life cycle energy use, costs, and greenhouse gas emission of broiler farms in different production systems in Iran – a case study of Alborz province. **Environ. Sci. Pollut. Res.**, v. 24, n. 19, p. 16041-16049, May 2017. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11356-017-9255-3>>. Acesso em: 02 jun. 2020.

PUIATTI, G. A.; CECON, P. R.; NASCIMENTO, M.; PUIATTI, M.; FINGER, F. L.; SILVA, A. R.; NASCIMENTO, A. C. C. Análise de agrupamento em seleção de modelos de regressão não lineares para descrever o acúmulo de matéria seca em plantas de alho. **Rev. Bras. Biom.**, v. 31, n. 3, p. 337-351, jul./set. 2013. Disponível em: <http://jaguar.fcav.unesp.br/RME/fasciculos/v31/v31_n3/A2_Guilherme_PauloCecon.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2020.

QUESADA, G. M.; PEREIRA FILHO, O. P.; BEBER, J. A. C.; NEUMANN, P. S. Energia, organização social e tecnologia. **Ciência & Ambiente**, v. 2, n. 2, p. 13-29, jan./jun. 1991.

RIBEIRO, M. J. B. **Curva de crescimento de codornas ajustadas por modelos não lineares**. 2014. 99 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Sergipe, 2014.

RICHARDS, F. J. A flexible growth function for empirical use. **J. Exp. Bot.**, v. 10, n. 29, p. 290-300, June 1959. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/23686557>>. Acesso em: 04 nov. 2020.

ROBERTSON, T.B. Experimental studies on growth: II. The normal growth of the white mouse. **J. Biol. Chem.**, v.24, n.3, p. 363-383, Mar. 1916. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)87556-1](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)87556-1)>. Acesso em: 13 nov. 2020.

RONDÓN, E. O. O.; MURAKAMI, A. E.; SAKAGUTI, E. S. Modelagem computacional para produção e pesquisa em avicultura. **Rev. Bras. Cienc. Avic.**, v. 4, n. 1, p. 199-207, jan./abr. 2002.

SALEHI, M.; EBRAHIMI, R.; MALEKI, A.; MOBTAKER, H. G. An assessment of energy modeling and input costs for greenhouse button mushroom production in Iran. **J. Clean. Prod.**, v. 64, p.377-383, Feb. 2014.

SANTOS, T. M. B.; LUCAS JÚNIOR, J. Balanço energético em galpão de frangos de corte. **Eng. Agríc.**, v. 24, n. 1, p. 25-36, jan./abr. 2004.

SARMENTO, J. L. R.; REGAZZI, A. J.; SOUSA, W. H.; TORRES, R. A.; BREDAS, F. C.; MENEZES, G. R. O. O Estudo da curva de crescimento de ovinos Santa Inês. **R. Bras. Zootec.**, v. 35, n. 2, p. 435-442, mar./abr. 2006.

SCHWARZ, G. Estimating the dimension of a model. **Ann. Statist.**, v. 6, n. 2, p. 461-464, Mar. 1978. Disponível em: < <https://www.jstor.org/stable/2958889> >. Acesso em: 05 nov. 2020.

SEFEEDPARI, P.; RAFIEE, S.; AKRAM, A. Modeling of energy output in poultry for egg production farms using artificial neural networks. **J. Anim. Prod. Adv.**, v. 2, n. 5, p. 247-253, May. 2012a.

SEFEEDPARI, P.; RAFIEE, S.; AKRAM, A. Selecting energy efficient poultry egg producers: A fuzzy data envelopment analysis approach. **Int. J. Appl. Oper. Res.**, v. 2, n. 2, p. 77-88, July 2012b.

SEFEEDPARI, P.; SHOKOOHI, Z.; BEHZADIFAR, Y. Energy use and carbon dioxide emission analysis in sugarcane farms: a survey on Haft-Tappeh Sugarcane Agro-Industrial Company in Iran. **J. Clean. Prod.**, v. 83, p. 212-219, Nov. 2014.

SILVEIRA, S. C.; MUNIZ, J. A.; SOUSA, F. A.; CAMPOS, A. T. Modelos não lineares ajustados à produção acumulada de biogás provenientes de camas sobrepostas de suínos. **Rev. Agrogeoambiental**, v. 10, n. 3, p. 91-103, set. 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v10n320181168>>. Acesso em: 28 jul. 2020.

SINGH, D.; RAO, P. V. A surface roughness prediction model for hard turning process. **Int. J. Adv. Manuf. Technol.**, v. 32, n. 11-12, p. 1115-1124, Mar. 2007.

SOUZA, C. V.; CAMPOS, A. T.; BUENO, O. C.; SILVA, E. B. Análise energética em sistema de produção de suínos com aproveitamento dos dejetos como biofertilizante em pastagem. **Eng. Agríc.**, v. 29, n. 4, p. 547-557, out./dez. 2009.

SOUZA, L. A.; CARNEIRO, P. L. S.; MALHADO, C. H. M.; SILVA, F. F.; SILVEIRA, F. G. Traditional and alternative nonlinear models for estimating the growth of Morada Nova sheep. **R. Bras. Zootec.**, v.42, n. 9, p. 651-655, Sept. 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1516-35982013000900007>>. Acesso em: 03 nov. 2020.

SUGIURA, N. Further analysts of the data by akaike's information criterion and the finite corrections. **Commun. Statist. Theory Meth.**, v. 7, n.1, p. 13-26, Jan. 1978. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/03610927808827599>>. Acesso em: 14 nov. 2020.

TELEKEN, J. T.; GALVÃO, A. C.; ROBAZZA, W. S. Comparing non-linear mathematical models to describe growth of different animals. **Acta Sci. Anim. Sci.**, v. 39, n.1, p.73-81, Jan./Mar. 2017.

TEÓFILO, R. F.; FERREIRA, M. M. C. Quimiometria II: planilhas eletrônicas para cálculos de planejamentos experimentais, um tutorial. **Quim. Nova**, v. 29, n. 2, p. 338-350, mar./abr. 2006.

THOLON, P.; QUEIROZ, S. A. Modelos matemáticos utilizados para descrever curvas de crescimento em aves aplicados ao melhoramento genético animal. **Cienc. Rural**, v.39, n.7, p. 2261-2269, out. 2009.

TJØRVE, K. M. C.; TJØRVE, E. Shapes and functions of bird-growth models: how to characterise chick postnatal growth. **Zoology**, v. 113, n.6, p. 326-333, Dec. 2010.

TJØRVE, K. M. C.; TJØRVE, E. A proposed family of unified models for sigmoidal growth. **Ecol. Modell.** v. 359, n. 10, p. 117-127, Sept. 2017.

VAN DER KLIS, J. D.; KWAKERNAAK, C.; JANSMAN, A.; BLOK, M. Energy in poultry diets: adjusted AME or net energy. In: Doppenberg J, Van der Aar P. **Dynamics in animal nutrition**. 1 ed. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 2010. p.127-133.

VÁZQUEZ, J. A.; MURADO, M. A. Unstructured mathematical model for biomass, lactic acid and bacteriocin production by lactic acid bacteria in batch fermentation. **J. Chem. Technol. Biotechnol.**, v. 83, n.1, p. 91-96, Jan. 2008.

VELOSO, A. V.; CAMPOS, A. T.; PAULA, V. R.; DOURADO, D. C.; YANAGI JÚNIOR, T.; SILVA, E. B. Energetic efficiency of a deep bed swine production system. **Eng. Agríc.**, v. 32, n. 6, p. 1068-1079, Nov./Dec. 2012.

VON BERTALANFFY, L. Quantitative laws in metabolism and growth. **Q. Rev. Biol.**, v. 32, n. 3, p. 217-231, Sept. 1957. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/2815257>>. Acesso em: 04 nov. 2020.

WEIBULL, W.; STOCKHOLM, S. A statistical distribution function of wide applicability. **J. Appl. Mech.**, v. 18, n. 3, p. 293-297, Sept. 1951. Disponível em: <<http://web.cecs.pdx.edu/~cgshirl/Documents/Weibull-ASME-Paper-1951.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2020.

WICKHAM, H.; GROLEMUND, G. **R para Data Science**. 1 ed. Rio de Janeiro; RJ / Alta Books; 2019.

WINKELSTROTER, L. K. **Crescimento de três genótipos comerciais de frango de corte**. 2013. 55 f. dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, 2013.

YILMAZ, I.; AKCAOZ, H.; OZKAN, B. An analysis of energy use and input costs for cotton production in Turkey. **Renew. Energy**, v. 30, n. 2, p. 145-155, Feb. 2005.

ZUIDHOF, M. J.; SCHNEIDER, B. L.; CARNEY, V. L.; KORVER, D. R.; ROBINSON, F. E. Growth, efficiency, and yield of commercial broilers from 1957, 1978, and 2005. **Poult. Sci.**, v. 93, n. 12, p. 2970-2982, Dec. 2014.

ANEXO A – Certificado da Comissão de Ética



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"



CAMPUS ARAÇATUBA
FACULDADE DE ODONTOLOGIA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA

CEUA - Comissão de Ética no Uso de Animais
CEUA - Ethics Committee on the Use of Animals

CERTIFICADO

Certificamos que o Relatório Final do trabalho intitulado "**Aplicação dos métodos: evolucionário e gradiente reduzindo generalizado a fim de otimizar modelos não lineares na nutrição de precisão**", Processo FOA nº 2015-00843, sob responsabilidade de Manoel Garcia Neto e colaboração de Max José de Araújo Faria Júnior, Marcos Franke Pinto, Sílvia Helena Venturoli Perri, Mayara Maia Rodrigues, Danilo Gualberto de Sandre, Luiza Bruna Passerini Barreiro de Oliveira e Rodrigo Pereira Cassiano foi aprovado pela CEUA em 13 de Abril de 2018.

CERTIFICATE

We certify that the study entitled "**Application of methods: evolutionary and generalized reduced gradient in order to optimize models nonlinear the accuracy of nutrition**", Process FOA nº 2015-00843, under the supervision of Manoel Garcia Neto and collaboration of Max José de Araújo Faria Júnior, Marcos Franke Pinto, Sílvia Helena Venturoli Perri, Mayara Maia Rodrigues, Danilo Gualberto de Sandre, Luiza Bruna Passerini Barreiro de Oliveira and Rodrigo Pereira Cassiano had its the Final Report approved by the CEUA on April 13, 2018.

Prof. Dr. Leonardo Perez Faverani
Coordenador da CEUA
CEUA Coordinator

CEUA - Comissão de Ética no Uso de Animais
Faculdade de Odontologia de Araçatuba
Faculdade de Medicina Veterinária de Araçatuba
Rua José Bonifácio, 1193 – Vila Mendonça - CEP: 16015-050 – ARAÇATUBA – SP
Fone (18) 3636-3234 Email CEUA: ceua@foa.unesp.br